

Technologieprognosen Internationaler Vergleich 2023



**Anette Braun, Dirk Holtmannspötter, Sylvie Rijkers-Defrasne,
Amina Abdel-Galil, Axel Zweck**

Technologieprognosen

Internationaler Vergleich 2023

Anette Braun

Dirk Holtmannspötter

Sylvie Rijkers-Defrasne

Amina Abdel-Galil

Axel Zweck

Herausgeber:
VDI Technologiezentrum GmbH
VDI Research
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Projektleitung: Prof. Dr. Dr. Axel Zweck (zweck@vdi.de)
Durchführung: Dr. Anette Braun (braun_a@vdi.de)
Dr. Sylvie Rijkers-Defrasne (rijkers@vdi.de)
Dr. Dirk Holtmannspötter (holtmannspoetter@vdi.de)
Amina Abdel-Galil

Zukünftige Technologien Nr. 108
Düsseldorf, im Januar 2025
ISSN 1436-5928

Zitierempfehlung:

Braun, A., Holtmannspötter, D., Rijkers-Defrasne, S., Abdel-Galil, A., Zweck, A. (2025), „Internationale Technologieprognosen – Internationaler Vergleich 2023“, VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Zukünftige Technologien Nr. 108, ISSN 1436-5928, Düsseldorf.

<https://www.vditz.de/service/publikationen/details/internationale-technologieprognosen-2023>

Alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung.

VDI Research
der VDI Technologiezentrum GmbH

Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Vorwort	10
Zusammenfassung	12
1 Hintergrund und Zielsetzung	14
2 Vorgehensweise	16
2.1 Sprachgebrauch und Kontext	16
2.2 Methodisches Vorgehen	16
2.3 Darstellung und Inhaltsanalyse	22
2.4 Konkordanz: Analyseraster 2013 zu Analyseraster 2023	24
3 Statistische Gesamtanalyse	25
3.1 Anzahl nationaler Zukunftsstudien	25
3.2 Themenschwerpunkte nationaler Zukunftsstudien	26
3.3 Vergleich der Themenschwerpunkte nationaler Zukunftsstudien von EU-Staaten und Nicht-EU-Staaten	32
3.4 Themen-Breite und Studien-Intensität im nationalen Innovationskontext	33
3.5 Fazit der statistischen Gesamtanalyse	36
4 Darstellung ausgewählter Länder	39
4.1 UK	39
4.2 Norwegen	63
4.3 Australien	83
4.4 Malaysia	94
4.5 Japan	107
4.6 EU	131
5 Vergleich der Themenfelder	161
5.1 Themenprofile der analysierten Studien	162
5.2 Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	174
5.3 Fazit des Ländervergleichs	190
6 Zeitliche Entwicklung: Themenschwerpunkte 2004 - 2006 - 2010 - 2013 - 2023	195
6.1 Ergebnisse früherer Vergleichsstudien im Analyseraster 2023	195
6.2 Veränderung der Rangfolge der Themenfelder im Zeitverlauf	196
6.3 Dekadenvergleich	200
6.4 Quantifizierung der zeitlichen Volatilität von Themenfeldern	201

7 Annex: Themenfelder aus den Vergleichsstudien 2004, 2006, 2010, 2013 und Übertragung in das neue Analyseraster	204
7.1 Vergleichsstudie von 2004	204
7.2 Vergleichsstudie von 2006	205
7.3 Vergleichsstudie 2010	206
7.4 Vergleichsstudie von 2013	207
7.5 Übertragung der Ergebnisse früherer Vergleichsstudien in das Analyseraster 2023	209
Literaturverzeichnis	212

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Verteilung der Anzahl der betrachteten internationalen Zukunftsstudien im Zeitraum 2016 - 2022 nach Ländern (einschließlich Zukunftsstudien der EU).	26
Abbildung 3-2: Themenbreite im nationalen Innovationskontext.	33
Abbildung 3-3: Studien-Intensität im nationalen Innovationskontext.	34
Abbildung 3-4: Gegenüberstellung von Themen-Breite und Studien-Intensität im internationalen Vergleich	35
Abbildung 3-5: Themenintensität des BMBF Foresight 2019 – 2022	37
Abbildung 4-1: Übersicht des britischen Forschungs- und Innovationssystems	42
Abbildung 4-2: Thematische Schwerpunktsetzung der 7 betrachteten Berichte aus dem UK Foresight-Prozess	46
Abbildung 4-3: Übersicht des norwegischen Innovationssystems	64
Abbildung 4-4: Struktur des norwegischen Foresight-Prozesses 2021	68
Abbildung 4-5: Thematische Schwerpunktsetzung der neun Berichte aus der norwegischen Studie	72
Abbildung 4-6: Organisation der australischen nationalen Innovations- und Wissenschaftsagenda	84
Abbildung 4-7: Thematische Schwerpunktsetzung des Australian National Outlook 2019	87
Abbildung 4-8: Ausschnitt des Innovationssystems von Malaysia mit Stand 2015	95
Abbildung 4-9: Ausschnitt des japanischen Innovationssystems mit Einordnung des „National Institute of Science and Technology Policy“ (NISTEP).	107
Abbildung 4-10: Entwicklungsgeschichte der NISTEP- Foresight-Prozesse.	109
Abbildung 4-11: Struktur des japanischen 11. Foresight-Prozesses.	110
Abbildung 4-12: Globaler Vergleich der Innovationsfähigkeit laut dem EU Innovationsanzeiger 2022.	132
Abbildung 4-13: Thematische Schwerpunktsetzung in Technologieprognosen-Studien der EU (EC, EP, ...)	135
Abbildung 4-14: Thematische Schwerpunktsetzung der EU-Studie „100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future“.	139

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 1).	19
Tabelle 2-2: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2)	20
Tabelle 2-3: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2 Fortsetzung).	21
Tabelle 2-4: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2 Ende).	22
Tabelle 2-5: Analyseraster 2023 im Vergleich zum bisher genutzten Analyseraster 2013.	24
Tabelle 3-1: Ergebnisse der Einschätzungen zur Kennzahl Themen-Breite.	28
Tabelle 3-2: Einschätzungen zu den Kennzahlen Studien-Intensität und Themen-Intensität.	30
Tabelle 3-3: Vergleich der Themenschwerpunkte nationaler Zukunftsstudien	32
Tabelle 4-1: Thematische Ausrichtung der betrachteten <i>Foresight</i> -Berichte aus UK.	45
Tabelle 4-2: Sektorale F&E-Strategien in Norwegen	63
Tabelle 4-3: Liste der in der Studie identifizierten globalen Wertschöpfungsnetzwerke.	136
Tabelle 5-1: Ergebnisse der Einschätzungen zur Kennzahl Themen-Breite für die in Kapitel 4 analysierten Länder (vgl. auch Tabelle 3-1).	161
Tabelle 5-2: Themenprofil aktueller Studien aus dem <i>UK Foresight</i> -Prozess	162
Tabelle 5-3: Themenprofil der norwegischen Studie „ <i>Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway</i> “	165
Tabelle 5-4: Themenprofil der australischen Studie „ <i>Australian National Outlook 2019 (ANO 2019)</i> “	166
Tabelle 5-5: Themenprofil der malaiischen Studie „ <i>Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology (ESET)</i> “	168
Tabelle 5-6: Themenprofil der 11. japanischen <i>Foresight</i> -Studie für Wissenschaft und Technologie	169
Tabelle 5-7: Themenprofil der EU-Studie „ <i>100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future</i> “	170
Tabelle 5-8: Themenfeld <i>Energie</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	174
Tabelle 5-9: Themenfeld <i>Materialtechnik</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	175
Tabelle 5-10: Themenfeld <i>Basistechnologien der Digitalisierung</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	176
Tabelle 5-11: Themenfeld <i>Biotechnologie</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	177
Tabelle 5-12: Themenfeld <i>Arbeit und Wertschöpfung</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	178
Tabelle 5-13: Themenfeld <i>Gesundheit, Lifestyle, Ernährung</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	179
Tabelle 5-14: Themenfeld <i>Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	181
Tabelle 5-15: Themenfeld <i>Bauen und Wohnen</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	182
Tabelle 5-16: Themenfeld <i>Verteidigung und Sicherheit</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	183
Tabelle 5-17: Themenfeld <i>Mobilität und Verkehr</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	184
Tabelle 5-18: Themenfeld <i>Luft- und Raumfahrt</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	185

Tabelle 5-19: Themenfeld <i>Meerestechnik und Schifffahrt</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	186
Tabelle 5-20: Themenfeld <i>Digitalisierung</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	187
Tabelle 5-21: Themenfeld <i>Gesellschaft, Kultur und Bildung</i> – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte	188
Tabelle 5-22: Ranking der Themen: Themenmatrix der aktuell untersuchten Technologieprognosen.	190
Tabelle 5-23: Einflussmatrix zur Verflechtung der Themenfelder.	194
Tabelle 6-1: Darstellung der Reihenfolge der Themenfelder in den früheren Vergleichsstudien unter Berücksichtigung des 2023 Analyseraters.	196
Tabelle 6-2: Ranking der Themenfelder 2023: Themenbreite der 2023 untersuchten Technologieprognosen und Schwerpunktsetzung nach abnehmender Wichtigkeit.	197
Tabelle 6-3: Zeitliche Verschiebung der Themenschwerpunkte in internationalen Technologieprognosen von 2004 bis 2023.	198
Tabelle 6-4: Top 5 der häufigsten und am intensivsten besprochenen Themenfelder in internationalen Technologieprognosen.	199
Tabelle 6-5: Bottom 3 der am seltensten und am wenigsten besprochenen Themenfelder in internationalen Technologieprognosen.	199
Tabelle 6-6: Zeitliche Veränderung der Themen in Technologieprognosen.	200
Tabelle 6-7: Daten zur zeitlichen Volatilität von Themenfeldern basierend auf der Metaanalyse internationaler Technologieprognosen aus den Jahren 2004 bis 2023.	201
Tabelle 6-8: Volatilität von Themenfeldern.	202
Tabelle 7-1: Themenmatrix aus dem 2004 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.	205
Tabelle 7-2: Themenmatrix aus dem 2006 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.	206
Tabelle 7-3: Themenmatrix aus dem 2010 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.	207
Tabelle 7-4: Themenmatrix aus dem 2013 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.	208
Tabelle 7-5: Zusammenführung der Themenfelder <i>Produktions-/Prozesstechnik</i> und <i>Dienstleistungen</i> .	209
Tabelle 7-6: Übertragung der Ergebnisse der Vergleichsstudien 2004 bis 2013 in das Analyseraster 2023	210

Vorwort

Das VDI Technologiezentrum arbeitet an der Schnittstelle zwischen Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft als Innovationsagentur moderner Prägung daran, den Innovationsstandort Deutschland nachhaltig zu stärken. Deshalb unterstützen wir Bundes- und Landesministerien, die Europäische Kommission und Stiftungen bei der Lösung ökologischer, ökonomischer, technologischer und sozialer Herausforderungen. Konsistente Bilder mittelfristiger Zukünfte werden für die strategischen Planungen des Technologiezentrums und seiner Kunden immer wichtiger und werden daher von VDI Research in Blick genommen.

Mit der vorliegenden Studie legt VDI Research zum fünften Mal eine Meta-Analyse internationaler Technologieprognosen und Zukunftsstudien vor. Die Autoren knüpfen an vier Vorgängerstudien an, die das VDI Technologiezentrum im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) in den letzten 15 Jahren durchgeführt hat. Diese Kontinuität der Beobachtung und eine einheitliche Methodik bisheriger Meta-Analysen ermöglichen somit vergleichende Zeitreihen über zwei Dekaden hinweg.

Besonderheit diesmal: die vorliegende Meta-Analyse - wie auch der dieser Studie vorausgehende Materialband von 2021 - erfolgen aus eigenem Engagement des VDI Technologiezentrums, um vorhandenes Zukunftswissen in übersichtlicher Form bekannt und verfügbar zu machen.

Zum Beispiel gewinnen weltweit Digitalisierung und Nachhaltigkeit an Bedeutung und umfassen alle Technologiebereiche. Der Begriff der "Twintransition" steht für die gesellschaftliche Herausforderung, die Transformationen der Digitalisierung und der Nachhaltigkeit zur gleichen Zeit zu bewältigen. Die in dieser Metaanalyse vorgestellten Technologieprognosen deuten jedoch eher darauf hin, dass anstelle einer „Twin“-Transition eine "Smart FOR Green"-Transition erwartet wird, in der Digitalisierung zum Treiber von Nachhaltigkeit, Effizienzsteigerung und Ressourcenschonung wird. Die zunehmende Digitalisierung wird dabei neben ökologischen Vorteilen auch neue wirtschaftliche Chancen und Arbeitsangebote schaffen.

Die vorliegenden Erkenntnisse dienen damit dem Verein Deutscher Ingenieure wie auch den Kunden und Partnern des VDI Technologiezentrums als Orientierung, denn die systematisiert-kondensierten Inhalte der Technologieprognosen flankieren unsere Arbeiten in den Projektträgerschaften als zukunftsorientierte Grundlage ebenso, wie die Begleitung von Innovationsprozessen.

Sollten Ihnen bestimmte Analysen oder einschlägige Studien fehlen, wenden Sie sich gerne an das Autorenteam. Auch freuen wir uns besonders von Ihnen zu hören, wenn Sie unsere Zusammenstellung für eigene Publikationen in der wissenschaftlichen Zukunftsforschung nutzen.

Prof. Dr. Dr. Axel Zweck

Bereichsleiter Forschung und Entwicklung im VDI Technologiezentrum

Avant-Propos

Wo finden sich Informationen über Technologieprognosen aus Deutschland?

Als Einstieg und Überblick zu Aktivitäten der strategischen Vorausschau auf Regierungsebene in Deutschland eignet sich die folgende Antwort der Bundesregierung (Bundestags-Drucksache 20/3824) auf die Kleine Anfrage der Fraktion der CDU/CSU „Aktueller Stand der Initiativen der Bundesregierung zur (Mit-)Gestaltung der Zukunft“

<https://dserver.bundestag.de/btd/20/038/2003824.pdf>

Um sich konkreter über Technologieprognosen aus Deutschland im Regierungskontext zu informieren, seien derzeit die folgenden Ausgangspunkte empfohlen:

- BMBF - Strategische Vorausschau: <https://www.vorausschau.de/>
- BMWK - Vorausschauprozess: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/blick-in-die-zukunft.html>
- BMAS - Strategische Vorausschau: <https://www.denkfabrik-bmas.de/>
- BMVg/Bundeswehr: <https://www.bundeswehr.de/de/organisation/weitere-bmvg-dienststellen/planungsamt-der-bundeswehr-/die-vier-abteilungen/zielbildung-und-innovation-planungsamt> (siehe etwa Liste der Publikationen); Metis Institut (UniBw) <https://metis.unibw.de>
- BAKS - Kompetenzzentrum Strategische Vorausschau <https://www.baks.bund.de/de/ueber-uns-kompetenzzentrum-strategische-vorausschau/das-kompetenzzentrum>

Wie ordnen sich die Aktivitäten in Deutschland in den internationalen Kontext ein?

In Unterkapitel 3.5 findet sich eine knappe Einordnung deutscher Aktivitäten basierend auf den öffentlich verfügbaren Sammlungen von Trendprofilen aus der strategischen Vorausschau des BMBF.

Warum wurde Deutschland darüber hinaus nicht in die Untersuchung einbezogen?

Das Ziel dieser Studie zusammen mit dem zuvor veröffentlichten Materialband (ZT-Band 107) ist es, für ein deutschsprachiges Publikum einen möglichst umfassenden, internationalen Kontext an technologischer Vorausschau auf Regierungsebene bereitzustellen. Damit soll es für den deutschen Diskurs in der strategischen, technologischen Vorausschau erleichtert werden, wichtige Entwicklungen und Perspektiven aus anderen Teilen der Welt berücksichtigen zu können.

Im Vergleich zu diesen internationalen Technologieprognosen sind für das avisierte, deutschsprachige Publikum Dokumente der strategischen Vorausschau aus Deutschland wesentlich leichter zu identifizieren (s.o.), inhaltlich zu erfassen, politisch einzuordnen, auszuwerten und für eigene Zwecke zu verwenden. Um durch die Analyse solcher Dokumente einen echten Mehrwert zu bieten, müssten diese deutschen Dokumente umfassender und mit einer anderen Methodik analysiert werden. Eine direkte Vergleichbarkeit deutscher und internationaler Dokumente wäre wegen der erforderlichen Unterschiede bei der Tiefe der Analyse auch dann nicht gegeben.

Sollte es Fragestellungen geben, die für zukünftige Analysen sinnvoll und wünschenswert erscheinen, wenden Sie sich gerne an das Projekt-Team unter foresight@vdi.de.

Zusammenfassung

Zukunftsstudien und Technologieprognosen gewinnen weiter an Bedeutung für eine fundierte Forschungs- und Innovationspolitik. Dies liegt an der wachsenden Komplexität und Geschwindigkeit von Innovationsprozessen sowie dem steigenden internationalen Wettbewerbsdruck. Der Zuwachs an wissenschaftlich-technischem Wissen und die Verflechtung technischer und sozio-kultureller Entwicklungen stellen Herausforderungen dar, die rasche Fortschreibungen von Zukunftseinschätzungen durch Entscheidungsträger und Administrationen erfordern.

Nationale und themenübergreifende Technologieprognosen bieten Einblicke in die Erwartungen und strategischen Annahmen von Regierungen in Bezug auf zukünftige technologische Entwicklungen. Eine Meta-Analyse solcher Prognosen ermöglicht ein umfassendes Bild globaler technologischer Trends und nationaler Besonderheiten. Insbesondere Deutschland, als Exportnation von Produkten der Hochtechnologie, muss neue Trends frühzeitig erkennen, was durch eigene Vorausschau aber auch das Monitoring internationaler Studien unterstützt wird.

Ziel der vorliegenden Meta-Analyse des VDI Technologiezentrums ist es, internationales Zukunftswissen übersichtlich für deutschsprachige Entscheidungsträger bereitzustellen und bei der Identifizierung relevanter Themen für Forschung und Entwicklung zu unterstützen.

Die Meta-Analyse baut auf vorherigen Arbeiten des VDI Technologiezentrums auf und umfasst die aktuellen Technologieprognosen aus Japan, Norwegen, Malaysia, Australien, Großbritannien sowie der EU. Diese Länder wurden aufgrund ihrer Innovationsleistungen, strategischen Kooperationen mit Deutschland und ihrer Bedeutung im globalen Technologiewettbewerb ausgewählt. Die Analyse beruht auf einem Raster von 14 Themenfeldern, um technologische Zukunftserwartungen systematisch darzustellen und dadurch international vergleichbar zu machen. Nachfolgend sind wesentliche Aussagen zu diesen 14 Themenfeldern anhand der Ergebnisse aus Kapitel 5 zusammengefasst.

Themenfeld 1 – *Energie*: In den Technologieprognosen aller sechs Länder steht die Energiewende hin zu erneuerbaren Energien im Vordergrund, wobei Wasserstoff und Solarenergie zentrale Themen sind. Auch Energieeffizienz und CO₂-Speicherung werden betont.

Themenfeld 2 – *Materialtechnik*: In der Materialtechnik steht die Nachhaltigkeit im Mittelpunkt, mit Fokus auf Materialkreisläufen und kohlenstoffarmen Materialien. Australien und UK legen zudem Augenmerk auf Batterien und deren Recycling.

Themenfeld 3 – *Basistechnologien der Digitalisierung* werden heterogen thematisiert, mit energieeffizienten Technologien, Sensorik und Mensch-Maschine-Schnittstellen als Schwerpunkten.

Themenfeld 4 – *Biotechnologie*: Bei biotechnologischen Anwendungsfeldern stehen Medizin und Genforschung im Vordergrund, daneben sind aber auch landwirtschaftliche Anwendungen und blaue Biotechnologie relevant.

Themenfeld 5 – *Arbeit und Wertschöpfung*: Im Bereich Arbeit und Wertschöpfung bildet die Digitalisierung den größten Block, mit Themen wie 3D-Druck und Mensch-Maschine-Interaktion. Änderungen bei den Arbeitsformen und der Weiterbildung sind in diesem Zusammenhang ebenfalls von Bedeutung.

Themenfeld 6 – *Gesundheit, Lifestyle und Ernährung*: Auch in diesem Themenfeld liegt der Schwerpunkt auf der Digitalisierung mit Betonung von datenbasierten Ansätzen und dem Hinweis auf

die Möglichkeiten der Telemedizin. Weitere Themen sind die personalisierte Medizin und Techniken zur Unterstützung alternder Gesellschaften. Mit Bezug auf innovative Ernährungstechnologien werden Digitalisierung sowie Automatisierung und Robotik zur Steigerung der Produktivität betont.

Themenfeld 7 – *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*: Dieses Themenfeld zeichnet sich durch eine große Breite an Einzelthemen aus, die die Kreislaufwirtschaft, CO₂-Abscheidung und die Integration von Digitalisierung in Umwelttechnologien umfassen. Daneben werden Wasserbewirtschaftung und Schutz der Meere ebenfalls als wichtig betrachtet.

Themenfeld 8 – *Bauen und Wohnen*: Im Bereich *Bauen und Wohnen* steht die Digitalisierung im Vordergrund des Interesses, deren Einsatz bspw. für Effizienzsteigerungen und „*smart city*“-Anwendungen erwartet wird. Nachhaltigkeit erscheint als zweiter Schwerpunkt Teilthemen wie nachhaltigen Baumaterialien und 3D-Druck.

Themenfeld 9 – *Verteidigung und Sicherheit* werden hauptsächlich von Japan und der EU thematisiert, wobei Japan den zivilen Katastrophenschutz betont. Cybersicherheit ist in Norwegen ein wichtiges Thema.

Themenfeld 10 – *Mobilität und Verkehr*: Im Bereich *Mobilität und Verkehr* stehen Nachhaltigkeit mit alternativen Antrieben und der Dekarbonisierung des Güterverkehrs sowie Digitalisierung für intelligente Verkehrssysteme und autonome Fahrzeuge als Themen im Vordergrund.

Themenfeld 11 – *Luft- und Raumfahrt*: In diesem Themenfeld sind Automatisierung und Autonomie sowie Drohnenentwicklung als Themenschwerpunkte erkennbar.

Themenfeld 12 – *Meerestechnik und Schifffahrt*: Im Themenfeld *Meerestechnik und Schifffahrt* stehen die Gewinnung von Energie und Ressourcen auf dem Meer im Vordergrund des Interesses. Daneben werden auch die Nachhaltigkeit und autonome Schiffe thematisiert.

Themenfeld 13 – *Digitalisierung*: Dieses Themenfeld wird von allen betrachteten Ländern unter Nennung zahlreicher und unterschiedlicher Aspekte behandelt. Es finden sich dabei technologiebezogene Themen wie Big Data, Open Data, Plattformen, das Internet der Dinge, Blockchain sowie Automatisierung und Robotik aber auch Anwendungsfelder wie Gesundheit, Katastrophenschutz, Wirtschaft und Finanzsektor, Gesellschaft, der öffentliche Sektor sowie Gebäude und Infrastrukturen. Aus dieser etwas heterogenen Sammlung sticht das Thema KI bereits erkennbar hervor.

Themenfeld 14 – *Gesellschaft, Kultur und Bildung*: Schwerpunktthemen sind Bildung und lebenslanges Lernen sowie der Einsatz digitaler Technologien im Bildungsbereich. Der gesellschaftliche Zusammenhalt und digitale Problemlösungen sind ebenfalls wichtige Themen, mit besonderer Erwähnung von AR und VR in der Kultur.

Es zeigt sich, dass über die letzten 10 Jahre die vier Themenfelder *Digitalisierung, Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima, Mobilität und Verkehr* sowie *Bauen und Wohnen* an Bedeutung gewonnen haben. Das beobachtete, große Interesse an *Gesellschaft, Kultur und Bildung* spiegelt die wachsende Konvergenz von sozialen und technologischen Innovationen wider. *Energie* bleibt jedoch über die Jahre hinweg das am häufigsten behandelte Thema internationaler Technologieprognosen. *Digitalisierung* und *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* sind seit langem in den Top 5 der meistdiskutierten Themenfelder, während andere Themenfelder wie *Luft- und Raumfahrt* sowie *Verteidigung und Sicherheit* vergleichsweise weniger Beachtung finden.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Zukunftsstudien und Technologieprognosen sind für eine fundierte Forschungs- und Innovationspolitik zunehmend bedeutsam., denn Innovationsprozesse werden immer schneller und komplexer und lösen einen steigenden internationalen Wettbewerbsdruck aus.

Der immense Zuwachs an Technologiewissen sowie die zunehmenden Verflechtungen technisch-wissenschaftlicher und sozio-kultureller Prozesse stellen immer neue Herausforderungen.

Regierungen, internationale Organisationen und Unternehmen werden dadurch gleichermaßen gezwungen, sich ständig neu zu orientieren und schnell auf aktuelle Entwicklungen zu reagieren.

Nationale, themenübergreifende Technologieprognosen und Zukunftsstudien eröffnen Einblicke in die Einschätzungen und Erwartungen von Regierungen hinsichtlich sich abzeichnender (Technologie-)Entwicklungen und teilweise auch in die strategische Planung im jeweiligen nationalen Kontext.

Die Meta-Analyse derartiger Technologieprognosen kann einerseits dazu beitragen, ein Gesamtbild im Hinblick auf die zukünftige Technologieentwicklung sowie auf grenzüberschreitende technologische Trends zu gewinnen. Andererseits können Hinweise auf nationale Stärken und Eigenheiten abgeleitet werden.

Gerade Deutschland als Exportnation mit seiner starken Ausrichtung auf Produkte der Hochtechnologie ist auf die rechtzeitige Identifizierung neuer Trends und Entwicklungspfade angewiesen. Dieser Notwendigkeit tragen nicht nur selbst erstellte Technologieprognosen Rechnung, sondern auch das Monitoring international verfügbarer Studien.

Das Ziel der vorliegenden Meta-Analyse ist es, vorhandenes Zukunftswissen in übersichtlicher Form für Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft verfügbar zu machen. Die Kenntnis von thematischen Schwerpunktsetzungen in internationalen Zukunftsstudien kann deutsche Entscheidungsträger bei der Ermittlung wichtiger Themen für Wissenschafts- und Technologieentscheidungen unterstützen. Auch kann besser eingeschätzt werden, welche Investitionen in Forschung und Entwicklung den größten Nutzen für Gesellschaft und Wirtschaft bringen können.

Mit der vorliegenden Meta-Analyse möchte das VDI Technologiezentrum an vorherige Arbeiten anschließen, insbesondere an vier Studien, die das VDI Technologiezentrum im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) seit Beginn der 2000er Jahre durchgeführt hat: erstens an die Übersichtsstudie „Internationale Technologieprognosen im Vergleich“ aus dem Jahr 2004¹, zweitens an deren Aktualisierung „Aktuelle Technologieprognosen im internationalen Vergleich“ aus dem Jahr 2006², drittens an die 2010 erschienene Studie „Technologieprognosen – Internationaler Vergleich 2010“³ sowie schließlich an die Studie „Technologieprognosen – Internationaler Vergleich 2013“⁴.

Das VDI Technologiezentrum verfolgt und analysiert das Publikationsgeschehen einschlägiger Technologieprognosen und Zukunftsstudien kontinuierlich. In einem 2021 veröffentlichten Übersichtsband⁵ wurden zuletzt knapp 300 internationale Technologieprognosen, Zukunftsstudien

¹ Seiler, P. et al. (2004).

² Holtmannspötter, D. et al. (2006).

³ Holtmannspötter, D. et al. (2010).

⁴ Braun, A. et al. (2013).

⁵ Rijkers-Defrasne, S. et al. (2021).

und Strategiepläne nationaler Akteure aus Nord- und Südamerika, Afrika, Europa und Asien sowie supranationaler Organisationen zusammengetragen.

Die vorliegende Meta-Analyse wertet ausgewählte internationale Technologieprognosen und Zukunftsstudien aus diesem Übersichtsband anhand eines Analyserasters inhaltlich aus. Die Ergebnisse werden international und im Kontext der zeitlichen Entwicklung vergleichend gegenübergestellt.

Im folgenden Kapitel 2 wird die methodische Vorgehensweise näher vorgestellt. Kapitel 3 enthält eine statistische Auswertung aller nationalen Zukunftsstudien aus dem besagten Übersichtsband. Kapitel 4 umfasst die Inhaltsanalysen der einzelnen betrachteten Länder und der zugehörigen Zukunftsstudien. In Kapitel 5 werden diese Ergebnisse je Land und anschließend nach Themenfeldern tabellarisch komprimiert zusammengestellt und diskutiert. Es folgt in Kapitel 6 die Analyse der zeitlichen Entwicklung der Themenschwerpunkte.

2 Vorgehensweise

2.1 Sprachgebrauch und Kontext

In dieser Meta-Analyse umfasst der Begriff „Technologieprognose“ sowohl thematisch breit angelegte Einzelstudien als auch Sammlungen von Studien, die im Rahmen eines größeren (nationalen) Vorausschau-Prozesses oder durch eine bestimmte Institution erstellt wurden. Diese Studien beleuchten nicht nur technologische, sondern auch gesellschaftliche, politische, ökonomische und sozioökonomische Aspekte. Der Begriff „Foresight-Studien“ repräsentiert typischerweise diejenigen Technologieprognosen, die darauf abzielen, mittel- bis langfristige Perspektiven von neuen Technologien, Märkten und gesellschaftlichen Trends zu analysieren und ihre Realisierungschancen frühzeitig einzuschätzen. Um Unklarheiten zu vermeiden, wird in der Meta-Analyse generell von „Technologieprognosen“ oder „Technologiestudien“ gesprochen.

Nationale Technologieprognosen werden typischerweise von Ministerien zur Strategieentwicklung in der Forschungspolitik und Innovationförderung in Auftrag gegeben.

2.2 Methodisches Vorgehen

Die vorliegende Metastudie basiert auf dem im Übersichtsband „Internationale Technologieprognosen und Zukunftsstudien in der Übersicht“⁶ dargestellten Pool von über 300 Technologiestudien und Strategieplänen nationaler und regionaler Regierungen aus Nordamerika, Europa und Asien, aber auch anderer Regionen der Welt sowie internationaler Organisationen.⁷

Dieser Quellenpool beruht auf einer umfassenden Literatur- und Internetrecherche, die allgemeine Schlagworte sowie einschlägige Fachliteratur und -konferenzen einbezieht und an bereits bekannte Akteure anknüpft. Die Auswahl der Dokumente erfolgte anhand von fünf Kriterien: Publikationsjahr ab 2016, inhaltlicher Fokus auf zukünftige Entwicklungen, Behandlung von Technologien, Berücksichtigung sozioökonomischer Aspekte, nationale Regierung oder Regierungseinrichtungen sowie internationale Organisationen als auftraggebende oder durchführende Instanz. Die Quellen stammen aus 41 Ländern, darunter 26 EU-Staaten und 15 Nicht-EU-Staaten, sowie den europäischen Institutionen (EU-Parlament, EU-Kommission).

Eine statistische Auswertung dieser Quellen wird in Kapitel 3 durchgeführt.

In Kapitel 4 wird eine inhaltliche Analyse ausgewählter Studien unternommen.

Die Auswahl der zu analysierenden Technologieprognosen wurde anhand nachfolgender Kriterien getroffen:

- Die Länderauswahl ist auf drei Gruppen beschränkt: globale und europäische Technologiewettbewerber Deutschlands sowie technologisch aufstrebende Länder.
- Auftraggeber der Studie sind Regierungen, nationale Regierungseinrichtungen, internationale Organisationen oder multinationale Konzerne. Insbesondere werden supranationale Aktivitäten der Europäischen Kommission berücksichtigt.

⁶ Rijkers-Defrasne, S. et al. (2021).

⁷ Aufgrund von Sprachbarrieren und begrenzten zeitlichen Ressourcen ist es eher unwahrscheinlich, dass die Recherche vollständig ist. Dennoch wurden keine vergleichbar umfassenden Sammlungen an Zukunftsstudien dieser Art gefunden. Sollten relevante Zukunftsstudien oder Akteure übersehen worden sein, sind Hinweise dazu ausdrücklich willkommen per Mail an foresight@vdi.de.

- Der geografische Bezugsrahmen der Studien umfasst mindestens einen Staat oder übergeordnete Regionen.
- Der technologische Bezugsrahmen betrifft mindestens ein Technologiefeld mit mehreren Einzeltechnologien.
- Fragestellungen berücksichtigen technische und sozioökonomische Aspekte der besprochenen Technologien.

2.2.1 Länderauswahl

Für die inhaltliche Analyse wurden die aktuellen Technologieprognosen aus Japan, Norwegen, Malaysia, Australien, Großbritannien sowie der EU ausgewählt.

Als globaler Wettbewerber wurde **Japan** aufgrund seiner herausragenden Positionen in Forschung und Innovation herangezogen. Japan wurde als G8-Staat ausgewählt, der nach wie vor zu den technologisch weltweit führenden Ländern gehört und mit dem die EU die Kooperation in Forschung und Innovation weiter intensiviert.⁸

Als europäische Wettbewerber wurden **Großbritannien und Norwegen** aufgrund ihrer Innovationsleistung und Kooperation mit der EU berücksichtigt.

Großbritannien zählt laut Globalem Innovationsindex 2023 zu den Top 5 der innovativsten Länder⁹ und strebt an, bis 2035 ein globales Zentrum für Innovation zu werden.¹⁰ Die bilaterale Zusammenarbeit in Forschung und Innovation zwischen Deutschland und Großbritannien ist etabliert, und Großbritannien könnte auch nach dem Brexit ein wichtiger Partner unter dem Forschungsrahmenprogramm „Horizont Europa“ bleiben.

Norwegen sieht Forschung und Innovation als Schlüssel für das Wirtschaftswachstum nach dem Ende der Öl- und Gas-Ära. Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung stiegen 2021 um etwa 9 %, und die Beziehungen zu Deutschland in diesem Bereich gelten als intensiv.¹¹ Norwegen ist als assoziiertes Land in Horizont Europa eingebunden.

Als mögliche, künftige Exportmärkte, Wettbewerbernationen und Innovationspartner Deutschlands wurden **Australien** und **Malaysia** ausgewählt.

Australien strebt an, sich zum Hightech-Standort zu entwickeln, und belegt im Globalen Innovationsindex 2023 Rang 23 unter den Volkswirtschaften mit hohem Einkommen.^{12, 13} Aufgrund der engen Partnerschaft mit Deutschland erscheint die Analyse von Technologieprognosen aus Australien besonders interessant.

Malaysia gehört nicht zu den Top 25 der innovativsten Länder im Globalen Innovationsindex 2023, aber das Ranking zeigt eine Verbesserung der Innovationsleistung im Vergleich zum Vorjahr.¹⁴ Die nähere Untersuchung der Aktivitäten Malaysias, das als aufstrebendes Wissenschaftsland in Südostasien gilt, im Bereich Technologieprognosen erscheint deshalb sinnvoll.

⁸ Kooperation International, [Länderbericht Japan](#) (Abruf am 09.10.2024).

⁹ Wipo (2023a).

¹⁰ UK innovation strategy (Abruf am 30.01.2023).

¹¹ Kooperation International, Norwegen | kooperation-international | Forschung. Wissen. Innovation; [Norwegen - Indikatoren zu Bildung und Forschung](#) (Abruf am 09.10.2024).

¹² BMBF, [Australien](#) (Abruf am 09.10.2024).

¹³ Wipo (2023b).

¹⁴ Wipo (2023a).

Die Auswahl einer **europäischen** Technologiestudie ist vor dem Hintergrund der Verknüpfung nationaler Ziele mit europäischen Prioritäten von großer Bedeutung. Mit der Gestaltung eines Europäischen Forschungsraums (EFR) sollen die europaweite Zusammenarbeit und Forschung sowie Wissenschaft gefördert und die besten Rahmenbedingungen für den Wissenschaftsstandort Europa geschaffen werden. Die **Europäische Kommission** und der Europäische Forschungsraum (EFR) gewinnen angesichts globaler Herausforderungen und geopolitischer Veränderungen für die Kooperation in Forschung und Innovation an Bedeutung.

Diese Auswahl ermöglicht eine internationale Orientierung sowohl hinsichtlich der zukünftigen technologischen Ausrichtung und Wettbewerbsfähigkeit als auch in Bezug auf die Durchführung von Technologieprognosen.

2.2.2 Inhaltliche sowie räumliche und zeitliche Abgrenzung

Zentral für die vorliegende Analyse sind der Vergleich angestrebter bzw. prognostizierter Entwicklungen und Anstrengungen im Bereich zukünftiger Technologien auf nationaler bzw. supranationaler Ebene und ihre möglichen Auswirkungen auf die künftige Wettbewerbsfähigkeit. Damit fallen alle Zukunftsstudien aus dem Raster, die unterhalb dieser Ebenen angesiedelt sind.

Neben dieser institutionellen Abgrenzung ist es aufgrund der Vielzahl inhaltlicher Schwerpunktsetzungen hinsichtlich technologischer und sozioökonomischer Prognosen wichtig, auch eine inhaltlich-thematische Abgrenzung vorzunehmen. Ausschlaggebend für die vorliegende Analyse ist der Vergleich der möglichen technologischen und strategischen Zukunftsausrichtung von Staaten bzw. der EU. Aus diesem Grund werden alle Studien nicht weiter berücksichtigt, die einen sehr eingeschränkten technologischen Fokus bzw. einen rein sozioökonomischen Fokus haben. Technologischer Fortschritt bedeutet allerdings nicht nur die Entwicklung neuer Verfahren, Produktionsmethoden, Anwendungen und Produkte, sondern nimmt auch unmittelbaren Einfluss auf die Wirklichkeit aller gesellschaftlichen Teilbereiche, die bis zu tiefgreifenden Umwälzungen im Leben jedes/jeder Einzelnen reichen können. Aktuelle Trends weisen beispielsweise auf einschneidende Veränderungen im Gesundheitsbereich (u. a. neue Therapie- und Diagnosemethoden sowie neue Gesundheitsdienstleistungen) aufgrund der zunehmenden Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Bio- und Nanotechnologien hin. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, neben den rein technologischen Fragestellungen auch die künftige Entwicklung sozioökonomischer Aspekte zu berücksichtigen. Daher ist die Diskussion dieser Fragestellungen in den Technologieprognosen eine weitere Bedingung für die Berücksichtigung in der Meta-Analyse.

Neben der inhaltlichen Eingrenzung in qualitativer Hinsicht ist ebenso eine zeitliche Beschränkung zu treffen. Diese betrifft zum einen den Zeitpunkt, an dem die Studie veröffentlicht wurde, zum anderen den Zeithorizont, den die Studie in ihrer Prognose berücksichtigt. In den vorliegenden Vergleich werden die jeweils aktuellsten verfügbaren Zukunftsstudien einbezogen. Im Hinblick auf den Prognosehorizont wurde versucht, eine möglichst einheitliche Linie in den Studien zu finden. Im Ergebnis wurden Prognosen einbezogen, die Aussagen bis etwa zum Jahr 2050 beinhalten.

Aufgrund der Summe der oben diskutierten Kriterien wurden aus dem Pool aktueller internationaler Technologieprognosen aus dem Übersichtsband¹⁵ Technologieprognosen aus den folgenden sechs

¹⁵ Rijkers-Defrasne, S. et al. (2021).

Ländern: Australien, Großbritannien, Japan, Malaysia und Norwegen sowie die 2019 veröffentlichte EU-Studie „100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future“ ausgewählt.

Tabelle 2-1: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 1).

Herkunftsland bzw. -region	Studie	Auftraggeber	Durchführende Institution(en)	Veröffentlichung	Zeithorizont
Australien	Australian National Outlook 2019 (ANO 2019)	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) und die National Australia Bank	CSIRO Chair David Thodey AO and Australian Economist Ken Henry AC	2019	2060
Großbritannien	Ausgewählte Studien des UK Foresight-Programms	Government Office for Science	Experten-Konsortien	2016 – 2022	2022 – 2100
Japan	The 11th S&T Foresight: S&T Foresight	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)	Science and Technology Foresight Center; National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)	2019 (engl. Kurzfassung 2020)	2040
Malaysia	Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology (ESET) Study	Ministry of Science, Technology and Innovation (MOSTI)	Academy of Sciences Malaysia (ASM)	2017	2050
Norwegen	Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway	Norwegischer Forschungsrat (Research Council of Norway, NFR)	RAND Europe und DAMVAD Analytics	2021	2040
EU	100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future	European Commission, DG RTD	Expertengruppe	2019	2038

Quelle: eigene Darstellung.

Tabelle 2-2: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2)

	AUSTRALIEN Australian National Outlook 2019 (ANO 2019)	GROSSBRITANNIEN Ausgewählte Studien des UK Foresight-Programms
Ziele	Einen umfassenden Fahrplan Australiens bis 2060 aufzuzeigen, und die langfristigen Trends und Herausforderungen, die Australien in den Bereichen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt zu erwarten hat, zu untersuchen	Unterschiedliche spezifische Zielsetzungen je nach thematischem Bericht Gesamttenor des UK Foresight-Programms: Ermittlung der wichtigsten Herausforderungen und Optionen für die Regierung, um eine bessere und langfristig belastbare Politik entwickeln zu können
Methodik/ studien- spezifische Technologie- Selektions- Kriterien	Es wurden zwei Szenarien für Australien im Jahr 2060 abgeleitet: „Slow Decline“ auf der einen Seite und „the Outlook Vision“ auf der anderen Es werden Handlungsmaßnahmen für fünf Bereiche abgeleitet: Industrie, Städteentwicklung, Energie, Landwirtschaft und Kultur Für alle fünf Bereiche werden drei vordringliche Umsetzungsmaßnahmen ("Hebel") mit dem höchsten Wirkungspotenzial definiert	Kriterien für die Auswahl der Themen, denen eine Studie des UK-Foresight-Programms gewidmet wird: Potenzieller Adressat (Ressort) innerhalb der Regierung; wissenschaftlicher, bzw. technologischer Bezug; langfristiger Zeithorizont; Aktualität des Themas in Bezug auf die Regierungsarbeit; potenzielle politische Auswirkungen der Befassung mit dem Thema.
Ressourcen	Mitglieder des ANO-2019-Projekts diskutierten in acht Workshops über 18 Monate hinweg die Ergebnisse	Für jedes Thema speziell einberufene Arbeitsgruppen in Zusammenarbeit mit zahlreichen Expert*innen aus Forschung, Politik und Wirtschaft und unter Leitung von GO-Science
Besonder- heiten und Qualität	Definition von Wachstumschancen im Gesundheitswesen, in der Landwirtschaft, im Baugewerbe, im Bergbau, in der Bildung, in der Lebensmittelherstellung, für die Cybersicherheit und im Bereich Metalle und Wasserstoff	Jede thematische Studie wird gestützt durch wissenschaftliche/technologische Teilberichte/Reviews, die das Ergebnis von Expertenworkshops wiedergeben Qualitativ fundierte und wissenschaftlich/technologisch gründliche Untersuchung jedes Themas

Quelle: eigene Darstellung.

Tabelle 2-3: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2 Fortsetzung).

	JAPAN The 11th S&T Foresight: S&T Foresight	MALAYSIA Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology Study
Ziele	Bereitstellung grundlegender Informationen als Beitrag zur Diskussion über die Wissenschafts-, Technologie- und Innovationspolitik Japans einschließlich des Sechsten Basisplans für Wissenschaft, Technologie und Innovation	Zukunftsbild von Wissenschaft und Technologie in Malaysia bis 2050 mit Schwerpunkt auf neuen Technologien in den fünf Hauptbereichen: Biotechnologie, digitale Technologie, Grüne Technologie, Nanotechnologie und Neurotechnologie.
Methodik/ studien- spezifische Technologie- Selektions- Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zweistufige Delphi-Befragung zu Wissenschaft und Technik ▪ Visioning und Szenarien zu gesellschaftlichen Themen ▪ Technologieselektion: Inhalte der 10. Foresight-Studie, Horizon Scanning, Konsolidierung durch Expertengremien 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Scoping ▪ Informationssammlung ▪ Zusammenführen der Informationen ▪ Auswahl aufkommender Technologien ▪ Handlungsempfehlungen ▪ Technologieselektion anhand von Durchführbarkeits- und Attraktivitätskriterien
Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mehrere Expertennetzwerke ▪ Rücklauf der ersten Runde: 6697 ▪ Rücklauf der zweiten Runde: 5352 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15 Veranstaltungen zur Einbindung von Stakeholder*innen ▪ 5 Arbeitsgruppen zu den technologischen Hauptbereichen mit 40 Beteiligten ▪ Über 200 Beteiligte aus 144 Organisationen ▪ 3 internationale Zukunftsforschende ▪ 11 Analysten
Besonder- heiten und Qualität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prozess mit langer Tradition und entsprechend großem Erfahrungshintergrund 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teil eines nationalen Prozesses „Nationale Transformation 2050“ ▪ Erste umfassende, nationale Technologievorausschau in Malaysia

Quelle: eigene Darstellung.

Tabelle 2-4: Charakteristika der ausgewählten Technologieprognosen (Teil 2 Ende).

	Norwegen Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway	EU 100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future
Ziele	Ziel der Studie ist es, die Entwicklung einer resilienten Forschungs- und Innovationsumgebung in Norwegen zu unterstützen, um das norwegische F&I-System zukunftsfähig zu machen	Identifizierung sogenannter "radikaler Innovationsdurchbrüche", d. h. potenziell wichtiger und bereichsübergreifender disruptiver Innovationen, die für die Gestaltung zukünftiger EU-Politiken, insbesondere für die zukünftige Forschungs- und Innovationspolitik der EU, sowie für wichtige nationale oder regionale Strategien (darunter die <i>Smart Specialisation</i> Strategie) relevant sind
Methodik/ studien-spezifische Technologie-Selektions-Kriterien	Es wurden acht Szenarien bis zum Jahr 2040 entwickelt und eine Reihe plausibler Zukunftsentwicklungen zusammengestellt. Hieraus wurden fünf themenübergreifende Bedarfsebenen identifiziert und zehn strukturelle Maßnahmen abgeleitet. Die Studie wurde mittels eines partizipativen Ansatzes durchgeführt, der eine Vielzahl von Methodologien umfasste, wie Trendanalysen, Literaturüberprüfungen, Stakeholder-Interviews, Fokusgruppen, eine Online-Umfrage der Öffentlichkeit, das Crowdsourcing von Ideen und Informationen von Expert*innen, Analysen zukünftiger Szenarien und Workshops.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anlehnung an der 2014 veröffentlichte Studie „<i>Radical Technology Inquirer</i>“ RTI des Ausschusses für die Zukunft des finnischen Parlaments und Weiterentwicklung deren Ansatz für Europa ▪ Durchführung von Interviews mit Expert*innen aus 22 europäischen Ländern ▪ Identifizierung von globalen Wertschöpfungsnetzwerken (<i>Global Value Networks</i>) ▪ Erarbeitung von möglichen Zukunftsszenarien für die GVN ▪ Identifizierung von technologischen und sozialen Durchbrüchen in einem iterativen Prozess, bestehend aus einer Meta-Analyse abgeschlossener Foresight-Projekte unter Nutzung von Methoden des maschinellen Lernens ▪ Identifizierung potenzieller Auswirkungen der technologischen und sozialen Durchbrüche auf die GVN
Ressourcen	Einbindung von Projektteams bei RAND Europe, bei DAMVAD Analytics und beim Forschungsrat Norwegen. Stakeholder-Foresight-Workshops. Beratungsgremium von Expert*innen aus Wissenschaft, Industrie, Regierung und Öffentlichkeit. 2 Qualitätssicherungsprüfer*innen.	Einbindung von zahlreichen Expert*innen aus 22 Ländern + Nutzung von Methoden des maschinellen Lernens.
Besonderheiten und Qualität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für diese Studie betrachteten die Forscher*innen Missionen als gezielte, zeitlich begrenzte, messbare Prioritätsmaßnahmen, die dazu dienen sollen, ein oder mehrere gesellschaftliche Herausforderungen zu lösen, die von der RCN (Research Council of Norway) und anderen Interessengruppen in der Zukunft entwickelt und umgesetzt werden könnten. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewertung der identifizierten technologischen und sozialen Innovationen im Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit ihrer Verbreitung bis 2038, ihrer aktuellen Reife sowie der europäischen Position ▪ Unterschiedliche Granularität und Fokus (Technologiefokus oder Fokus auf den Anwendungsbereich) der identifizierten Innovationsdurchbrüche ▪ Ableitung von strategischen politischen Empfehlungen für Europa

Quelle: eigene Darstellung.

2.3 Darstellung und Inhaltsanalyse

Die Darstellung der Technologieprognosen geht für jedes der betrachteten Länder von einer Kurzvorstellung der Struktur und Hauptakteure der öffentlichen Förderung von Forschung, Technologie und Innovation des jeweiligen nationalen Innovationssystems bzw. im Fall der Darstellung europäischer Technologieprognosen von einer Kurzvorstellung der institutionellen Struktur der Innovationsförderung auf EU-Ebene aus. Anhand dieser Kurzdarstellung lassen sich die Aktivitäten

und insbesondere die Auftraggeber der Technologieprognosen im Bereich der Technologieprognose in den nationalen bzw. europäischen Wirkungszusammenhang einordnen.

Eine Kurzübersicht früherer Aktivitäten im Bereich der Technologieprognose leitet dann über in die vertiefende Analyse der ausgewählten Studie bzw. Studien für das jeweilige Land bzw. für die EU.

Der Analyse in Kapitel 4 wird jeweils eine schematische Kurzbeschreibung vorangestellt, die sowohl einen Überblick über den Auftraggeber und die durchführende Institution als auch einen Einblick in die inhaltliche Dimension und Zielsetzung der Technologieprognosen gibt.

Die Inhalte der Technologiestudien werden dann anhand eines einheitlichen Analyserasters vertieft untersucht. Dadurch werden der Vergleich und die Zusammenführung der Technologieprognosen in Kapitel 5 erleichtert bzw. überhaupt erst möglich.

Diese einheitliche Strukturierung in übergreifende Themenfelder wird aus der inhaltlichen Gliederung der ausgewählten Technologieprognosen und aus etablierten Technologierastern erarbeitet und dient im weiteren Verlauf als Analyseraster. Die übergreifenden Themenfelder sind:

- *Energie*
- *Materialtechnik*
- *Basistechnologien der Digitalisierung*
- *Biotechnologie*
- *Arbeit und Wertschöpfung*
- *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*
- *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*
- *Bauen und Wohnen*
- *Verteidigung und Sicherheit*
- *Mobilität und Verkehr*
- *Luft- und Raumfahrt*
- *Meerestechnik und Schifffahrt*
- *Digitalisierung*
- *Gesellschaft, Kultur und Bildung*

Zu diesen übergreifenden Themenfeldern werden im Abschnitt die wesentlichen Aussagen und Prognosen der jeweiligen Technologiestudien herausgearbeitet. Hierbei ist zu betonen, dass im Rahmen dieser Meta-Analyse die Stichhaltigkeit dieser Aussagen und Prognosen nicht bewertet wird. Es werden lediglich die wichtigsten Prognosen herausgefiltert, unabhängig davon, ob sie den Autoren dieser Meta-Analyse realistisch, wahrscheinlich, unwahrscheinlich, unrealistisch oder möglicherweise sogar abwegig erscheinen mögen.

In Unterkapitel 5.2 werden auf dieser Grundlage die ausgewählten Technologieprognosen gegenübergestellt. Übereinstimmungen und Differenzen werden auf diesem Wege sichtbar gemacht. Unterkapitel 5.3 fasst die Ergebnisse dieses Ländervergleichs zusammen und identifiziert inhaltliche Querschnittsaspekte.

Kapitel 6 stellt schließlich die zeitliche Entwicklung der Themenschwerpunkte ausgewählter internationaler Technologieprognosen im Zeitraum von 2004 bis 2023 dar basierend auf den Ergebnissen von Kapitel 5 und den Ergebnissen der früheren Vergleichsstudien von 2004, 2006, 2010 und 2013. Für Details zur Übertragung der Ergebnisse der Vorgängerstudien in das 2023 modifizierte Analyseraster, siehe Kapitel 7.

2.4 Konkordanz: Analyseraster 2013 zu Analyseraster 2023

Um der raschen Entwicklung in Technologie und Wissenschaft in den letzten 10 Jahren Rechnung zu tragen, wurde das bis 2013 genutzte Analyseraster, das in den vorigen Metastudien dieser Reihe zur Analyse der internationalen Technologieprognosen herangezogen wurde, dem aktuellen Sprachgebrauch angepasst.

Die nachfolgende Tabelle 2-5 enthält die Konkordanz zwischen dem Analyseraster 2013 und dem neuen Analyseraster 2023. Die Vorgehensweise zur Nachführung früherer statistischer Aussagen auf das neue Analyseraster 2023 ist in Kapitel 7 dargestellt.

Tabelle 2-5: Analyseraster 2023 im Vergleich zum bisher genutzten Analyseraster 2013.

Bis 2013	Ab 2023
Energie	Energie
Materialtechnik	Materialtechnik
Nano- und Mikrosystemtechnologien	Basistechnologien der Digitalisierung
Optische Technologien	
Elektronik	
Biotechnologien und Life Sciences	Biotechnologie
Produktions- und Prozesstechnik	Arbeit und Wertschöpfung
Dienstleistungen	
Gesundheit (inklusive Medizintechnik) und Ernährung	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung
Nachhaltigkeit und Umwelt	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima
Bauen und Wohnen	Bauen und Wohnen
Verteidigung und Sicherheit	Verteidigung und Sicherheit
Transport und Verkehr, Logistik	Mobilität und Verkehr
Luft- und Raumfahrt	Luft- und Raumfahrt
Meerestechnik und Schifffahrt	Meerestechnik und Schifffahrt
Informations- und Kommunikationstechnologien	Digitalisierung
	Gesellschaft, Kultur und Bildung

Quelle: eigene Darstellung.

Die Überarbeitung des Analyserasters führte zu folgenden Änderungen:

- Die drei Themenfelder *Nano- und Mikrosystemtechnologien*, *Optische Technologien* sowie *Elektronik* wurden zu einem neuen Themenfeld *Basistechnologien der Digitalisierung* zusammengelegt.
- Die beiden Themenfelder *Produktions- und Prozesstechnik* sowie *Dienstleistungen* wurden zu einem neuen Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung* zusammengelegt.
- Das Themenfeld *Gesellschaft, Kultur und Bildung* wurde zusätzlich aufgenommen. Dieses neue Themenfeld trägt der Tatsache Rechnung, dass Technologieentstehungsprozesse zunehmend unmittelbar in ihren Wechselwirkungen mit gesellschaftlichen Prozessen reflektiert werden, was sich auch in der modernen Vorstellung von Innovationen als sozio-technischen Prozessen widerspiegelt.

3 Statistische Gesamtanalyse

In diesem Kapitel werden die identifizierten und in der 2021 veröffentlichten Übersichtsstudie zusammengetragenen internationalen Technologieprognosen, Zukunftsstudien und Strategiepläne im Betrachtungszeitraum 2016 – 2022 statistisch analysiert.¹⁶ Die nachfolgende statistische Gesamtanalyse basiert somit auf einem Pool von über 300 Studien und Strategieplänen nationaler und regionaler Regierungen aus Nordamerika, Europa und Asien, aber auch anderer Regionen der Welt sowie internationaler Organisationen.¹⁷

3.1 Anzahl nationaler Zukunftsstudien

Die folgenden Analysen dieses Kapitels konzentrieren sich auf die nationalen Zukunftsstudien und Technologieprognosen im engeren Sinne, diese werden im weiteren Verlauf von Kapitel 3 zusammenfassend als Zukunftsstudien bezeichnet. Für die Unterscheidung werden die im ZT-Band 107 vorgenommenen Einordnungen zugrunde gelegt.¹⁸ Es verbleiben insgesamt 19 Länder, die im Betrachtungszeitraum nationale Zukunftsstudien erstellt und veröffentlicht haben:

- EU-Staaten (7): Dänemark, Estland, Finnland, Frankreich, Lettland, Malta, Österreich,
- Nicht-EU-Staaten (12): Australien, Indien, Japan, Kanada, Malaysia, Norwegen, Russland, Saudi-Arabien, Schweiz, Südkorea, UK, USA.

Aus diesen 19 Ländern sind insgesamt 118 nationale Zukunftsstudien in der Stichprobe enthalten. Zur allgemeinen Einordnung und zum Vergleich sind auch 22 Zukunftsstudien von EU-Institutionen in der nachfolgenden Abbildung mit aufgeführt.

¹⁶ Die statistischen Analysen in diesem Kapitel beziehen sich auf Dokumente des in ZT-Band 107 veröffentlichten Katalogs internationaler Technologieprognosen und Zukunftsstudien (s. Rijkers-Defrasne, S. et al. (2021)). Bei der Betrachtung in diesem Kapitel wurden Dokumente supranationaler Organisationen, Dokumente der Kategorie „Sekundärartikel/Veröffentlichungen“ sowie alle Dokumente im Anhang außer Acht gelassen.

¹⁷ Die in diesem Kapitel dargestellte statistische Gesamtanalyse wurde bereits im Herbst 2023 veröffentlicht, s. Zweck, A. et al. (2023).

¹⁸ Gegenüber der in Unterkapitel 3.1 verwendeten Grundgesamtheit werden nachfolgend die regionalen Zukunftsstudien und die nationalen Strategiepläne aus der Betrachtung genommen. Diese Einschränkung ist sinnvoll und notwendig, weil gerade in Bezug auf die Strategiepläne eine Vollständigkeit der Recherche nicht angestrebt wurde. Eine umfangreiche Sammlung an Dokumenten zur Wissenschafts-, Technologie- und Innovationspolitik verschiedener Staaten bietet bspw. die OECD unter <https://stip.oecd.org/>.

Internationale Zukunftsstudien (2016-2022)

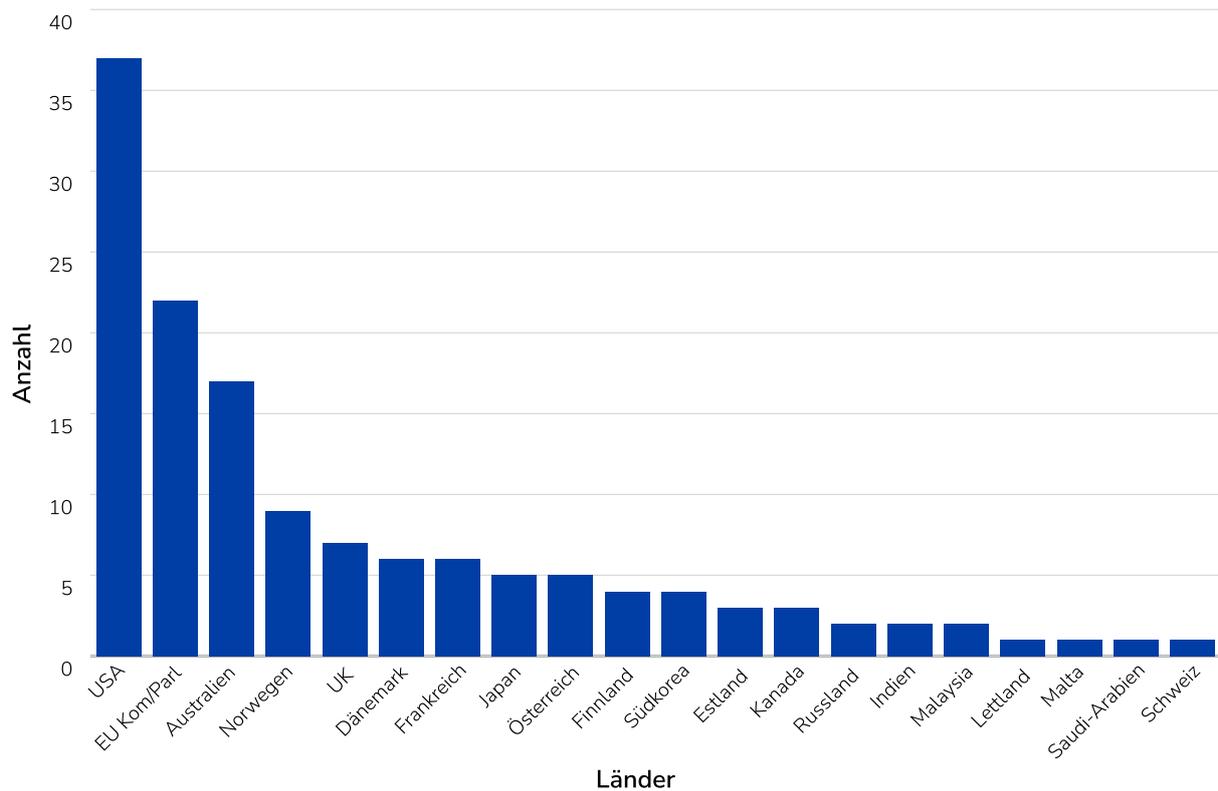


Abbildung 3-1: Verteilung der Anzahl der betrachteten internationalen Zukunftsstudien im Zeitraum 2016 - 2022 nach Ländern (einschließlich Zukunftsstudien der EU).

Quelle: eigene Erhebung und Darstellung.

Die meisten Zukunftsstudien stammen demnach aus den USA, gefolgt von der EU und Australien.

3.2 Themenschwerpunkte nationaler Zukunftsstudien

Um die inhaltlichen Schwerpunktsetzungen der Zukunftsaktivitäten einzelner Länder miteinander vergleichen zu können, wurde ein Themenprofil der Länder erhoben, das als **nationaler thematischer Fingerabdruck** bezeichnet wird. Zu diesem Zweck wurden die Inhalte aller identifizierten Zukunftsstudien anhand des in Unterkapitel 2.4 dargestellten einheitlichen Analyserasters strukturiert erfasst.

Es wurde für jede der insgesamt 118 identifizierten Zukunftsstudien eine Einschätzung zum Umfang bzw. zur Tiefe der Behandlung des jeweiligen Themenfeldes nach dem folgenden Wertungsschema abgegeben:

- Themenfeld wird in der Studie nicht erwähnt/spielt keine Rolle – Wertung 0
- Themenfeld wird erwähnt aber nicht eingehend behandelt – Wertung 1
- Themenfeld wird eingehend behandelt mit zitierbaren Zukunftsaussagen – Wertung 2

Aus der Summe dieser Einschätzungen wurden drei Kennzahlen abgeleitet:¹⁹

- Themen-Breite (TB): Summe der jeweils höchsten Wertung je Themenfeld über alle Zukunftsstudien eines Landes.
- Studien-Intensität (SI): Summe aller Wertungen über alle Themenfelder und Zukunftsstudien eines Landes.
- Themen-Intensität (TI): Summe aller Wertungen zu einem Themenfeld über alle Zukunftsstudien (ggf. bezogen auf eine Gruppe von Ländern).

Es folgen in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.2 zwei Tabellen mit den Daten zu den so erhobenen Kennzahlen, an denen sich auch die praktische Berechnung der Kennzahlen nachvollziehen lässt. Dabei gibt Tabelle 3-1 die Einschätzungen und Einzelwerte zur Bestimmung der Kennzahl Themen-Breite (TB) wieder und analog Tabelle 3-2 die Informationen zur Bestimmung der Kennzahlen Studien-Intensität (SI) und Themen-Intensität (TI).

Die Themen-Breite steht als Kennzahl für die thematische Breite der Zukunftsstudien eines Landes stehen. Bei 14 Themenfeldern und einer Höchstwertung von 2 je Themenfeld liegt die der Maximalwert der Themen-Breite bei 28.

Die Studien-Intensität hängt von der Zahl der Zukunftsstudien eines Landes ab und kann (theoretisch) beliebig groß werden. Sie fällt umso größer aus, je mehr Zukunftsstudien des jeweiligen Landes es gibt. Dabei spielt die thematische Verteilung keine Rolle. Je höher der Wert, umso größer kann die Intensität der Zukunftsbefassung in Studien des betreffenden Landes angesehen werden.

Die Themen-Intensität erlaubt eine etwas differenziertere Sicht auf den Umfang der Behandlung eines bestimmten Themenfeldes durch (bestimmte je nach Interesse festzulegende) Gruppen von Ländern.

3.2.1 Kennzahl Themen-Breite und Diskussion

Die nachfolgende Tabelle 3-1 fasst die Ergebnisse der Einschätzung zur Kennzahl Themen-Breite zusammen.²⁰

¹⁹ Auch wenn aus der Wertung und den anschließenden Summenbildungen quantitative Kennzahlen konstruiert werden, verbleibt ein nicht unerheblicher Anteil an qualitativer Einschätzung. Dieser qualitative Anteil liegt in der Vergabe der Einzelwertungen. Darüber hinaus bestehen – bei aller Sorgfalt – Unsicherheiten bezüglich der Vollständigkeit der Recherche. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf Zukunftsstudien in Originalsprache, von denen keine englischsprachigen Übersetzungen verfügbar sind bzw. auf die nicht in englischer Sprache hingewiesen wird. Die nachfolgenden Beobachtungen aus dieser statistischen Analyse sollten in diesem Sinne nicht überbewertet bzw. überinterpretiert werden. Sie dienen in erster Linie dazu, trotz der Fülle und des Umfangs der Dokumente einen kompakten Überblick über die behandelten Themen und Unterschiede zwischen den Ländern zu vermitteln, ohne die Inhalte aller Zukunftsstudien vollständig qualitativ erfassen und wiedergeben zu müssen.

²⁰ Dabei steht für jedes der 14 betrachteten Themenfelder ein blaues Feld dafür, dass das Themenfeld in mindestens einer Studie des Landes eingehend behandelt wird, während ein nur zu Hälfte blaues Feld kennzeichnet, dass das Themenfeld in keiner Studie eingehend aber in mindestens einer Studie des Landes erwähnt, wenn auch nicht eingehend behandelt wird. Ein weißes Feld steht schließlich dafür, dass das Themenfeld in keiner der Studien aus dem Land erwähnt wird, bzw. eine Rolle spielt. In der Summe ergibt sich pro Zeile die Themen-Breite eines Landes.

Tabelle 3-1: Ergebnisse der Einschätzungen zur Kennzahl Themen-Breite.

Ein blaues Feld steht dafür, dass das Themenfeld in mindestens einer Studie des Landes eingehend behandelt wird, während ein nur zu Hälfte blaues Feld kennzeichnet, dass das Themenfeld in keiner Studie eingehend aber in mindestens einer Studie des Landes erwähnt, wenn auch nicht eingehend behandelt wird. Ein weißes Feld steht dafür, dass das Themenfeld in keiner der Studien aus dem Land erwähnt wird, bzw. eine Rolle spielt. In der Summe ergibt sich pro Zeile die Themen-Breite eines Landes.

	Digitalisierung	Gesellschaft, Kultur und Bildung	Arbeit und Wertschöpfung	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Energie	Basistechnologien der Digitalisierung	Biotechnologie	Mobilität und Verkehr	Materialtechnik	Bauen und Wohnen	Luft- und Raumfahrt	Verteidigung und Sicherheit	Meerestechnik und Schifffahrt	Themen-Breite
Finnland	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	28
Japan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	28
Australien	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	26
Österreich	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	26
UK	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	26
USA	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	26
Frankreich	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	25
Südkorea	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	24
Kanada	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	23
Indien	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	21
Norwegen	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	21
Lettland	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	20
Saudi-Arabien	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	20
Russland	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	18
Schweiz	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	17
Malaysia	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	16
Malta	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	14
Dänemark	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	7
Estland	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	3
	36	36	34	34	34	32	29	27	27	24	22	20	19	15	

Quelle: eigene Darstellung.

Folgende Beobachtungen in Bezug auf die thematische Breite können festgehalten werden:

- Finnland und Japan sind die einzigen Länder, die jedes der 14 Themenfelder eingehend behandelt haben.
- Bei Dänemark und Estland zeigt sich die stärkste thematische Konzentration auf nur zwei bzw. vier Themenfelder. Dabei handelt es sich jedoch um Themenfelder, die auch in anderen Ländern große Beachtung finden.
- Das Themenfeld *Gesellschaft, Kultur und Bildung* ist das einzige Feld, das von allen untersuchten Ländern behandelt wird.
- Die drei Themenfelder *Digitalisierung, Arbeit und Wertschöpfung, Gesundheit, Lifestyle und Ernährung* werden jeweils höchstens von einem der 19 betrachteten Länder nicht aufgegriffen.
- Die beiden Themenfelder *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* sowie *Energie* werden jeweils höchstens von zwei der 19 betrachteten Länder nicht aufgegriffen.
- Das Themenfeld *Meerestechnik und Schifffahrt*, das von den wenigsten Ländern eingehend behandelt wurde, ist ein Themenschwerpunkt in UK, Kanada, Norwegen, Finnland und Japan.
- Bemerkenswert ist, dass im Betrachtungszeitraum (2016 – 2022) das Themenfeld *Verteidigung und Sicherheit* eine stark untergeordnete Rolle spielt.

3.2.2 Kennzahlen Themen-Intensität und Studien-Intensität und Diskussion

Die folgende Tabelle 3-2 fasst die Ergebnisse der Einschätzung zu den Kennzahlen Themen-Intensität und Studien-Intensität zusammen.²¹

²¹ Hierfür erfolgt eine Auswertung über alle Studien eines Landes. Ähnlich wie bei der Auswertung zur Themen-Breite in Abschnitt 3.2.1 wird einer Studie der Wert „2“ zugeordnet, wenn sich die Studie eingehend mit dem Themenfeld beschäftigt, „1“, wenn das Themenfeld zwar erwähnt, aber nicht eingehend diskutiert wird, und „0“, wenn das Themenfeld gar nicht oder nur marginal Gegenstand der Studie ist. Für jedes Themenfeld wird dann die Summe der Ergebnisse aus der Bewertung über alle Studien eines Landes gebildet.

Aus der Summe der Ergebnisse über alle Themenfelder ergibt sich dann die Studien-Intensität eines Landes, die ein Maß für die Intensität der Auseinandersetzung mit Zukunftsthemen in Studien des Landes darstellt, während sich aus der Summe pro Themenfeld die Themen-Intensität ergibt, d. h. die Intensität der Bewertung dieses Themenfeldes über alle Länder und Studien.

Tabelle 3-2: Einschätzungen zu den Kennzahlen Studien-Intensität und Themen-Intensität.

Ausgangspunkt für die Tabelle ist die folgende Auswertung über alle Studien eines Landes: Für jedes Themenfeld wird einer Studie der Wert „2“ zugeordnet, wenn sich die Studie eingehend mit dem Themenfeld beschäftigt, „1“, wenn das Themenfeld zwar erwähnt, aber nicht eingehend diskutiert wird, und „0“, wenn das Themenfeld gar nicht oder nur marginal Gegenstand der Studie ist. Die Felder in der Tabelle enthalten die Summe der Einzelwertungen pro Themenfeld der Studien eines Landes.

Aus der Summe der Ergebnisse über alle Themenfelder ergibt sich die *Studien-Intensität* eines Landes (in der Spalte ganz rechts) – je höher der Wert, umso größer kann die Intensität der Zukunftsbefassung in Studien des betreffenden Landes angesehen werden. Dagegen ergibt sich aus der Summe pro Themenfeld der Bewertung über alle Länder und Studien die *Themen-Intensität* (unterste Zeile). Die Themen-Intensität erlaubt eine etwas differenziertere Sicht auf den Umfang der Behandlung eines bestimmten Themenfeldes durch (bestimmte je nach Interesse zu bestimmenden) Gruppen von Ländern.

	Gesellschaft, Kultur und Bildung	Digitalisierung	Arbeit und Wertschöpfung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Energie	Mobilität und Verkehr	Basistechnologien der Digitalisierung	Biotechnologie	Materialtechnik	Bauen und Wohnen	Luft- und Raumfahrt	Verteidigung und Sicherheit	Meerestechnik und Schifffahrt	Studien-Intensität
EU	35	37	38	27	23	24	22	19	18	14	13	10	12	6	298
USA	16	15	13	17	20	18	13	11	13	9	6	13	13	2	179
Australien	22	17	12	25	13	25	11	11	10	15	4	4	1	0	170
Österreich	10	10	10	10	10	10	8	8	10	8	10	8	7	0	119
Norwegen	13	12	14	13	12	10	4	5	3	0	2	0	1	11	100
UK	10	12	13	7	8	8	9	6	4	2	8	5	2	3	97
Südkorea	6	8	8	8	8	8	6	5	2	4	4	0	2	0	69
Frankreich	5	6	11	7	5	6	7	3	4	4	7	2	0	1	68
Finnland	8	8	8	4	4	4	4	2	2	4	4	2	2	2	58
Japan	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	43
Kanada	6	6	6	3	2	1	2	1	3	3	1	2	1	2	39
Indien	2	3	3	3	2	2	1	4	4	3	0	1	1	1	30
Dänemark	7	5	1	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Malaysia	2	4	2	3	3	1	1	4	3	1	1	0	0	0	25
Saudi-Arabien	2	2	2	2	2	2	2	0	0	2	1	1	2	1	21
Lettland	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	0	0	0	20
Russland	2	4	0	2	2	2	2	2	2	0	0	2	0	0	20
Schweiz	2	2	2	2	1	2	2	0	0	1	1	0	2	0	17
Malta	2	2	2	2	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	14
Estland	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Themen-Intensität	159	158	154	140	134	130	97	88	83	75	67	53	49	32	

Quelle: eigene Darstellung.

Bezogen auf die Themen-Intensität und Studien-Intensität nach Tabelle 3-2 fallen die folgenden Punkte auf:

- Die Top-3-Themenfelder sind in dieser Reihenfolge: *Gesellschaft, Kultur und Bildung, Digitalisierung* und *Arbeit und Wertschöpfung*.
- Im Vergleich zur Rangfolge der Themenfelder anhand der Themen-Breite in Tabelle 3-1 sind nur geringfügige Unterschiede festzustellen:
 - Es gibt eine Spitzengruppe von sechs Themenfeldern, deren Themen-Intensitäten sich deutlich von den nachfolgenden Themenfeldern abheben: *Gesellschaft, Kultur und Bildung, Digitalisierung, Arbeit und Wertschöpfung, Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima, Gesundheit, Lifestyle, Ernährung sowie Energie*. Im Vergleich zur Rangfolge anhand der Themen-Breite zeigen sich Unterschiede von höchstens einem Platz.
 - Bei der Gruppe von Themenfeldern mit den fünf niedrigsten Themen-Intensitäten, bestehend aus *Materialtechnik, Bauen und Wohnen, Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und Sicherheit, Meerestechnik und Schifffahrt*, gibt es weder eine Abweichung bei der Zusammensetzung noch bei der Rangfolge anhand der Themen-Breite.
 - Auch die Zusammensetzung einer mittleren Gruppe von den drei Themenfeldern *Mobilität und Verkehr, Basistechnologien der Digitalisierung* und *Biotechnologie* ist in beiden Rangfolgen gleich – nur beim Themenfeld *Mobilität und Verkehr* gibt es eine Abweichung um zwei Ranglistenplätze, die numerisch kaum als signifikant anzusehen ist.
- Das zugrundeliegende Analyseraster orientiert sich in seiner Reihenfolge (vgl. Unterkapitel 2.3 – soweit möglich – inhaltlich an einer Abfolge vom Grundlegenden zum Komplexen, vom Kleinen zum Großen und grob entlang der Maslow'schen Bedürfnispyramide von grundlegenden zu höheren Bedürfnissen. Im Vergleich zur Rangfolge der Themen fällt auf, dass die beiden Themen an der Spitze der inhaltlichen Reihenfolge auch an der Spitze der Befassung in Zukunftsstudien stehen. Die Gruppe der Basis-Themenfelder *Energie, Materialtechnik, Basistechnologien der Digitalisierung* und *Biotechnologie* nimmt in der Rangfolge der Themenfelder der Zukunftsstudien eher mittlere Plätze ein, während die mittleren Plätze der inhaltlichen Reihenfolge tendenziell die geringste Aufmerksamkeit erfahren.
- Außerdem fällt auf, dass die Rangfolge der Themenfelder kaum von der absoluten Studien-Intensität eines Landes abhängt. Das heißt, diese Rangfolge bleibt im Wesentlichen unverändert für die Gruppe der Länder mit den höchsten Studien-Intensitäten (EU/USA bis UK) im Vergleich zur Gruppe der Länder mit niedrigeren Werten der Studien-Intensität (Südkorea bis Malta).
- Die Darstellung in Tabelle 3-2 hat allerdings den Vorteil (auch gegenüber Tabelle 3-1), dass die wenigen klaren, länderspezifischen Schwerpunktsetzungen besonders deutlich hervortreten. Dies sind u. a. die *Meerestechnik* für Norwegen, *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* für Dänemark und ggf. noch *Arbeit und Wertschöpfung* für Estland sowie *Digitalisierung* für Russland.
- Insgesamt ist die thematische Profilbildung bei Dänemark am stärksten ausgeprägt: Von allen Ländern, die drei oder mehr Themenfelder gar nicht in Zukunftsstudien betrachten, ist Dänemark das einzige, das Werte von fünf und mehr für andere Themenfelder erreicht.

3.3 Vergleich der Themenschwerpunkte nationaler Zukunftsstudien von EU-Staaten und Nicht-EU-Staaten

In der folgenden Tabelle 3-3 werden die Themenschwerpunkte in nationalen Zukunftsstudien anhand der Werte der Themen-Intensität (TI) zwischen EU-Staaten und Nicht-EU-Staaten verglichen, ausgehend von der Rangfolge der Themenfelder weltweit:

Tabelle 3-3: Vergleich der Themenschwerpunkte nationaler Zukunftsstudien

– anhand der Themen-Intensitäten (TI) aus Tabelle 3-2: weltweit (links), von EU-Staaten (Mitte) und von Nicht-EU-Staaten (rechts)

Rangfolge Welt	TI	Rangfolge EU	TI	Rangfolge Nicht-EU	TI
Gesellschaft, Kultur und Bildung	124	Arbeit und Wertschöpfung	38	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	88
Digitalisierung	121	Gesellschaft, Kultur und Bildung	37	Digitalisierung	88
Arbeit und Wertschöpfung	116	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	35	Gesellschaft, Kultur und Bildung	87
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	113	Digitalisierung	33	Energie	82
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	111	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	25	Arbeit und Wertschöpfung	78
Energie	106	Energie	24	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	76
Mobilität und Verkehr	75	Bauen und Wohnen	23	Mobilität und Verkehr	56
Basistechnolog. der Digitalisierung	69	Mobilität und Verkehr	19	Basistechnolog. der Digitalisierung	52
Biotechnologie	65	Biotechnologie	18	Biotechnologie	47
Materialtechnik	61	Materialtechnik	18	Materialtechnik	43
Bauen und Wohnen	54	Basistechnolog. der Digitalisierung	17	Bauen und Wohnen	31
Luft- und Raumfahrt	43	Luft- und Raumfahrt	12	Luft- und Raumfahrt	31
Verteidigung und Sicherheit	37	Verteidigung und Sicherheit	9	Verteidigung und Sicherheit	28
Meerestechnik und Schifffahrt	26	Meerestechnik und Schifffahrt	3	Meerestechnik und Schifffahrt	23

Quelle: eigene Darstellung.

- Wie oben erwähnt gibt es in der weltweiten Rangfolge eine Gruppe der sechs Themenfelder, die die höchste TI aufweisen und sich deutlich stärker von den nachfolgenden Themenfeldern abheben als untereinander. Diese Gruppe ist sowohl bei den EU-Staaten als auch den Nicht-EU-Staaten erkennbar und unverändert erhalten. Innerhalb der Gruppe bestehen kleinere Unterschiede. Bei den EU-Staaten nehmen die Themenfelder *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* und *Energie* die Plätze fünf und sechs ein, bei den Nicht-EU-Staaten dagegen die Plätze 1 und 4. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass Umweltfolgen des Klimawandels in Nicht-EU-Staaten als drängender wahrgenommen werden. Insgesamt aber befindet sich das Thema *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* unter den Top 5 der wichtigsten Themen.
- Die Themen *Gesellschaft, Kultur und Bildung*, *Digitalisierung* sowie *Arbeit und Wertschöpfung* sind sowohl innerhalb der EU als auch in Nicht-EU-Ländern sowie im weltweiten Vergleich unter den Top-5-Themen. Dies könnte daran liegen, dass aufgrund der erwarteten weitreichenden

Auswirkungen der Digitalisierung auf die Gesellschaft allgemein und die Arbeitswelt im Besonderen ein größerer Bedarf an Zukunftsreflexion wahrgenommen wird.

- Bei den Themenfeldern mit niedrigeren TI gibt es insgesamt fünf, die in allen drei betrachteten Ländergruppen den gleichen Rang einnehmen. Diese Themenfelder sind in Tabelle 3-3 grau hinterlegt. Es handelt sich um die Themenfelder *Biotechnologie*, *Materialtechnik*, *Luft- und Raumfahrt*, *Verteidigung* und *Sicherheit* sowie *Meerestechnik* und *Schifffahrt*.

3.4 Themen-Breite und Studien-Intensität im nationalen Innovationskontext

Im Sinne einer explorativen Datenanalyse wurde untersucht, ob und inwiefern Zusammenhänge zwischen den Kennzahlen Themen-Breite und Studien-Intensität mit (Innovations-)Kennziffern der betrachteten Länder bestehen, und zwar in Bezug auf die Einwohnerzahl, das Bruttoinlandsprodukt (BIP), das BIP per capita sowie die Forschungsquote. Es wurden dabei in den meisten Fällen mittlere Korrelationen gefunden. Insgesamt fallen die Korrelationswerte bei der Betrachtung der Themen-Breite und Studien-Intensität recht ähnlich aus.

Zwei konkrete Beispiele mit moderater Korrelation werden in der Abbildung 3-2 und Abbildung 3-3 vorgestellt. Dabei stellt Abbildung 3-2 die Werte für die Themen-Breite und das Bruttoinlandsprodukt (auf logarithmischer Skala) der betrachteten Länder in einer Punktwolke dar.

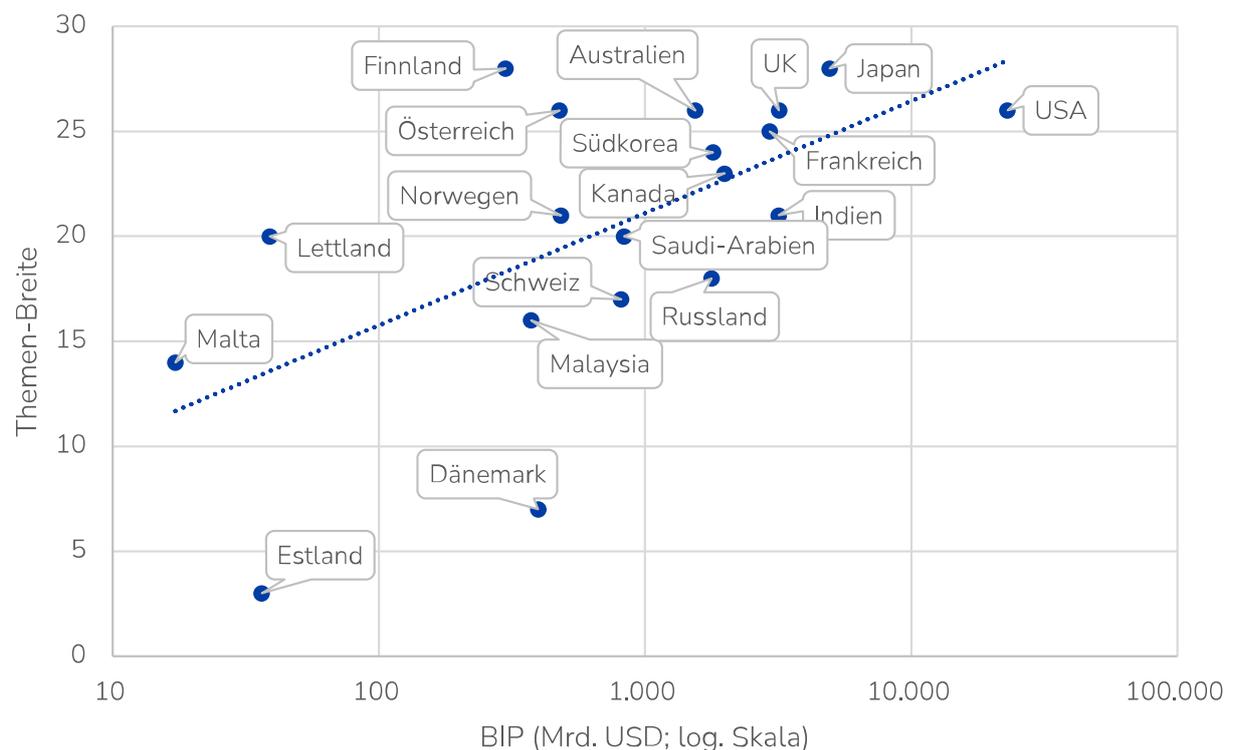


Abbildung 3-2: Themenbreite im nationalen Innovationskontext.

Punktwolke der Werte für die Themen-Breite und das Bruttoinlandsprodukt (auf logarithmischer Skala) der betrachteten Länder.

Quelle: eigene Erhebung und Darstellung; Daten zur Themen-Breite aus Tabelle 3-1; Daten zum BIP: Datenbank der Weltbank, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>, Datenabfrage am 16.09.2022 und Berücksichtigung der zu diesem Zeitpunkt jeweils aktuellen Daten aus, je nach Verfügbarkeit, 2019 oder 2020.

Es ergibt sich ein moderater Zusammenhang in dem Sinne, dass Länder mit einem höheren BIP auch eine größere thematische Breite in der technologischen Zukunftsbetrachtung aufweisen.

In einem ähnlichen Sinne lässt sich auch die folgende Abbildung 3-3 interpretieren, die Studien-Intensität eines Landes und Forschungsquote, d. h. das Verhältnis der gesamten F&E-Ausgaben eines Landes zu dessen Bruttoinlandsprodukt gegenübergestellt.

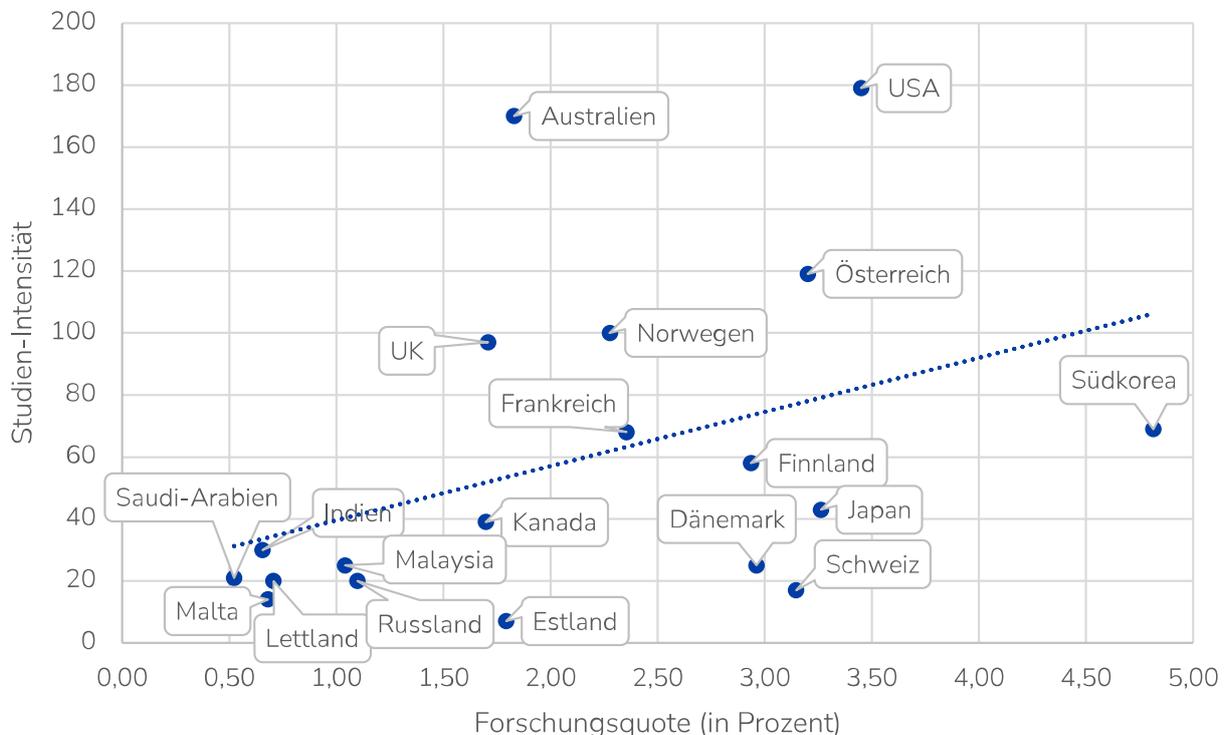


Abbildung 3-3: Studien-Intensität im nationalen Innovationskontext.

Punktewolke der Werte für die Studien-Intensität und die Forschungsquote.

Es werden die Studien-Intensität und die Forschungsquote, d. h. das Verhältnis von F&E-Ausgaben und Bruttoinlandsprodukt der betrachteten Länder, gegenübergestellt.

Quelle: eigene Erhebung und Darstellung; Daten zur Studien-Intensität aus Tabelle 3-2; Daten zur Forschungsquote: Datenbank der Weltbank, <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>, Datenabfrage am 16.09.2022 und Berücksichtigung der zu diesem Zeitpunkt jeweils aktuellen Daten aus, je nach Verfügbarkeit, 2019 oder 2020.

Beide Abbildungen lassen sich in dem Sinne interpretieren, dass eine zunehmende Aktivität im Bereich der Zukunftsstudien mit einem größeren und stärker ausdifferenzierten Forschungs- und Wirtschaftssektor einhergeht. Aus der Korrelation kann aber nicht gefolgert werden, ob es hier kausale Zusammenhänge in der einen oder anderen Richtung gibt. Insofern bestärken die beiden Diagramme die allgemeine Erfahrung, dass wohlhabendere Länder oder Länder mit einem starken Fokus auf Forschung und Innovation häufig besonders aktiv in der technologischen Zukunftsanalyse sind.

Abschließend werden die Daten zur Studien-Intensität und Themen-Breite direkt gegenübergestellt.

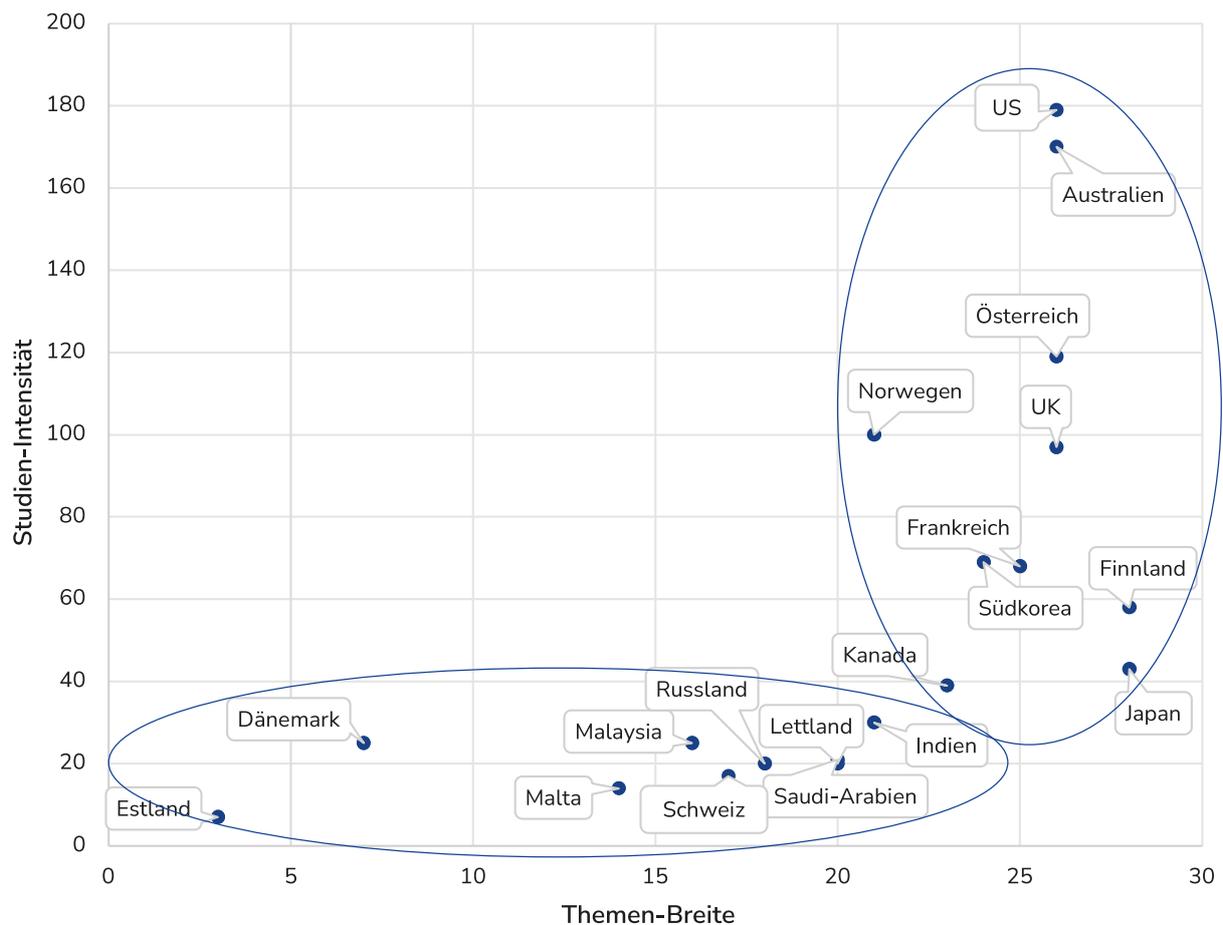


Abbildung 3-4: Gegenüberstellung von Themen-Breite und Studien-Intensität im internationalen Vergleich

Punktwolke der Werte für die Themen-Breite und Studien-Intensität der nationalen Zukunftsstudien der betrachteten Länder.

Quelle: eigene Erhebung und Darstellung, Daten zur Themen-Breite aus Tabelle 3-1 und zur Studien-Intensität aus Tabelle 3-2.

Folgende Beobachtungen können dabei festgehalten werden:

Werte einer Studien-Intensität von mehr als 40 treten nur für Länder auf, deren thematische Breite oberhalb eines Schwellenwertes von 20 liegt. Das heißt, in der betrachteten Stichprobe scheint es keine Länder mit einer klaren inhaltlichen Spezialisierung zu geben. Dies wären Länder, die Zukunftsstudien nur zu wenigen Einzelthemen erarbeiten, die Prospektion dieser Themenfelder dann aber in großer inhaltlicher Tiefe und Intensität leisten.

In der Stichprobe kommt Dänemark diesem Fall recht nahe, denn alle sieben identifizierten Studien haben einen Bezug zur Kategorie *Gesundheit*, was einer klaren inhaltlichen Spezialisierung der Zukunftsbetrachtung entspricht (vgl. dazu auch Tabelle 3-2) – gleichwohl liegt die Studien-Intensität nicht über dem Wert von 40.

Es lassen sich insofern also zwei relativ klar getrennte Gruppen von Ländern identifizieren, die in dem Diagramm durch die beiden Ellipsen markiert sind und sich als Länder mit niedriger bzw. hoher Studien-Intensität charakterisieren lassen.

3.5 Fazit der statistischen Gesamtanalyse

Weltweit wurden durch den Vergleich von internationalen Technologieprognosen, Zukunftsstudien und Strategieplänen zwischen 2016 und 2022 interessante Übersichtsinformationen generiert, die für Akteure in Politik, Forschung und Innovation fundiertes Zukunftswissen darstellen.

Insgesamt hilft die Kenntnis von thematischen Schwerpunktsetzungen in internationalen Zukunftsstudien deutschen Entscheidungsträgern dabei, ihre Entscheidungen im Bereich Wissenschaft und Technologie auf eine solidere Wissensgrundlage zu stellen und so die Zukunftsfähigkeit Deutschlands präziser in den Blick zu nehmen.

Methodisch wurde dafür ein nationaler thematischer Fingerabdruck entwickelt, um drei Kennzahlen abzuleiten: Themen-Breite und Studien-Intensität eines Landes sowie die jeweilige Themen-Intensität eines Themenfeldes.

Datengrundlage für die vorliegende Analyse waren insgesamt 118 nationale Zukunftsstudien aus 19 Ländern, die im Betrachtungszeitraum nationale Zukunftsstudien erstellt und veröffentlicht haben:

- sieben EU-Staaten: Dänemark, Estland, Finnland, Frankreich, Lettland, Malta, Österreich,
- zwölf Nicht-EU-Staaten: Australien, Indien, Japan, Kanada, Malaysia, Norwegen, Russland, Saudi-Arabien, Schweiz, Südkorea, UK, USA.

Darüber hinaus wurden 22 Zukunftsstudien von EU-Institutionen berücksichtigt.

Die Länder mit der größten Studien-Intensität sind mit deutlichem Abstand die USA, gefolgt von Australien und Großbritannien, Frankreich, Dänemark, Österreich und Finnland. Dabei korreliert die Rangfolge der Themenfelder nicht mit der absoluten Studien-Intensität eines Landes. Das heißt, diese Rangfolge bleibt im Wesentlichen unverändert für die Gruppe der Länder mit den höchsten Studien-Intensitäten (EU/USA bis UK) im Vergleich zur Gruppe der Länder mit niedrigeren Werten der Studien-Intensität (Südkorea bis Malta).

Die statistische Analyse ergibt einen moderaten Zusammenhang zwischen dem wirtschaftlichen Gewicht eines Landes und Umfang der Auseinandersetzung mit (technologischen) Zukunftsstudien in diesem Land, insofern, als dass Länder mit einem höheren BIP auch eine größere thematische Breite in der technologischen Zukunftsbetrachtung aufweisen.

Die Top-3-Themenfelder sind: *Gesellschaft, Kultur und Bildung, Digitalisierung sowie Arbeit und Wertschöpfung.*

Es gibt eine Spitzengruppe von sechs Themenfeldern, deren Themen-Intensitäten sich deutlich von den übrigen Themenfeldern abheben:

Gesellschaft, Kultur und Bildung; Digitalisierung; Arbeit und Wertschöpfung; Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima; Gesundheit, Lifestyle, Ernährung sowie Energie.

Die Themenfelder *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* sowie *Energie* befinden sich zwar unter den Top 4 der wichtigsten Themen in Nicht-EU-Staaten, in den Zukunftsstudien aus EU-Staaten werden hier allerdings nur die Plätze 5 und 6 belegt. Könnte dies ein Hinweis darauf sein, dass Umweltfolgen des Klimawandels in Nicht-EU-Staaten als drängender wahrgenommen werden?

Die Themenfelder *Mobilität und Verkehr, Basistechnologien der Digitalisierung, Biotechnologie, Materialtechnik* sowie *Bauen und Wohnen* nehmen in den Zukunftsstudien eher mittlere Plätze ein.

Die Themenfelder mit den niedrigsten Themen-Intensitäten sind *Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und Sicherheit, Meerestechnik und Schifffahrt.*

Dennoch ist das Themenfeld *Meerestechnik und Schifffahrt* Themenschwerpunkt in den Foresight-Studien aus UK, Kanada, Norwegen, Finnland, Japan und Südkorea.

Die wenigen klaren, länderspezifischen Schwerpunktsetzungen sind u. a. die *Meerestechnik und Schifffahrt* für Norwegen, *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* für Dänemark und ggf. noch *Arbeit und Wertschöpfung* für Estland. Insgesamt ist dabei die thematische Profilbildung bei Dänemark und Estland am stärksten ausgeprägt.

Die Analyse legt nahe, dass eine zunehmende Aktivität im Bereich der Zukunftsstudien mit einem größeren und stärker ausdifferenzierten Forschungs- und Wirtschaftssektor einhergeht.

Exkurs: Themenintensität des BMBF-Foresight-Prozesses 2019 - 2022

In diesen internationalen Konsens über Zukunftsthemen reiht sich auch Deutschland ein: Fünf der sechs identifizierten Zukunftsfelder, deren Themen-Intensitäten sich deutlich von den übrigen Themenfeldern abheben, zählen auch im Foresight-Prozess des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zu den wichtigsten Forschungs- und Innovationsthemen der Zukunft, wenngleich mit unterschiedlicher Rangfolge²²:

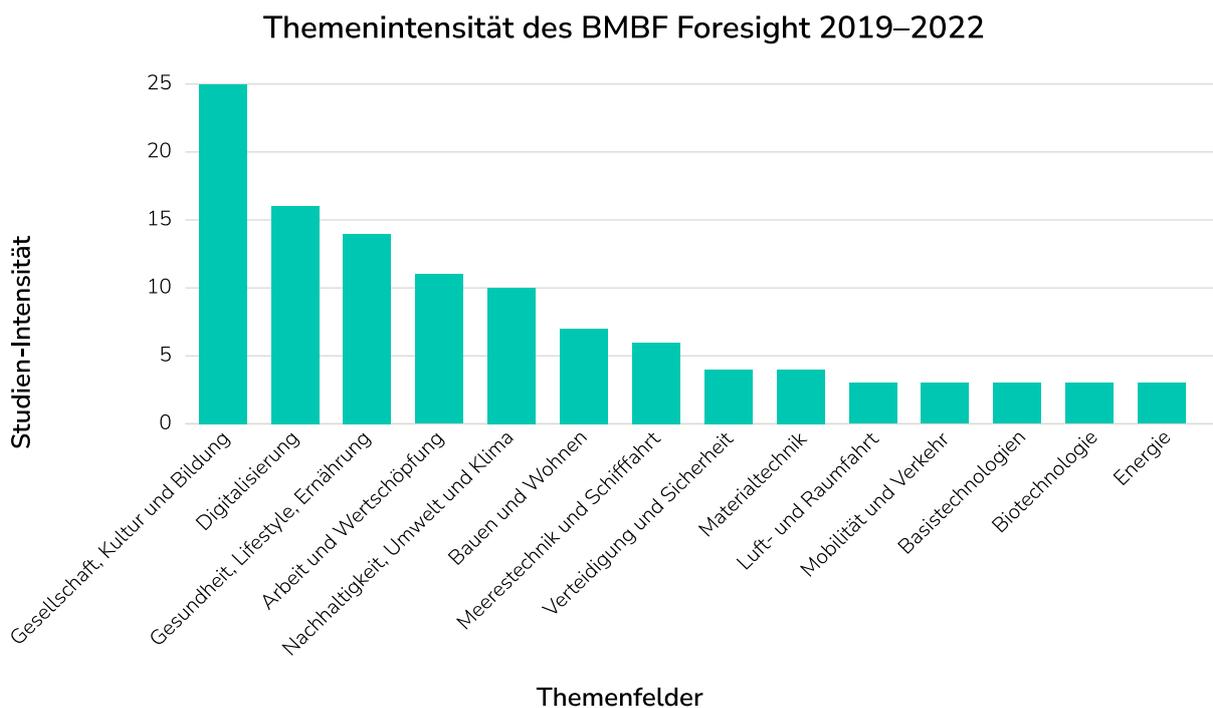


Abbildung 3-5: Themenintensität des BMBF Foresight 2019 – 2022

Quelle: eigene Darstellung.

Die größte Abweichung besteht bemerkenswerterweise beim Themenfeld *Energie*.

Auffällig ist hier die geringe Bedeutung, die dem Themenfeld *Energie* im deutschen Foresight-Prozess beigemessen wird. Diese Beobachtung wird auch durch die Tatsache gestützt, dass es zum Themenfeld *Energie* keine eigenständige Mission in der Zukunftsstrategie²³ des BMBF gibt, sondern Energie lediglich als Teilaspekt anderer Missionen eingeordnet wird. Dies ist angesichts der

²² BMBF (2022a).

²³ BMBF (2022b).

internationalen Debatten um die Diversifizierung der Energiequellen und Versorgungswege und der deutschen Vorreiterposition bei der „Energiewende“ eine überraschende Erkenntnis.

4 Darstellung ausgewählter Länder

4.1 UK

4.1.1 Nationales Innovationssystem

Betrachtet man die Ausgaben für Forschung und Entwicklung (FuE) (ca. 55,9 Mrd. USD im Jahr 2019), belegte das Vereinigte Königreich im Jahr 2019 Rang 8 im weltweiten Vergleich hinter den USA, China, Japan, Deutschland, Südkorea, Frankreich und Indien. Zu diesem Zeitpunkt lag die Forschungsquote, d. h. das Verhältnis der gesamten Bruttoinlandsausgaben für Forschung und Entwicklung (F&E) zum Bruttoinlandsprodukt (BIP), mit 1,76 % deutlich niedriger als in Deutschland (3,17 %) sowie niedriger als der OECD-Durchschnitt (2,67 %) oder auch der EU-27-Durchschnitt (2,23 %) im selben Jahr.²⁴ In den letzten Jahren sind allerdings die britischen Ausgaben für Forschung und Entwicklung deutlich gesteigert worden, so dass die Forschungsquote im letzten Jahr die 2017 von der britischen Regierung gesetzte Zielmarke von 2,4 % des BIP fast erreicht hat.²⁵ Laut der jüngsten Auswertung des Global Innovation Index (GII), der jährlich die Innovationskraft von 132 Ländern anhand von 81 Indikatoren bewertet, darunter solchen, in denen UK überdurchschnittlich gut abschneidet, wie beispielsweise im Zusammenhang mit den Wissenschaftsoutputs, belegte UK im Jahr 2022 zum vierten Jahr in Folge den weltweit 4. Platz hinter der Schweiz, den USA und Schweden.²⁶

Der Forschungs- und Innovationspolitik kommt im Vereinigten Königreich (UK) seit Jahren eine große Bedeutung zu, die in den zwei vom damaligen *Department for Business, Energy and Industrial Strategy* veröffentlichten wichtigen Strategiepapieren „*UK Research and Development Roadmap*“ (2020)²⁷ und „*UK Innovation Strategy*“ (2021)²⁸ unterstrichen wurde. Wissenschaft, Forschung und Innovation sowie deren Förderung durch die Politik werden als essenziell angesehen, damit das Vereinigte Königreich den künftigen Wohlstand des Landes sichern und mit den globalen Herausforderungen in den Bereichen Klima, biologische Vielfalt und Sicherheit umgehen kann. Konkret strebt UK an, zu einer „wissenschaftlichen Supermacht“ zu werden. Im Herbst 2022 kündigte die britische Regierung an, die öffentlichen Mittel für Forschung und Entwicklung auf 20 Mrd. Pfund bis 2024/2025 zu erhöhen.²⁹ Ferner soll die Position von UK als attraktives Zielland für Forschungstalente aus aller Welt konsolidiert werden.³⁰ Darüber hinaus hat sich UK in der 2021 veröffentlichten Innovationsstrategie das Ziel gesetzt, bis 2035 zu einem globalen Zentrum für Innovation („global hub for innovation“) zu werden.³¹

Mit der Regierungsumbildung im Februar 2023 und der Gründung eines eigens für Wissenschaft, Innovation und Technologie zuständigen Ministeriums, des neuen „**Department for Science, Innovation and Technology**“ (DSIT)³², wurde der Stellenwert der Forschungs- und Innovationspolitik nochmals unterstrichen.³³ Erster Meilenstein des neuen Ministeriums ist die Veröffentlichung im März 2023 des neuen Rahmenprogramms für Wissenschaft und Technologie („*Science and Technology*

²⁴ Kooperation international [Vereinigtes Königreich \(Großbritannien\)](#) (Abruf am 30.01.2023).

²⁵ UK HM Treasury (17.11.2022): [The Autumn Statement 2022 speech](#) (Abruf am 27.01.2023).

²⁶ WIPO (2022).

²⁷ UK Research and Development Roadmap (Abruf am 30.01.2023).

²⁸ UK innovation strategy (Abruf am 30.01.2023).

²⁹ UK HM Treasury (17.11.2022): [The Autumn Statement 2022 speech](#) (Abruf am 27.01.2023).

³⁰ Kooperation international (2022), ["UK Research and Innovation" legt Strategie für die kommenden fünf Jahre vor](#), veröffentlicht am 18.03.2022 (Abruf am 31.01.2023).

³¹ UK innovation strategy (Abruf am 30.01.2023).

³² [Department for Science, Innovation and Technology](#) (Abruf am 06.03.2023).

³³ Science, [New U.K. science ministry emerges from government reshuffle](#) (Abruf am 06.03.2023).

Framework“)³⁴, das anhand von zehn ressortübergreifenden Schlüsselprioritäten – darunter der Steigerung privater und öffentlicher F&E-Ausgaben oder der Förderung von F&E-Aktivitäten in strategisch wichtigen technologischen Bereichen – sicherstellen soll, dass bis 2030 die Position Großbritanniens als eine der weltweit führenden Nationen in Wissenschaft und Technologie konsolidiert und ausgebaut wird.³⁵ Das Rahmenprogramm ist mit einem Gesamtvolumen von 500 Mio. GBP (ca. 563 Mio. EUR) ausgestattet und soll durch weitere Fördermaßnahmen begleitet werden.³⁶

Eine Übersicht des Forschungs- und Innovationssystems des Vereinigten Königreichs zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der im Folgenden analysierten Foresight-Studien wird in Abbildung 4-1 wiedergegeben. Forschung und Innovation werden sowohl von der britischen Regierung als auch von den Regierungen in Schottland, Wales und Nordirland gefördert, wobei im Folgenden der Fokus auf Großbritannien gelegt wird.

Wissenschaft, Forschung und Innovation fielen bis zur Regierungsumbildung im Februar 2023 in den Aufgabenbereich des damaligen „**Department for Business, Energy & Industrial Strategy**“ (BEIS)³⁷, das die wichtigste Rolle unter den Akteuren der Exekutive im Bereich der Forschungspolitik einnahm. Innovationen zu fördern und Wissenschaft und Technologie zu beschleunigen war eine der Prioritäten dieses Ministeriums, um sowohl die Produktivität im Land als auch den globalen Einfluss Großbritanniens zu steigern.³⁸ Das BEIS war für FuE und Innovation in Unternehmen sowie in Hochschulen zuständig.

Im BEIS – und ab Februar 2023 im DSIT – angesiedelt ist das „**Government Office for Science**“ (GO-Science)³⁹, das vom „**Chief Scientific Adviser**“ (CSA) der Regierung geleitet wird. GO-Science berät den Premierminister sowie weitere Kabinettsmitglieder und spielt eine wichtige Rolle bei der Verbesserung der Qualität der Wissenschaft in Großbritannien, damit Politik und Regierungsentscheidungen auf den besten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen. Darüber hinaus fördert GO-Science das strategische langfristige Denken in der Regierung durch die Durchführung von Foresight-Prozessen und zukunftsgerichteten Aktivitäten (s. unten Abschnitt 4.1.2)⁴⁰. Ferner unterstützt GO-Science das unabhängige Beratungsgremium „**Council for Science and Technology**“ (CST)⁴¹, das vom **Chief Scientific Adviser** co-geleitet wird und den Premierminister in allen (ressortübergreifenden) Fragen rund um Wissenschaft, Technologie und Innovation berät. Weitere Akteure, die eine beratende Funktion bei der Regierung einnehmen, sind die Akademien, z. B. die Royal Society oder die Royal Academy of Engineering, aber auch die Parlamentsausschüsse zu Wissenschaft und Technologie im britischen Ober- und Unterhaus.⁴²

GO-Science ist insbesondere für die Forschungsförderung zuständig und koordiniert auch FuE-Aktivitäten anderer Ministerien mit Verantwortung für Wissenschaft und Technologie, darunter das

³⁴ [UK Science and Technology Framework](#) (Abruf am 06.03.2023).

³⁵ [Plan to forge a better Britain through science and technology unveiled](#) (Abruf am 09.10.2024),

³⁶ Für mehr Informationen zum *Science and Technology Framework*, s. Kooperation international, [Britische Regierung stellt Rahmen für Wissenschaft und Technologie vor und verlängert Garantiezusage für Horizont Europa](#) (Abruf am 09.03.2023).

³⁷ [Department for Business, Energy & Industrial Strategy](#) (Abruf am 09.03.2023).

³⁸ Ebd.

³⁹ <http://www.bis.gov.uk/go-science> (Abruf am 04.12.2024).

⁴⁰ Cunningham, P., Mitchell, J. (2016); [Minister of State for Science, Research and Innovation Lord Vallance](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁴¹ [Council for Science and Technology](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁴² Kooperation international [Vereinigtes Königreich: Ministerien und Gremien](#) (Abruf am 31.01.2023).

„**Department for Environment, Food and Rural Affairs**“⁴³, das „**Ministry of Defence**“⁴⁴ und das „**Department of Health and Social Care**“⁴⁵.

Die britische Regierung⁴⁶ stellt über eine Reihe von Mechanismen Mittel für Innovationen zur Verfügung. Zu den wichtigsten Fördereinrichtungen gehören:⁴⁷

- **„UK Research and Innovation“ (UKRI)**⁴⁸: Die vom Wissenschaftsministerium getragene, aber unabhängig handelnde Dachorganisation bringt seit 2018 die sieben Forschungsräte („**Research Councils**“)⁴⁹ sowie die Förderorganisationen „**Research England**“⁵⁰ und „**Innovate UK**“⁵¹ unter ein Dach, um die Finanzierung von Forschung und Innovation effizient zu steuern. Dabei ist **Innovate UK** als Nachfolgeorganisation des 2007 gegründeten „**Technology Strategy Board**“ die für FuE-Aktivitäten in Unternehmen wichtigste Fördereinrichtung. Dagegen ist die Förderorganisation **Research England** seit 2018 die Nachfolgeorganisation des „**Higher Education Funding Council for England**“ (HEFCE) und somit für die institutionelle Forschungsfinanzierung an Hochschulen zuständig.
- Ende Januar 2023 wurde die formelle Gründung der neuen „**Advanced Research and Invention Agency (ARIA)**“ angekündigt, die sich der Unterstützung risikoreicher und lukrativer Forschung widmen soll. Indem die ARIA bahnbrechende wissenschaftliche und technologische Entwicklungen schnell erkennen und finanzieren soll, stellt sie einen relevanten Teil der Umsetzung der Pläne der britischen Regierung – Innovation als wichtigen Faktor des Wirtschaftswachstums und der Verbesserung der Lebensbedingungen – in den Mittelpunkt der politischen Arbeit. Die Gründung der ARIA soll dazu beitragen, die Position Großbritanniens als globale Wissenschaftsnation zu festigen.⁵²

Weitere Forschungsförderungsmaßnahmen werden von den verschiedenen Akademien sowie auch von gemeinnützigen privaten Einrichtungen umgesetzt.⁵³

Durchgeführt werden FuE-Aktivitäten im öffentlichen Sektor in:

- außeruniversitären Forschungseinrichtungen, den „**Public Sector Research Establishments**“ (**PSRE**),
- **eigenen oder ihnen unterstellten Forschungseinrichtungen der Research Councils oder der Ministerien,**
- Hochschulen an „**Higher Education Institutes**“ oder auch in

⁴³ [Department for Environment, Food & Rural Affairs](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁴⁴ [Ministry of Defence](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁴⁵ [Department of Health and Social Care](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁴⁶ Für Informationen zu Fördereinrichtungen und Fördermechanismen in Schottland, Wales und Nordirland, s. UK BEIS (2021).

⁴⁷ Kooperation international [Vereinigtes Königreich: Ministerien und Gremien](#) (Abruf am 31.01.2023); s. auch UK BEIS (2021).

⁴⁸ [UKRI – UK Research and Innovation](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁴⁹ Die 7 Forschungsräte in Großbritannien sind folgende: Engineering and Physical Sciences Research Council, [EPSCR](#); Medical Research Council, [MRC](#); Arts and Humanities Research Council, [AHRC](#); Biotechnology and Biological Sciences Research Council, [BBSRC](#); Economic and Social Research Council, [ESRC](#); Natural Environment Research Council, [NERC](#); Science and Technology Facilities Council, [STFC](#). Alle Links (Abruf am 31.01.2023).

⁵⁰ [Research England – UKRI](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁵¹ [Innovate UK](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁵² UK BEIS (2023): [Research agency supporting high risk, high reward research formally established](#) (Abruf am 27.01.2023).

⁵³ Kooperation international [Vereinigtes Königreich: Ministerien und Gremien](#) (Abruf am 31.01.2023).

- den seit 2011 aufgebauten Catapult-Zentren⁵⁴, die öffentlich finanzierte Einrichtungen für industriennahe Forschung sind und dem Wirtschaftsministerium unterstehen.

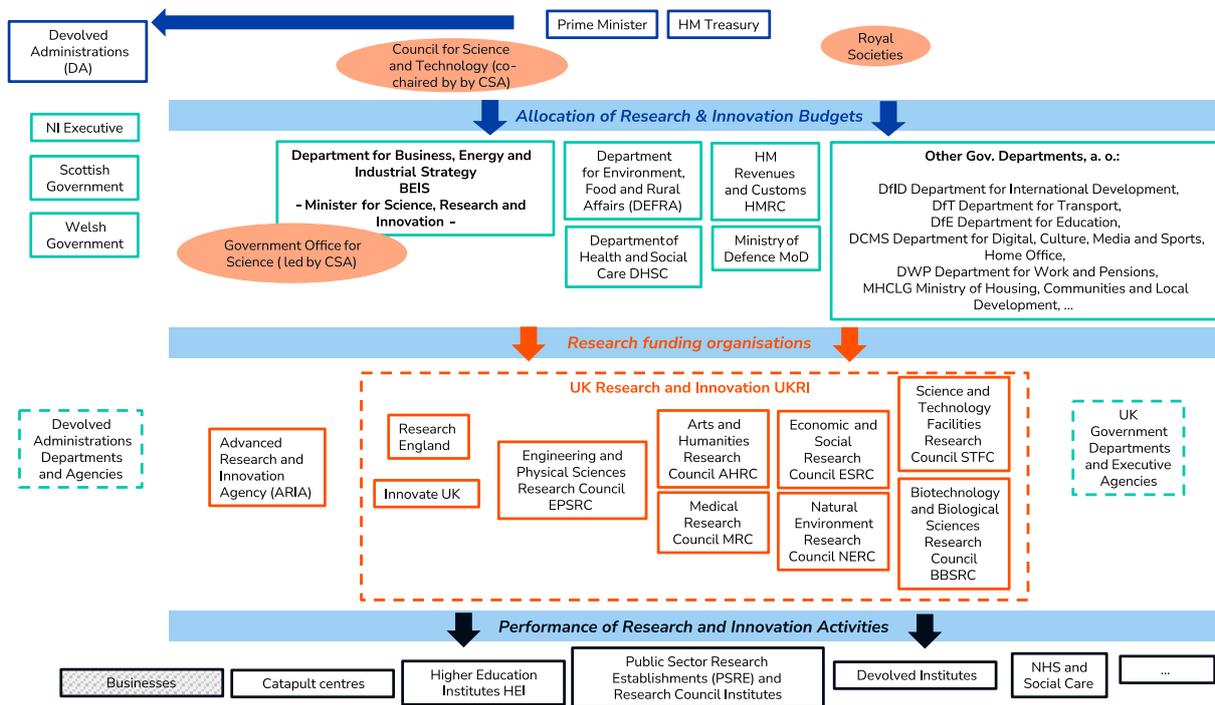


Abbildung 4-1: Übersicht des britischen Forschungs- und Innovationssystems
(Stand der Darstellung: Januar 2022 entsprechend der Fertigstellung der hier analysierten Studien, also vor Regierungsumbildung und Gründung des neuen „Department for Science, Innovation and Technology“ (DSIT)).

Quelle: eigene Darstellung nach UK BEIS (2020).

4.1.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Nationale, öffentlich finanzierte Technologieprognosen-Aktivitäten haben in Großbritannien eine lange Tradition und werden vor allem als Grundlage für politische Entscheidungsträger konzipiert.⁵⁵ Seit Mitte der 90er Jahre und dem 1993 gestarteten *UK National Foresight Programme* unterstützt das für Wissenschaft zuständige Ministerium speziell die Gruppe „Futures“ im „Government Office for Science“ (GOS)⁵⁶, zukunftsgerichtete Aktivitäten und (Technologie-)Studien als Basis zur politischen Entscheidungsfindung.

Neben zahlreichen Aktivitäten zur Bildung und Weiterbildung von Vorausschau-relevanten Kompetenzen bei politischen Akteuren⁵⁷ werden folgende zukunftsgerichtete Studien durchgeführt:

- Studien im Rahmen des bereits seit über 20 Jahren laufenden *Foresight*-Prozesses⁵⁸: Die einzelnen *Foresight*-Projekte befassen sich mit einem großen, bereichsübergreifenden Thema von

⁵⁴ [About the Catapult Network](#) (Abruf am 31.01.2023).

⁵⁵ Siehe RFTE (2021); für weitere Informationen zur Geschichte der nationalen Foresight-Projekte in Großbritannien, s. Holtmannspötter, D. et al. (2006), Holtmannspötter, D. et al. (2010), Braun, A. et al. (2013) sowie die darin enthaltenen Referenzen.

⁵⁶ [Government Office for Science](#) (Abruf am 09.10.2024).

⁵⁷ Hierzu s. GO-Science (2021).

⁵⁸ [Foresight projects](#) (Abruf am 07.03.2023).

strategischer Bedeutung für die Regierungsarbeit.⁵⁹ Zielgruppe der *Foresight*-Projekte sind somit politische Entscheidungsträger in den Ministerien.

Je nach Bedarf wird sich auf wissenschaftliche und technologische Themen fokussiert, die entweder neue Herausforderungen oder Chancen bieten oder einen wesentlichen Beitrag zur Lösung wichtiger gesellschaftlicher Fragestellungen bzw. zur Deckung gesellschaftlicher Bedarfe leisten können. Somit sind die im Rahmen von *UK Foresight* untersuchten Zukunftsthemen kurz- bis langfristig für politische Entscheidungsträger relevant und werden entsprechend von einem oder mehreren Ressorts unterstützt. Parallel werden drei oder vier Fragestellungen mit unterschiedlichem langfristigen Zeithorizont (20 – 80 Jahre) untersucht. Jedes dieser Teilprojekte dauert ca. 1 – 2 Jahre und involviert hochkarätige nationale und internationale Expert*innen aus Forschung, Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft.⁶⁰

- Studien im Rahmen des **Horizon Scanning**-Programms⁶¹ mit zum Teil kurzfristigerem Zeithorizont und stärker eingegrenztem Fokus. Ziel dabei ist es, systematisch Trends und Informationen zu einem speziellen Thema zusammenzutragen, um potenzielle Risiken und erwartbare Probleme und Chancen über die Legislaturperiode des Parlaments hinaus zu identifizieren und somit eine bessere Vorbereitung sowie die Einbeziehung von Abhilfemaßnahmen und deren Nutzung in den politischen Entscheidungsprozess zu ermöglichen. Die Horizon Scanning-Studien richten sich an die Exekutive und sind nicht öffentlich.
- **Technology and innovation futures**-Studien⁶², die jeweils eigenständige Vorausschau-Prozesse darstellen und in mehrjährigen Abständen wissenschaftlich-technologische Bereiche untersuchen, die Auswirkungen auf die zukünftige britische Wirtschaft und deren Produktivität haben werden. Der erste Bericht dieser Reihe wurde 2010 veröffentlicht, Aktualisierungen erschienen 2012 und 2017.

Darüber hinaus schaffen die Daten des erstmals seit 2021 öffentlich zugänglichen **Trend Deck**⁶³ eine Evidenzbasis für langfristige Veränderungen und die Untersuchung von Megatrends, die u. a. von Angehörigen der britischen Regierung genutzt wird, um darüber nachzudenken, wie sich langfristige Vorteile für die Gesellschaft erreichen lassen.

4.1.3 Aktuelle Berichte aus dem UK Foresight-Prozess

4.1.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie:	<i>UK Foresight</i> -Programm ⁶⁴
Auftraggeber:	Government Office for Science ⁶⁵
Durchgeführt von:	Für jedes Thema speziell einberufene Arbeitsgruppen in Zusammenarbeit mit zahlreichen Expert*innen aus Forschung, Politik und Wirtschaft und unter Leitung von GO-Science

⁵⁹ Viele der in diesem Rahmen durchgeführten Foresight-Projekte wurden im Rahmen früherer Meta-Analysen von Technologieprognosen durch die VDI TZ-ZTC untersucht. Siehe Holtmannspötter, D. et al. (2006), Holtmannspötter, D. et al. (2010), Braun, A. et al. (2013).

⁶⁰ [Foresight projects](#), (Abruf am 07.03.2023), sowie RFTE (2021).

⁶¹ [Horizon Scanning Programme team](#) (Abruf am 07.03.2023).

⁶² [Technology and innovation futures](#) (Abruf am 07.03.2023).

⁶³ [Trend Deck Spring 2021](#) (Abruf am 07.03.2023).

⁶⁴ <https://www.gov.uk/government/collections/foresight-projects> (Abruf am 05.12.2024).

⁶⁵ <https://www.gov.uk/government/organisations/government-office-for-science> (Abruf am 05.12.2024).

Erscheinungsjahr: Verschiedene Teilstudien im Zeitraum 2016 – 2022 veröffentlicht

Zeithorizont: Je nach Studie unterschiedlich (s. unten)

Folgende Berichte aus dem *UK Foresight*-Prozess wurden im Rahmen dieser Metastudie analysiert:⁶⁶

Genomics Beyond Health (2022)⁶⁷ – Zeithorizont 2022 – 2045:

Der Bericht untersucht, wie die Genomik zukünftig unser Leben über den Gesundheitsbereich und gesundheitliche Anwendungen beeinflussen kann und welche Vorteile, aber auch Herausforderungen für die Gesellschaft damit verbunden sind.

The future of citizen data systems (2020)⁶⁸ – Zeithorizont 2030:

Der Bericht stellt eine Übersicht über verschiedene Ansätze der Verwaltung, Kontrolle und Nutzung von Bürgerdaten sowie deren Auswirkungen auf Wirtschaft, Sicherheit und Gesellschaft dar. Darüber hinaus werden vier Szenarien für das Jahr 2030 entwickelt. Der Bericht zielt darauf ab, die öffentliche Debatte anzuregen und eine Wissensbasis für Regierungsentscheidungen zu schaffen.

Future of Mobility - A time of unprecedented change in the transport system (2019)⁶⁹ – Zeithorizont 2040:

Der Bericht untersucht die wichtigsten Trends, Herausforderungen und Möglichkeiten für das britische Verkehrssystem mit Zeithorizont 2040 und entwirft vier dazu passende Zukunftswelten.

Foresight Future of the Sea (2018)⁷⁰ – Zeithorizont bis 2100:

Der Bericht untersucht die wichtigsten Trends, Herausforderungen und Chancen im Zusammenhang mit der Meereswirtschaft. Die Rolle, welche Wissenschaft und Technologie bei dem Verstehen sowie der Entwicklung von Lösungen für langfristige Probleme im Zusammenhang mit dem Meer spielen können, wird untersucht. Der Bericht konzentriert sich auf die Bereiche Ressourcen und wirtschaftliches Potenzial des Meeres, Umweltfragen sowie Verwaltung der Meere.

Future of Skills and Lifelong Learning (2017)⁷¹ – Zeithorizont 2020 – 2040:

In dem Bericht werden Auswirkungen des technologischen Wandels sowie der alternden Bevölkerung auf den zukünftigen Bedarf an Qualifikationen im Vereinigten Königreich untersucht. Darüber hinaus wird beleuchtet, wie sich die Förderung von lebenslangem Lernen auf die Produktivität auswirken kann.

Future of an Ageing Population (2016)⁷² – Zeithorizont 2040:

Der Bericht trägt wissenschaftliche Erkenntnisse zum Thema Alterung der Gesellschaft zusammen, die helfen sollen, politische Entscheidungen und Maßnahmen in die Wege zu leiten, um das Wohlbefinden aller Menschen aufrechtzuerhalten und sie darin zu unterstützen, ein langes und gesundes Leben zu führen, sowie die Lebensqualität und gesellschaftliche Teilhabe älterer Menschen zu verbessern.

⁶⁶ Weitere laufende bzw. kürzlich abgeschlossene Foresight-Projekte, die aber nicht Gegenstand dieser Metastudie sind, behandeln die Themen „Net Zero Society“ (laufend), „Resilience to long-term trends and transitions to 2050“ (laufend) und „Wireless 2030“ (veröffentlicht im Januar 2023).

⁶⁷ <https://www.gov.uk/government/publications/genomics-beyond-health> (Abruf am 04.12.2024).

⁶⁸ <https://www.gov.uk/government/publications/the-future-of-citizen-data-systems> (Abruf am 04.12.2024).

⁶⁹ <https://www.gov.uk/government/publications/future-of-mobility> (Abruf am 04.12.2024).

⁷⁰ <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-the-sea> (Abruf am 04.12.2024).

⁷¹ <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-skills-and-lifelong-learning> (Abruf am 04.12.2024).

⁷² <https://www.gov.uk/government/publications/future-of-an-ageing-population> (Abruf am 04.12.2024).

Future of Cities (2016)⁷³ – Zeithorizont 2065:

Der Bericht widmet sich Chancen und Herausforderungen für britische Städte in den nächsten 50 Jahren und fokussiert sich auf folgende Schwerpunkte: Leben in Städten, städtische Wirtschaft, städtischer Stoffwechsel, Stadtgestalt, städtische Infrastruktur sowie städtische Verwaltung. Neben Stadtbesuchen und lokalen Stadtprojekten wurden auch Zukunftsszenarien entwickelt, um politische Optionen für die Stadtentwicklung der Zukunft zu identifizieren.

Tabelle 4-1: Thematische Ausrichtung der betrachteten Foresight-Berichte aus UK.

Jede Studie (s. einzelne Spalten) wird dahingehend bewertet, ob die einzelnen Themenfelder eingehend behandelt werden (entspricht einer „2“), weniger eingehend (entspricht einer „1“) oder ob das Themenfeld gar nicht, bzw. nur marginal in der Studie Erwähnung findet (entspricht einer „0“).

	Genomics beyond health	The future of citizen data systems	Future of Mobility - A time of unprecedented change in the transport system	Future of the Sea	Future of Skills and Lifelong Learning	Future of an Ageing Population	Future of Cities
Veröffentlichungsjahr	2022	2020	2019	2018	2017	2016	2016
Energie	0	1	1	2	0	0	2
Materialtechnik	0	0	0	1	0	0	1
Basistechnologien der Digitalisierung	0	2	0	1	0	0	1
Biotechnologie	2	0	0	2	0	0	0
Arbeit und Wertschöpfung	2	2	2	1	2	2	2
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	2	0	0	1	1	2	2
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	2	1	1	2	0	0	2
Bauen und Wohnen	0	0	1	1	0	2	2
Verteidigung und Sicherheit	0	0	0	1	0	0	0
Mobilität und Verkehr	0	0	2	2	0	1	2
Luft- und Raumfahrt	0	0	2	1	0	0	0
Meerestechnik und Schifffahrt	0	0	0	2	0	0	0
Digitalisierung	1	2	2	1	1	2	2
Gesellschaft, Kultur und Bildung	2	2	1	0	2	2	2

Quelle: eigene Darstellung.

Betrachtet man die 7 betrachteten Studien zusammen, ergibt sich folgende Schwerpunktsetzung bei der diesjährigen Analyse des UK Foresight-Prozesses:

⁷³ <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-cities#project-reports> (Abruf am 04.12.2024).

Thematische Schwerpunktsetzung der UK Foresight-Studien

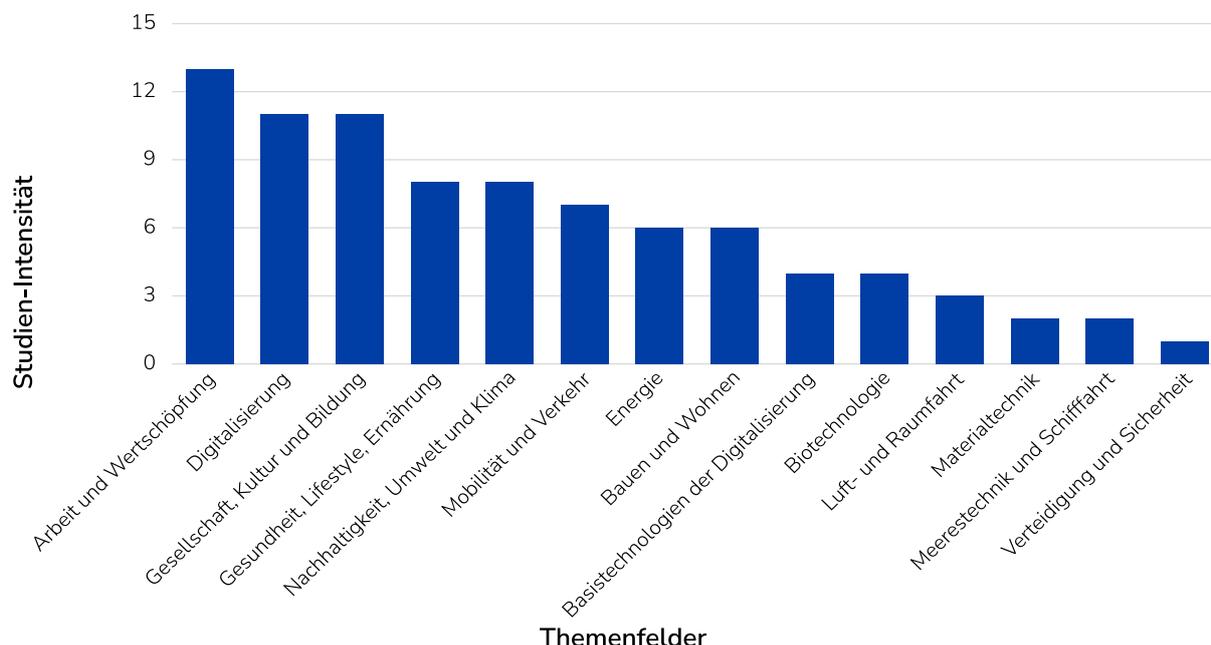


Abbildung 4-2: Thematische Schwerpunktsetzung der 7 betrachteten Berichte aus dem UK Foresight-Prozess (Studienintensität über alle betrachteten Berichte aus dem UK Foresight-Prozess).

Jede Studie wird dahingehend bewertet, ob die einzelnen Themenfelder eingehend behandelt werden (entspricht einer „2“), weniger eingehend (entspricht einer „1“) oder ob ein Themenfeld gar nicht, bzw. marginal in der Studie Erwähnung findet (entspricht einer „0“). Die einzelnen Balken stellen für die einzelnen Themenfelder die Summe dieser Bewertungen über alle 7 betrachteten Studien dar.

Quelle: eigene Darstellung.

Im Folgenden wird detailliert auf die Aussagen zu den 14 thematischen Kategorien eingegangen. Dort, wo kein ausdrückliches Datum für das prognostizierte Eintreten einer bestimmten Entwicklung/Vorhersage genannt wird, wird auf den Zeithorizont der dazugehörigen Studie verwiesen.

4.1.3.2 Inhaltsanalyse

Energie

Das Themenfeld Energie wird in der Studie „*Future of the Sea*“ unter dem Aspekt der Offshore-Energiegewinnung sowie der Energiegewinnung aus dem Meer behandelt. Aussagen und Details hierzu finden sich im Abschnitt *Meerestechnik und Schifffahrt*.

Darüber hinaus werden bei der Beschreibung zukünftiger Trends im Bereich Mobilität (Studie „*Future of Mobility*“) die Verfügbarkeit und Sicherstellung von ausreichenden und zuverlässigen Stromnetzkapazitäten als Voraussetzung für die weitere Elektrifizierung von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastrukturen dargestellt. Intelligente Stromnetze werden zudem als wichtig angesehen, um dafür zu sorgen, dass bei steigender Anzahl von Batterien für Elektrofahrzeuge diese außerhalb von Spitzenzeiten der Nachfrage aufgeladen werden. Ob die fortschreitende Elektrifizierung von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastrukturen zur Dekarbonisierung des Transportbereichs beitragen wird, wird laut der Studie davon abhängen, wie emissionsarm der Gesamtstrommix in Großbritannien in Zukunft ist. Hier wird auf den Abschnitt *Mobilität und Verkehr* verwiesen.

Die Aspekte des Energieverbrauchs umfangreicher Datenverarbeitungssysteme sowie der Wunsch nach energiearmen Computing-Technologien angesichts der zunehmenden Menge an zu verarbeitenden Daten werden im Rahmen der Studie „*The future of citizen data systems*“ behandelt. Es wird angeführt, dass die Energieintensität der digitalen Industrie um 4 % p. a. wachsen könnte, was eine Steigerung der auf diesen Bereich zurückzuführenden Treibhausemissionen bedeuten könnte (s. Abschnitt *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*). Während Rechenzentren aktuell für ca. 19 % des digitalen Energieverbrauchs verantwortlich seien, könnte der Trend für größere Rechenzentren oder auch radikale Entwicklungen bei den Rechentechnologien und Recheninfrastrukturen für mehr Energieeffizienz sorgen (s. auch Abschnitt *Basistechnologien der Digitalisierung*).

Energienetzwerke als Teil kritischer Infrastrukturen im städtischen Bereich werden im Abschnitt *Bauen und Wohnen* behandelt.

Materialtechnik

Auf das Themenfeld „Materialtechnik“ wird in den betrachteten Studien des UK Foresight-Prozesses nicht detailliert eingegangen. Es lassen sich nur vereinzelt Bezüge finden, z. B. im Hinblick auf mögliche Fortschritte bei Materialien für Batterietechnologien, bezüglich der Bedeutung von Seltenen Erden für Offshore-Windparks oder im Zusammenhang mit der potenziellen Weiterentwicklung des Tiefseebergbaus (s. Abschnitt *Meerestechnik und Schifffahrt*).

Darüber hinaus wird in der Studie „*Future of Cities*“ postuliert, dass keine wesentlichen Änderungen beim zukünftig benötigten Materialmix für Bauwesen und Infrastrukturen in den Städten der Zukunft zu erwarten sind. Vor dem Hintergrund von Nachhaltigkeitszielen werden Urban Mining, Ressourcenschonung sowie Wiederverwendung und -verwertung im Materialbereich immer wichtiger. Materialien, die eine möglichst kohlenstoffarme Infrastruktur ermöglichen, dürften dabei im Fokus stehen.

Basistechnologien der Digitalisierung

Basistechnologien der Digitalisierung stehen – im Unterschied zu den verschiedenen Aspekten der Digitalisierung selbst (s. weiter unten) – nicht im Fokus der betrachteten Studien. Allerdings werden Fortschritte bei der Sensortechnik sowie den drahtlosen Kommunikations- und Rechentechnologien immer vorausgesetzt, wenn das Potenzial zukünftiger Digitalisierungsanwendungen erforscht wird (s. Abschnitt *Digitalisierung*). Vor dem Hintergrund der erwarteten wachsenden Zahl an autonomen Fahrzeugen auf See wird Sensoren und Batterien in der Studie „*Future of the Sea*“ eine steigende Bedeutung für die Schifffahrt zugesprochen (s. auch Abschnitt *Meerestechnik und Schifffahrt*). Sensornetzwerke spielen ebenso bei der Gestaltung zukünftiger „Smart Cities“ eine wichtige Rolle: Bei Planung, Betrieb, Instandhaltung und Modernisierung von Infrastrukturen und Gebäuden dürften Sensortechnologien und die Verwertung der erhobenen Sensordaten einen wesentlichen Beitrag zu einem ressourcenschonenden Umgang mit Materialien leisten (s. hierzu den Abschnitt *Bauen und Wohnen*).

Computing-Technologien allgemein wird eine entscheidende Bedeutung zugesprochen, um das Potenzial von Daten, ihrer Verarbeitung und der durch Daten ermöglichten Digitalisierungsanwendungen in der Datenökonomie ausschöpfen zu können. Angesichts der wachsenden Menge an zu verarbeitenden Daten könnte der Aspekt des Energieverbrauchs von Rechentechnologien bzw. die Suche nach möglichst energieeffizienten Rechentechnologien und *Green*

Computing eine wachsende Rolle spielen (s. hierzu auch die Abschnitte *Energie* und *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*).

Im Rahmen der Studie „*The future of citizen data systems*“ wird auf die potenzielle disruptive Auswirkung neuer Computing-Technologien hingewiesen. So könnten neue Arten von Computern helfen, wachsende Datenmengen zu verarbeiten und Berechnungen wesentlich schneller durchzuführen als mit bisherigen klassischen Computern. Genannt werden insbesondere Quantencomputer, die sowohl tiefgehende Auswirkungen auf die Nutzung und Verarbeitung von „Bürgerdaten“ als auch eine Verbesserung der möglichen Ansätze bei Optimierungsproblemen und maschinellem Lernen erzielen könnten (s. hierzu Abschnitt *Digitalisierung*). Gleichzeitig könnten Quantencomputer neue Risiken bringen, sofern sie aktuelle Verschlüsselungssysteme zu brechen in der Lage wären. Daran, welche Organisationen oder welche Regierungen diese Technologien zuerst voranbringen, könnte sich entscheiden, ob eher Vorteile oder eher Risiken von Quantencomputern überwiegen.

Neben Quantencomputern könnte neuromorphes Computing, d. h. die von biologischen Nervensystemen inspirierte Form der Datenverarbeitung, in Zukunft helfen, den Energiebedarf von Recheninfrastrukturen zu senken, und insbesondere für Anwendungen des maschinellen Lernens interessant sein.

Darüber hinaus könnte die Bedeutung von Cloud- bzw. Edge-Computing steigen – so könnte vermieden werden, dass zur Verarbeitung wachsender Datenmengen immer größere zentrale Recheninfrastrukturen notwendig werden. Darüber könnte Edge-Computing die Leistungsfähigkeit steigern und im Vergleich zu einer zentralen Speicherung von (sensiblen) Daten den Vorteil einer größeren Datensicherheit bringen (s. auch Abschnitt *Digitalisierung*).

Biotechnologie

Die Genomik ist Gegenstand der im Rahmen des *UK Foresight*-Prozesses jüngsten Anfang 2022 veröffentlichten Studie „*Genomics Beyond Health*“. Die Studie prognostiziert einen wachsenden Aufschwung der britischen genomischen Forschung und speziell Fortschritte bei:

- Third-Generation-Sequencing-Methoden, bei denen längere DNA-Abschnitte oder DNA-Protein-Zwischenstufen (mRNA) sequenziert sowie auch genetische Sequenzen zusammen mit epigenetischen Veränderungen erfasst werden können. Zwar sei die Fehlerquote solcher Methoden aktuell z. T. noch größer als bei den etablierten älteren Sequenzierungsmethoden, den sogenannten Next-Generation-Sequencing-Methoden. Allerdings könnten Third-Generation-Sequencing-Methoden laut der Studie mittelfristig einen ähnlich revolutionären Ansatz für die Genomik bedeuten wie die Next-Generation-Sequencing-Methoden um das Jahr 2007.
- genomweiten Assoziationsstudien (GWAS), die durch Untersuchung eines großen genomischen Datensatzes ermöglichen, diejenigen einzelnen Genomabschnitte in Verbindung mit einem bestimmten Merkmal zu identifizieren. Oft sei die Aussagekraft von GWAS heute noch beschränkt – beispielsweise, weil ein bestimmtes Merkmal die Folge des Vorhandenseins verschiedener Genabschnitte ist oder die Untersuchungen nur eine beschränkte Anzahl an (nicht repräsentativen) genomischen Daten umfassen. Laut der Studie könnten diese Einschränkungen in Zukunft überwunden und somit die Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit und Aussagekraft von GWAS gesteigert werden.
- Polygenic Risk Scores, mit denen die gewichtete Summe der kombinierten, mit einem bestimmten Merkmal assoziierten Allele eines Individuums ermittelt wird. Diese Polygenic Risk Scores können

dann mit anderen relevanten Faktoren, wie beispielsweise Lebensstilfaktoren, in Zusammenhang gebracht werden, um einen genaueren Vorhersagewert zu bestimmen. Polygenic Risk Scores könnten vermehrt eingesetzt werden, um das Screening auf bestimmte Erkrankungen personalisierter zu gestalten und nur diejenigen zu berücksichtigen, die tatsächlich einen Nutzen davon haben. Gleichzeitig könnten diejenigen Menschen mit besonders hohem genetischem Risiko für eine bestimmte Erkrankung identifiziert werden, so dass frühe Therapie- bzw. Vorsorgemaßnahmen eingeleitet werden könnten.

Die 2020 vom *Department of Health and Social Care* veröffentlichte Strategie *Genome UK*⁷⁴ verfolgt das Ziel, genomische Medizin in die klinische Praxis zu integrieren. Beispielsweise soll die Sequenzierung von Gesamtgenomen (*Whole Genome Sequencing*, WGS) integraler Bestandteil der klinischen Routine bei der Diagnose von seltenen Krankheiten sowie Krebs und Infektionskrankheiten werden. Infolgedessen wird in der Studie mit einem enormen Zuwachs an für die Forschung verfügbaren Genomdaten in der *UK Biobank* gerechnet. Konkret wird die Zielmarke von 1 Mio. Gesamtgenomen bis zum Jahr 2024 angestrebt. Dieser Datensatz erweitere die Möglichkeiten der Anwendung von genomweiten Assoziationsstudien (GWAS) sowie des *Polygenic Risk Score*-Ansatzes. Dies werde Forschenden zugutekommen – ganz gleich, ob sie gesundheits- oder nicht gesundheitsbezogene genetische Merkmale untersuchen möchten – wenn auch unter Berücksichtigung methodischer Einschränkungen, beispielsweise aufgrund der noch unzureichenden Abbildung der Bevölkerungsdiversität in vorhandenen Genomdatenbanken. Insgesamt dürfte Großbritannien laut der Studie seine Stellung als weltweit führendes Land in der Genomforschung und bei Infrastrukturen für die Genomforschung konsolidieren und ausbauen. Meilenstein könnte die für das Jahr 2045 prognostizierte Möglichkeit der synthetischen Herstellung einer vollständigen Kopie des menschlichen Genoms sein.

Die Studie unterstreicht, dass Fortschritte in der Genomik die aktuellen Vorstellungen von Privatsphäre und Anonymität grundlegend verändern könnten. Fragen des Datenschutzes, der Datensicherheit sowie des Umgangs mit den Ergebnissen genomischer Untersuchungen werden deshalb in der Forschung, bei kommerziellen Genomdatenbanken sowie in eventuell neuen Anwendungsbereichen der Genomik (s. Abschnitt *Gesellschaft, Kultur und Bildung*) große Bedeutung erlangen. Unklare bzw. unzureichende Regulierungen werden als wichtige zu überwindende Herausforderung angesehen. Auch die Frage der Patentierbarkeit genetischen Materials sei noch ungeklärt. Insgesamt stünde die britische Bevölkerung der Genomik und deren Anwendungen offen gegenüber, sei sich aber z. T. nur unzureichend der potenziellen ethischen Probleme bewusst, die sich daraus ergeben könnten. Hier könnte Großbritannien laut der Studie eine internationale Führungsrolle bei der Entwicklung von Ethik und Regulierungen für die Genomik einnehmen. Schwerpunkt der in der Studie untersuchten Anwendungsmöglichkeiten der Genomik sind nichtgesundheitsliche Bereiche, bei denen erwartet wird, dass die Genomik zukünftig vermehrt angewandt werden könnte.

Im Rahmen der Studie *„Future of the Sea“* wird hervorgehoben, dass die marine Biotechnologie und insbesondere die Nutzung genetischer Ressourcen aus dem Meer zu neuen Möglichkeiten der Nahrungsmittelproduktion und der Entwicklung neuer Arzneimittel führen könnten (s. Abschnitt *Meerestechnik und Schifffahrt*).

⁷⁴ [Genome UK: the future of healthcare](#) (Abruf am 17.11.2022).

Arbeit und Wertschöpfung

Das Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung* wird insbesondere in den Studien „*Future of Skills and Lifelong Learning*“ und „*Future of an Ageing Population*“ behandelt, einzelne Bezüge finden sich aber auch in den anderen Studien aus dem *UK Foresight*-Prozess. Die sich fortsetzende Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft werde die Arbeitswelt grundlegend verändern und zu einer Neu-Organisation von Wertschöpfungsprozessen und neuen Geschäftsmodellen führen. Der technologische Fortschritt werde als wichtiger Treiber für Produktivitätswachstum und Wohlstandssicherung dargestellt.

Die schnelle Technologieentwicklung, die Automatisierung und veränderten Beschäftigungsmuster (z. B. die Zunahme von Zeitarbeit, selbstständiger Arbeit oder Gelegenheitsarbeit) werden dazu führen, dass Menschen häufiger die Tätigkeit wechseln und sich immer wieder an neue Technologien anpassen müssen. Bestimmte Tätigkeiten und Berufe werden verschwinden und neue aufkommen. Es wird als wahrscheinlich angesehen, dass Roboter zukünftig zahlreiche derjenigen Tätigkeiten übernehmen werden, für die heute nicht- bzw. wenig qualifiziertes Personal eingesetzt wird. Zudem werde aufgrund der Alterung der Bevölkerung mit einer längeren Lebensarbeitszeit gerechnet. Dies bedeute, dass die Qualifikationen in der Arbeitsbevölkerung regelmäßig aktualisiert werden müssen, und werde die Relevanz lebenslangen Lernens erhöhen. Online-Weiterbildungs- und Karriere-Coachings-Angebote werden als vielversprechend angesehen, nicht zuletzt, da sie größere Kosteneffizienz und prinzipiell mehr Menschen erreichen können als *Face-to-face*-Angebote. Es wird für die Zukunft mit komplexeren, diverseren und vor allem an die Nutzer*innen angepassten Online-Angeboten gerechnet. Allerdings bestehe das Risiko, dass sie weniger engagierte Arbeitskräfte möglicherweise nicht ansprechen könnten. Allgemein könnte es zu einer Verschärfung von Bildungsgefällen kommen, da Menschen mit höherem sozio-ökonomischem Status aufgrund ihres Bildungshintergrundes tendenziell eher bereit sind, solche (Online-)Weiterbildungsangebote wahrzunehmen. Unterstrichen wird, dass lebenslanges Lernen als wichtige und kontinuierliche Aufgabe für jede*n angesehen werden sollte und nicht nur für diejenigen, die frisch auf den Arbeitsmarkt kommen oder gerade die Arbeitsstelle verloren haben. Es sei zu erwarten, dass das Qualifikationsproblem nicht alle Branchen und Tätigkeiten gleichermaßen trifft. Zum Zeitpunkt der Verfassung der Studie wurden folgende Branchen als besonders betroffen identifiziert: Elektrizitäts- und Wasserbranche, Bau und Produktion.

Die Alterung der Erwerbsbevölkerung wird es laut der Studie erforderlich machen, dass Arbeitsplätze und -formen an neue Anforderungen angepasst werden müssen. Eine zusätzliche Automatisierung in der Produktion könnte beispielsweise helfen, den Umfang körperlich anstrengender Arbeiten zu reduzieren. Beim Design von Arbeitsplätzen und -räumen sollte in Zukunft ein Fokus auf Erwartungen und mögliche Einschränkungen einer alternden Erwerbsbevölkerung gelegt werden.

Weitere technologische Entwicklungen im Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung* seien:

- Einsatz von Gentests in der Arbeitswelt: Obwohl der Einsatz von Gentests in der Arbeitswelt momentan noch sehr umstritten sei, könnte sich dieser in Folge der Fortschritte auf dem Gebiet der Genomik – insbesondere was die Genauigkeit und Vorhersagefähigkeit der Testmethoden betrifft – intensivieren. Denkbar ist laut den Prognosen die Auswahl geeigneter Arbeitnehmer*innen aufgrund von (zumindest teilweise) genetisch bedingten gesundheitlichen oder persönlichkeitsbezogenen Merkmalen (beispielsweise die Tendenz zum Neurotizismus oder zur Extraversion oder Gewissenhaftigkeit). Die in Großbritannien noch fehlende Gesetzgebung und Regulierung, was den Einsatz der Genomik in der Arbeitswelt anbelangt, werden hervorgehoben.
- Zunahme der additiven Fertigung (3D- und 4D-Druck) und der modularen Fertigung.

- Zunehmender Einsatz von Robotik und Exoskeletten bei körperlich anstrengenden Tätigkeiten, z. B. in der Logistik.
- Digitalisierung von Arbeitsprozessen, virtuelle Umgebungen und digitale Zwillinge.

Aussagen, die speziell die Meereswirtschaft als Sektor betreffen, werden in dem Abschnitt *Meerestechnik und Schifffahrt* dargestellt.

Gesundheit, Lifestyle, Ernährung

Die Alterung der britischen Bevölkerung und ihre Konsequenzen sind Gegenstand der Studie „*Future of an Ageing Population*“. Erwartet werden:

- ein Anstieg der Anzahl der Menschen in der Altersgruppe der über 60-Jährigen um ca. 47 % von 2014 bis 2039 – von 14,9 Mio. auf 21,9 Mio.,
- ein Anstieg der Zahl der Menschen, die in sozialer Isolation leben, was Krankheiten begünstigt,
- ein Anstieg der Nachfrage nach öffentlich finanzierten häuslichen Pflegediensten um 86 % bis 2035 gegenüber 2015.

Die Alterung der Bevölkerung werde Folgen in zahlreichen Bereichen haben (s. auch Abschnitte *Bauen und Wohnen, Wertschöpfung und Arbeit, Digitalisierung* sowie *Gesellschaft, Kultur und Bildung*). Für den Gesundheitsbereich wird insbesondere mit folgenden Entwicklungen gerechnet:

- einer Zunahme der Krankheiten und Behinderungen in absoluten Zahlen,
- einer relativen Verschiebung der Krankheitsinzidenz in der Bevölkerung, weg von akuten Erkrankungen hin zu mehr altersbedingten und chronischen Erkrankungen (z. B. +80 % mehr Demenzerkrankte im Jahr 2051, verglichen mit 2021), Multimorbidität, kognitiven Beeinträchtigungen und langfristiger Gebrechlichkeit,
- einer Zunahme der Bedeutung von Familien und Gemeinschaften bei der Bereitstellung von Pflegedienstleistungen.

Insgesamt könnten die öffentlichen Gesundheitsausgaben von 7,3 % auf 8,3 % des BIP und die Kosten für Langzeitpflege von 1,1 % auf 2,2 % im Zeitraum 2015 – 2065 steigen. Die Anpassung der Gesundheits- und Pflegesysteme an die veränderte Nachfrage wird deshalb als Priorität angesehen. Insbesondere gehe es darum, die zukünftigen Gesundheits- und Pflegekosten dadurch zu senken, dass effizientere Ansätze zur Prävention und Behandlung chronischer Krankheiten entwickelt und umgesetzt werden. Auch sollte jedem Individuum ermöglicht werden, mehr Verantwortung für die eigene Gesundheit zu übernehmen.

In technologischer Hinsicht werde auf unterstützende Technologien, integriertes Gesundheitsmonitoring für den Heimbereich sowie intelligente Datentechnologien im Allgemeinen gesetzt (z. B. Heimüberwachungssysteme, GPS-Ortung etc.), um Betreuung und Pflege zu Hause zu verbessern, Routinediagnosen und -überwachungen von zu Hause zu ermöglichen und somit die Häufigkeit von Notfall-, Praxis- oder Krankenhausbesuchen zu senken. Kurzfristig könnte die Verbreitung dieser Technologien für höhere Ausgaben sorgen, mittel- bis langfristig haben sie aber laut der Studie das Potenzial, die Gesamtkosten von Gesundheit und Pflege zu senken. Damit das gelinge, sei es eine wichtige politische Aufgabe, dafür zu sorgen, dass die Technologien sicher und für alle zugänglich sind. Insbesondere seien Bedenken bzgl. des Datenschutzes zu überwinden sowie entsprechende Fortbildungsmaßnahmen für Nutzer*innen der Technologien (ob für die Patient*innen

selbst oder Angehörige von Gesundheits- und Pflegeberufen) umzusetzen (s. auch Abschnitt *Digitalisierung und Wertschöpfung und Arbeit*).

Weitere vielversprechende Technologien und Entwicklungen seien:

- 3D-gedruckte Gelenke und Organe,
- therapeutische Robotik,
- die Genomik: Die Studie „*Genomics Beyond Health*“ erwartet Fortschritte bei genomischen Methoden, die zu verbesserten Vorsorge- bzw. Behandlungsansätzen, z. B. im Kampf gegen Krebs, führen könnten (s. Abschnitt *Biotechnologie*). Der Fokus der Studie „*Genomics Beyond Health*“ liegt aber auf der Anwendung der Genomik in nichtmedizinischen Bereichen. Es wird postuliert, dass die Genomik Einzug in zahlreiche Bereiche halten könnte – von dem Bereich Landwirtschaft und Ernährung über den Umweltbereich bis hin zur Arbeitswelt und Forensik (s. hierzu auch die Abschnitte *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima, Wertschöpfung und Arbeit* sowie *Gesellschaft, Kultur und Bildung*),
- die Weiterentwicklung einer personalisierten Medizin, diese könnte einen gezielteren und somit kosteneffektiveren Einsatz von Medikamenten und Therapien ermöglichen.

Darüber hinaus werden Trends im Bereich Lifestyle identifiziert. Genomische Anwendungen könnten auf dem zweiten Gesundheitsmarkt bzw. im Lifestyle-Bereich zum Mainstream werden. So dürfte laut der Studie die Popularität von sogenannten Direct-to-Consumer-Tests (DTC-Test), Gentests also, die Käufer*innen ohne ärztliche Beratung und Begleitung direkt angeboten werden, in den nächsten Jahren weiter wachsen und ihr Absatz entsprechend steigen – bis hin zu einem prognostizierten Marktvolumen von weltweit 2,7 Mrd. USD im Jahr 2025. Nicht selten dürften allerdings mit der Nutzung von DTC-Tests auch in Zukunft zahlreiche Risiken verbunden sein, sowohl was den Schutz der (medizinischen und nichtmedizinischen) Daten der Nutzer*innen als auch – in Folge fehlender Regulierung – die Qualität der gemachten Aussagen anbelangt.

Im Sportbereich sind in Zukunft Bestrebungen denkbar, Techniken der Genom-Editierung zur Optimierung der Leistung einzusetzen – wenn auch die in die Studie involvierten Expert*innen erwarten, dass diese Anwendungen von relevanten Akteuren wie der Welt-Anti-Doping-Agentur unterbunden werden könnten.

Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima

Das Themenfeld *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* wird unter verschiedenen Perspektiven in fast allen der betrachteten Studien aus dem *UK Foresight*-Prozess behandelt.

Laut der Studie „*Genomics Beyond Health*“ könnten Fortschritte in der Genomik zur Verbesserung derzeitiger genetischer Anwendungen in den Bereichen Umwelt und Ökologie führen. Zudem könnte die Entwicklung tragbarer genomischer Verfahren und Technologien helfen, die Umweltüberwachung in schwer zugänglichen und einkommensschwachen Gebieten zu verbessern. Konkret werden folgende Anwendungsfälle der Genomik im Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt genannt:

- rechtzeitige Identifizierung und Überwachung von nichtheimischen, invasiven Arten, die eine Gefahr für die Biodiversität vor Ort darstellen können, oder von Umweltschäden im Allgemeinen,
- Modellierung und Vorhersage der evolutionären Anpassung bzw. Entwicklung von Szenarien zu möglichen zukünftigen Anpassungen von Flora und Fauna an den Klimawandel,

- Nutzung genetischer Methoden (insbes. Gene-Editing-Methoden) zur Wiederherstellung von Ökosystemen und Biodiversität,
- Bekämpfung illegaler Handelsmethoden mit Tier- und Pflanzenarten bzw. Sicherung der Qualität, z. B. Rückverfolgung dank DNA-Fingerabdruck von einzelnen Pflanzen entlang einer Lieferkette,
- Nutzung von Sequenzierungsmethoden zur Sicherstellung der Wasserqualität; hier wird für die Zukunft mit portablen Sequenzierungsverfahren gerechnet, die eine Sequenzierung in nahezu Echtzeit und vor Ort erlauben könnten,
- Nutzung von Instrumenten wie CRISPR, um invasive Arten bzw. Krankheitsüberträger zu kontrollieren bzw. auszurotten. So könnten „Gene-Drive“-Ansätze helfen, die Vererbungsrate eines gewünschten Merkmals zu beschleunigen und dafür die Verbreitung unerwünschter Merkmale zu verlangsamen bzw. zu verhindern.

Es wird zudem auf die Notwendigkeit internationaler Vorschriften hingewiesen, damit potenzielle (Missbrauchs-)Risiken im Zusammenhang mit der Nutzung genomischer Verfahren im Umweltbereich überwunden werden.

Die Studie „*Future of the Sea*“ weist auf zahlreiche Umweltrisiken und -schäden sowie sich fortsetzende Trends im direkten Zusammenhang mit menschlichen Aktivitäten hin, die es prioritär zu bekämpfen gelte:

- den hohen Druck auf die Fischbestände in Folge von Überfischung und die weltweit steigende Nachfrage nach Fisch und Aquakulturproduktion, deren Bedeutung für die weltweite Ernährungssicherheit voraussichtlich wachsen werde,
- die Meeres- und Ozeanerwärmung sowie den steigenden Meeresspiegel in Folge des Klimawandels und schädlicher CO₂-Emissionen,
- die Versauerung der Meere und dadurch Störung der biologischen Prozesse vieler Arten (Muscheln, Korallen etc.),
- die Sauerstoffverarmung der Meere in Folge nährstoffreicher Schadstoffe, die ins Meer gelangen, sowie der zunehmend übermäßigen Algenbildung,
- den Plastikmüll im Meer, dessen Volumen sich bis 2025 verdreifachen könnte im Vergleich zum Niveau im Jahr 2015,
- die chemische Verschmutzung der Meere mit persistenten, bioakkumulierbaren und toxischen Chemikalien (PBT-Stoffen).

Vor diesem Hintergrund sind folgende (technologische) Entwicklungen laut der Studie denkbar:

- Zunahme der Nachfrage nach nachhaltiger Fischerei und Aquakulturproduktion,
- Nutzung des *Inshore Vehicle Monitoring System* (IVMS) in der Fischereiflotte, um Fangtätigkeiten zu überwachen und zu verwalten und ozeanografische Daten im Allgemeinen zu sammeln,
- Entwicklung und Einführung neuer, biologisch abbaubarer Kunststoffe,
- Entwicklung von Technologien und Maßnahmen zur Eindämmung der chemischen Verschmutzung der Meere,
- zunehmendes Monitoring der Meeresökosysteme und der von ihnen ermöglichten Produkte und Dienstleistungen,

- Weiterentwicklung von Technologien und Maßnahmen zur Eindämmung der Folgen des Klimawandels.

Vor dem Hintergrund des Ziels Großbritanniens, bis 2050 die CO₂-Emissionen um 80 % im Vergleich zum Jahr 1990 zu reduzieren,⁷⁵ könnten Verfahren zur CO₂-Abscheidung und Speicherung eine zunehmende Bedeutung bekommen. Sollten aktuelle technische Hürden überwunden und die Verfahren wirtschaftlich werden, könnten bis 2050 bis zu 40 % der britischen CO₂-Emissionen mit diesem Verfahren gespeichert werden. Das größte Potenzial weist die geologische Speicherung auf – z. B. in erschöpften Öl- und Gaslagerstätten –, weniger die Tiefseespeicherung aufgrund der damit verbundenen ökologischen Bedenken.

Laut der Studie „*Future of Mobility*“ wird zwar von der fortschreitenden Elektrifizierung im Transportbereich – bei insgesamt emissionsarmem Gesamtstrommix – ein positiver Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen erwartet (s. auch Abschnitte *Mobilität und Verkehr* und *Energie*). Allerdings machen die abgasbedingten Emissionen nur ca. die Hälfte der Fahrzeugemissionen aus – nichtabgasbedingte Emissionen aus dem Reifen- und Bremsverschleiß sowie die Aufwirbelung von Straßenstaub werden auch bei zukünftig zunehmender Elektromobilität weiterhin zu einer Verschlechterung der Luftqualität beitragen.

Die Studie „*The future of citizen data systems*“ weist auf den hohen Energiebedarf und die damit verbundenen hohen Treibhausgasemissionen des gesteigerten Datenvolumens in der digitalen Gesellschaft hin. Es werden Statistiken angeführt, nach denen die CO₂-Emissionen, die von Datensystemen hervorgerufen werden, in den nächsten Jahren um ca. 9 % pro Jahr steigen und im Jahr 2025 fast 8 % sowie im Jahr 2040 bis zu 14 % der gesamten weltweiten Emissionen ausmachen könnten. Wie der Anteil der CO₂-Emissionen aus der digitalen Wirtschaft tatsächlich ausfällt, werde zum einen vom Energiemix abhängen, zum anderen aber auch davon, ob zukünftige Entwicklungen bei den Computing-Technologien dazu beitragen können, die CO₂-Emissionen zu reduzieren (s. auch Abschnitt *Basistechnologien der Digitalisierung*). Auf das Risiko von Rebound-Effekten durch die vermehrte Nutzung von Datensystemen nach der Steigerung deren Effizienz durch technologische Neuerungen wird hingewiesen. Offen bleibe, wie unterschiedlich diese Aspekte in verschiedenen Ländern und Weltregionen zukünftig adressiert werden und ob eine breitere Energiepolitik Anreize für „grünes Computing“ schafft.

Nachhaltigkeitsaspekte bei städtischen Infrastrukturen werden im Rahmen der Studie „*Future of Cities*“ behandelt, in der betont wird, dass die Notwendigkeit, CO₂-Emissionen zu minimieren sowie Naturkatastrophen und Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen, insbesondere im städtischen Kontext eine besondere Herausforderung darstelle (s. hierzu Abschnitt *Bauen und Wohnen*).

Bauen und Wohnen

Das Projekt „*Future of Cities*“ widmet sich allen Aspekten der Urbanisierung, vom Bau bis hin zur Stadtgestaltung und Bereitstellung von (öffentlichen) Dienstleistungen in Städten. Dieses *Foresight*-Teilprojekt lief von 2013 bis 2016 mit dem Ziel, eine Langzeit-Perspektive bis zum Zeithorizont 2040 und 2065 für Großbritanniens Städte zu entwickeln. Wissenschafts- und Technologieaspekte werden insbesondere in dem Teilbericht „*Future of Cities: The Science of Cities and Future Research Priorities*“ adressiert. Wesentliche Aussagen werden im Folgenden zusammengefasst.

⁷⁵ UK Climate Change Act: [Climate Change Act 2008](#) (Abruf am: 15.08.2023).

In Zukunft dürften große städtische Ballungsräume, bestehend aus Netzwerken verschiedener Städte, eine steigende Bedeutung erfahren und den Anforderungen der Wissens- und Datenökonomie sowie einer vernetzten Gesellschaft genügen.

Die Infrastruktur für die Stadt der Zukunft müsse robust, resilient, widerstandsfähig und anpassungsfähig sein – insbesondere gegenüber Naturkatastrophen sowie den Auswirkungen des Klimawandels. Sie müsse auch im Hinblick auf Effizienz, Kosten, CO₂-Fußabdruck und Qualität der angebotenen Dienstleistungen optimiert werden. Technologien wie (drahtlose) Sensor- und Datennetzwerke, Computer Vision sowie Energy Harvesting haben laut der Studie das Potenzial, Bau und Verwaltung städtischer Infrastrukturen zu revolutionieren und Städte zu „Smart-“/intelligenten Städten zu machen. So könnten beispielsweise kritische Infrastrukturen, aber auch einzelne Gebäude über den gesamten Bau- und Lebenszyklus überwacht und bei Bedarf modernisiert/gewartet werden. Von solchen Smart Cities wird ein großer Beitrag zur Erreichung einer größeren Nachhaltigkeit und Widerstandfähigkeit im Bauwesen sowie bei der Infrastrukturplanung erwartet.

Wesentliche Elemente der Planung zukünftiger Städteinfrastrukturen seien eine holistische Sicht und das Zusammenführen der grünen Infrastruktur, der blauen Infrastruktur (d. h. natürlicher Gewässer), der grauen Infrastruktur (d. h. der bebauten Umwelt) mit den Versorgungsdiensten (Wasser, Strom, Gas, Abwasser- und Abfallentsorgung etc.). Dies sei insbesondere wichtig, um einerseits den Herausforderungen in den Städten der Zukunft zu begegnen – von Verkehrsstaus, Umweltverschmutzung und übermäßiger Abfallerzeugung – und andererseits die Städte widerstandsfähiger gegenüber möglichen Überschwemmungen, Sturmschäden, Hitze und Dürre zu machen. Darüber hinaus sei es relevant, eine ganzheitliche Vision für eine optimierte Transportinfrastruktur zu entwickeln, die alle Verkehrsmittel und -infrastrukturen berücksichtigt und sie miteinander vernetzt (s. hierzu auch den Abschnitt *Mobilität und Verkehr*).

Der demografische Wandel und die Alterung der Gesellschaft sowie Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt (insbesondere ein möglicher späterer Renteneintritt, aber auch die steigende Bedeutung von Homeoffice) stellen weitere Herausforderungen dar, wie insbesondere in der Studie *„Future of an Ageing Population“* hervorgehoben. Zukünftige Stadtgestaltung sollte zudem die Teilhabe von älteren bzw. gesundheitlich beeinträchtigten Bevölkerungsschichten am sozialen Leben mitdenken und fördern sowie den Zugang zu üblichen Dienstleistungen im städtischen Bereich gewährleisten. Wohnkonzepte sollten deshalb die erweiterte Nachbarschaft miteinbeziehen. Auch könnte generationsübergreifendes Wohnen zunehmen – hierfür mangle es aber z. T. noch an geeigneten (Bau-)Konzepten.

Die Studie *„Future of an Ageing Population“* erwartet die Anpassung und (Um-)Gestaltung von Wohngebäuden und Wohnungen, damit sie gleichermaßen Arbeits- und Lebens-, später Lebens- und Pflegeort sein können. Es wird davon ausgegangen, dass es bis 2037 bis zu 1,42 Mio. Haushalte geben könnte, in denen eine Person wohnt, die mindestens 85 Jahre alt ist – das stelle einen Anstieg von 161 % in 25 Jahren dar. Die Anpassung der Wohnräume an diese Anforderungen sei notwendig und wird als Priorität angesehen, um Folgekosten für das nationale Gesundheitssystem zu minimieren. Neue Technologien wie intelligente Haustechnik, Smart Homes, Telemonitoring-Angebote etc. könnten hier einen wichtigen Beitrag leisten und einerseits helfen, Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit der Wohnsituation der Menschen zu minimieren (z. B. in Bezug auf Feuchtigkeit, schlechte Beleuchtung etc.). Andererseits könnten sie eine schnellere und flexible Anpassung von Wohngebäuden und -räumen an sich verändernde Anforderungen ermöglichen, wenn deren Bewohner*innen älter, krank oder gebrechlich werden. Dies könnte wiederum eine sinkende Nachfrage nach externen Gesundheits- und Pflegedienstleistungen zur Folge haben.

Verteidigung und Sicherheit

Auf das Themenfeld *Verteidigung und Sicherheit* wird in den betrachteten Studien des UK Foresight-Prozesses nicht detailliert eingegangen.

Mobilität und Verkehr

Das Themenfeld *Mobilität und Verkehr* ist Gegenstand der Anfang 2019 veröffentlichten Studie „*A time of unprecedented change in the transport system – the future of mobility*“ aus dem UK Foresight-Prozess. Vor dem Hintergrund eines als „beispiellos“ qualifizierten Wandels bei den Verkehrs- und Mobilitätsmustern – ausgelöst durch zahlreiche Veränderungen in der Art, wie gelebt, gewohnt und gearbeitet wird, sowie durch den Einzug neuer Technologien in den Transportbereich – nimmt die Studie den Zeithorizont 2040 in den Blick. Es werden soziale und individuelle Faktoren identifiziert, die Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten der Menschen haben, aktuelle technologische und nichttechnologische Trends sowie Handlungsspielräume und mögliche bzw. notwendige Maßnahmen durch Politikakteure dargestellt. Auch wurden vier qualitative Szenarien mit dem Zeithorizont 2040 im Rahmen der Studie abgeleitet, die sich untereinander dadurch unterscheiden, wie schnell neue technologische Entwicklungen den Weg in die Praxis finden und wie die Öffentlichkeit darauf reagiert, insbesondere wenn es um den Umgang mit personenbezogenen Daten geht.

Es wird davon ausgegangen, dass sowohl Verkehrsinfrastrukturen und Verkehrssysteme als auch die Mobilitätswünsche der Menschen immer komplexer werden. Zudem stellt die Alterung der Bevölkerung eine besondere Herausforderung dar. Hier werden Assistenzsysteme als wichtige Möglichkeit angeführt, den Mobilitätswünschen einer alternden Bevölkerung zu entsprechen (s. Studie „*Future of an Ageing Population*“).

Nachhaltigkeitsanforderungen stellen darüber hinaus den wichtigen Kontext dar, in dem zukünftige Mobilitäts- und Verkehrslösungen entwickelt werden.

Neue Technologien bieten das Potenzial, eine Lösung zu den zahlreichen Herausforderungen im Transportbereich zu ermöglichen. Folgende (Technologie-)Trends werden dabei für den Bereich *Mobilität und Verkehr* erwartet:

- (1) Fortschreitende Elektrifizierung von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastruktur

Vor dem Hintergrund der notwendigen Reduzierung von CO₂-Emissionen sowie der mit diesem Ziel verbundenen (internationalen) Vorschriften und Regulierungen ist mit einer weiter fortschreitenden Elektrifizierung von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastruktur zu rechnen, allerdings mit unterschiedlicher Ausprägung je nach Verkehrsmittel:

Elektro-PKWs:

Die erwartete Steigerung der Energiedichte bei den Batterien und die Verbesserung der Ladeinfrastruktur werden laut der Studie dazu beitragen, aktuelle Bedenken der Menschen bezüglich Reichweite und Praktikabilität von Elektrofahrzeugen zu überwinden. Es wird zudem mit sinkenden (Herstellungs-)Preisen bei den Batterien für Elektrofahrzeuge gerechnet: Konkret werden Preise von 73 US\$/kWh bei Lithium-Ionen-Batterien bis 2030 prognostiziert, verglichen mit noch 209 US\$/kWh im Jahr 2018. Dies werde dazu führen, dass Elektrofahrzeuge zunehmend finanziell attraktiv(er) werden. Die Studie rechnet damit, dass zwischen 2023 – 2025 die Gesamtbetriebskosten von Elektrofahrzeugen denjenigen von Verbrennungsfahrzeugen gleichen könnten und E-Autos und kleine Elektro-LKWs bis 2030 weit verbreitet sind. Niedrigere Steuern als bei Verbrennungsfahrzeugen könnten als zusätzliche Treiber fungieren.

Elektrifizierung im Güterstraßenverkehr:

Größere/schwere Elektro-LKWs dürften bis 2040 auf dem Stadium einer aufkommenden Technologie bleiben.

Elektrifizierung des Güterbahnverkehrs: eingeschränkt, da nur wenige Produktionsstätten, Lager etc. über elektrifizierte Bahnanschlüsse verfügen.

Weitere Elektrofahrzeuge:

Neben diesen Elektrofahrzeugen werden immer mehr kleinere Elektrofahrzeuge wie Pedelecs, E-Bikes, E-Scooter und Boost-Boards auf dem Markt erwartet. Diese Fahrzeuge bieten den Vorteil eines geringeren Platzbedarfs auf der Straße und sind somit insbesondere in Städten und Ballungsräumen attraktiv. Zudem werden E-Bikes, die z. B. auch von älteren Menschen genutzt werden können, in Bezug auf die soziale Integration positiv hervorgehoben.

Elektrifizierung des Güterverkehrs auf See:

Eine zuverlässige Energiequelle wird als Voraussetzung angesehen – möglicherweise denkbar seien mit Brennstoffzellen, Wasserstoff oder elektrischen Batterien betriebene elektrische Schiffe. Allerdings sei das erst umzusetzen, wenn Fortschritte in der Forschung Skaleneffekte ermöglichen und die Kosten sinken.

Als wichtige Voraussetzung für die gelungene Elektrifizierung des Verkehrsbereichs – und von steigender Bedeutung bei zunehmender Anzahl von Elektrofahrzeugen – werden die Verfügbarkeit und Sicherstellung von ausreichenden und zuverlässigen Netzkapazitäten dargestellt. Es wird davon ausgegangen, dass „intelligente Stromnetze“ und „intelligentes Laden“ nötig sein werden, um dafür zu sorgen, dass Nutzer*innen von Elektrofahrzeugen ihre Batterien außerhalb von Spitzenzeiten aufladen (s. auch Abschnitt *Energie*). Als mögliche Alternative für eine Elektrifizierung des Güterverkehrs wird die Option oberirdisch elektrifizierter Straßen erwähnt.

Positiv hervorgehoben wird, dass die fortschreitende Elektrifizierung von Verkehrsmitteln zur Dekarbonisierung des Transportbereichs beitragen könne. Ob dies tatsächlich geschieht, werde allerdings davon abhängen, wie emissionsarm der Gesamtstrommix in Zukunft ist (s. auch Abschnitt *Energie*).

Erwähnt werden ebenso negative Seiten der Elektrifizierung im Transportbereich. Wesentlich sind die nichttechnologischen Natur – beispielsweise die fehlenden Steuereinnahmen aufgrund der steuerlichen Begünstigung von Elektrofahrzeugen oder auch die für bestimmte Bevölkerungsgruppen zumindest in der Anfangsphase nicht vorhandene Erschwinglichkeit von Elektrofahrzeugen, die das soziale Gefälle vergrößern kann. Technologisch relevant und in der Studie hervorgehoben ist das Sicherheitsrisiko, das damit einhergeht, dass sich leise, bei geringer Geschwindigkeit akustisch kaum wahrnehmbare E-Fahrzeuge den Verkehrsraum mit Fußgänger*innen und Fahrradfahrer*innen teilen.

(2) Fortschreitende Digitalisierung der Verkehrsinfrastruktur

Es wird für den Verkehrsbereich mit noch nie da gewesenen Auswirkungen der Vernetzung zwischen physischen und digitalen Technologien gerechnet, die bis 2040 zu neuen, besseren und stärker integrierten Verkehrsinfrastrukturen und -systemen führen werden. Eine schnellere Datenübertragung zwischen Verkehrsteilnehmer*innen und -infrastrukturen, Echtzeit-Simulation und zuverlässige (Nachfrage-)Datenmodellierung sowie On-Board-Diagnosesysteme werden eine genauere und bessere Nutzung, Auslastung und Überwachung von Verkehrsmitteln sowie Straßen-, Schienen- und Schiffsverkehrsinfrastrukturen sowie deren effektivere und vorausschauende Instandhaltung ermöglichen. „Digitale Zwillinge“ von Verkehrsinfrastrukturen, die alle Verkehrsteilnehmer*innen und -mittel berücksichtigen, sind denkbar und könnten bei der Umsetzung von „Smart Cities“ einen Beitrag

leisten sowie für mehr Sicherheit bei allen Verkehrsteilnehmer*innen sorgen. Voraussetzung hierfür ist ein reibungsloser und sicherer Austausch von Daten zwischen allen Verkehrsteilnehmer*innen und -infrastrukturen, insbesondere zwischen öffentlichen und privaten Nutzer*innen und Infrastrukturen. Für die gemeinsame Nutzung von Daten aus verschiedenen Quellen werden klare Eigentumsverhältnisse sowie Nutzungsbedingungen als wichtig dargestellt. Hierfür könnte die Distributed Ledger Technology (DLT) eine Lösung bieten.

Das Thema Datensicherheit und die Abwehr von potenzieller verkehrsbezogener Cyberkriminalität werden im Zusammenhang mit zunehmend digitalen und automatisierten bis hin zu autonomen Verkehrssystemen und -infrastrukturen als große Herausforderung dargestellt (s. auch Abschnitt *Digitalisierung*).

Die positive Einstellung der Öffentlichkeit gegenüber einer gemeinsamen Nutzung von Daten im Verkehrsbereich wird hervorgehoben; offen sei, ob diese Offenheit auch bei der Entstehung vollständig integrierter Verkehrssysteme aufrechterhalten bleibt.

(3) Automatisierung und autonome Verkehrsmittel

Großes Potenzial – insbesondere im Hinblick auf eine Steigerung der Kosteneffizienz – wird in der Ausweitung der Automatisierung auf den gesamten Verkehrsbereich und in der Weiterentwicklung autonomer Verkehrsmittel gesehen. Folgende Prognosen werden aufgestellt:

- Autonome Züge und autonome Zug- und Bahnhofssysteme sind bis 2040 denkbar, sie könnten zusammen eine Personaleinsparung von bis zu 70 % ermöglichen.
- Autonome PKWs und Busse könnten in den 2020er Jahren häufiger zu finden und bis 2040 weit verbreitet sein, sofern die Entwicklung von der Öffentlichkeit getragen wird und ethische und technische Probleme z. B. bzgl. der Reaktion des Fahrzeugs auf unvorhergesehene Ereignisse gelöst werden. Autonome PKWs könnten einen Beitrag von 2,1 Mrd. Pfund zum britischen BIP im Jahr 2035 leisten und für 47.000 Jobs verantwortlich sein. Unfälle könnten in Folge des Umstiegs auf autonome Fahrzeuge um bis zu 30 % sinken. Unklar sei der Beitrag des autonomen Fahrens auf Staus in Ballungsgebieten. Entsprechend werden die Bereiche Software-Entwicklung, Leichtbautechnologie und Digitalisierung von Fertigungsprozessen, die bei der Entwicklung und dem Betrieb autonomer Fahrzeuge eine Rolle spielen, als vielversprechend für die britische Industrie angesehen.
- Fortsetzung der Automatisierung im Gütertransport; es wird geschätzt, dass 85 – 90 % der Luftfracht von Robotern abgefertigt werden könnten.
- Autonome LKWs und Automatisierung der Infrastruktur könnten zu Kostensenkungen sowie Reduzierung der CO₂-Emission bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung führen. In einem ersten Schritt erscheine insbesondere die Automatisierung von geografisch abgegrenzten Bereichen wie Häfen oder Distributionszentren.
- Entwicklung von Platooning, bei dem mehrere vernetzte und/oder autonome Fahrzeuge dicht beieinander fahren.
- Zu unbemannten Luftfahrzeugen (UAVs) oder Drohnen im Logistikbereich (s. Abschnitt *Luft- und Raumfahrt*).

(4) Weitere Dekarbonisierung des Güterverkehrs und Senkung der CO₂-Emissionen durch Fortschritte bei der Fahrzeugentwicklung:

- verbesserte Aerodynamik, Reifen sowie Nutzung von Leichtbaumaterialien,

- Effizienzverbesserung bei der Fahrzeugnutzung durch dynamische Routenplanung, Fahrertraining oder den Einsatz alternativer Treibstoffe wie Wasserstoff etc.,
- (5) neue Geschäftsmodelle im Gütertransport, u. a. Umsetzung von Konzepten aus der Sharing Economy zwecks gemeinsamer Nutzung von Logistikdienstleistungen und -plattformen, z. B. für die letzte Meile. Voraussetzung hierfür sei allerdings die Interoperabilität der genutzten (Daten-)Systeme.
- (6) Mobility-as-a-Service, um Menschen, insbesondere auch älteren Menschen, Komplettlösungen anzubieten und somit eine gesellschaftliche Teilhabe zu ermöglichen.

Darüber hinaus werde der weltweite Handel steigen und somit auch die Schifffahrt – für Aussagen hierzu (s. Abschnitt *Meerestechnik und Schifffahrt*).

Luft- und Raumfahrt

Auf das Themenfeld *Luft- und Raumfahrt* wird in den betrachteten Studien des *UK Foresight*-Prozesses hauptsächlich in der Studie „*Future of Mobility*“ eingegangen. Folgende Entwicklungen werden erwähnt:

- Fortschritte bei Drohnen- und Satellitentechnologien, die bei der Beobachtung illegaler Aktivitäten auf See behilflich sein könnten,
- Einsatz von Unbemannten Luftfahrzeugen (UAVs) oder Drohnen im Logistikbereich, z. B. für die letzte Meile, insbesondere in ländlichen oder städtischen Gebieten mit geringer Einwohnerdichte. Solche Lieferdrohnen könnten bis 2040 weit verbreitet sein. Verstärkt werde dieser Trend durch die Zunahme des Online-Handels,
- voraussichtliche Entwicklung von autonomen Senkrecht- und Kurzstartern.

Meerestechnik und Schifffahrt

Die Studie „*Future of the Sea*“ geht davon aus, dass angesichts einer wachsenden Weltbevölkerung Meeresressourcen immer stärker nachgefragt werden. Gleichzeitig werden zahlreiche Herausforderungen im Zusammenhang mit Klimawandel und Umweltschäden (insbes. Erwärmung der Ozeane, Versauerung und Sauerstoffverarmung der Meere und deren Konsequenzen, chemische und Kunststoffverschmutzung der Meere etc.) und der Gefahr einer Ausbeutung von Meeresressourcen (z. B. in Form des Drucks auf Fischbestände) zu meistern sein. Meeresforschung und (technologische) Innovationen in dem Bereich werden deshalb eine entscheidende Rolle spielen, wenn es darum geht, den Kenntnisstand über Meere und Meeresökosysteme zu vertiefen, den Wert des Meeres für die Menschen zu erforschen oder auch die Auswirkungen von Klimawandel sowie menschlichen Aktivitäten auf die Meere zu identifizieren und ihnen zu begegnen.

Neue Technologien werden sowohl eine stärkere Erforschung und Nutzung des Meeres ermöglichen als auch helfen, den wachsenden Bedarf an Meeresressourcen nachhaltig zu bewältigen. Gleichzeitig werden sie die Art, wie mit den Meeresressourcen und auf See gearbeitet wird, grundlegend verändern. Insbesondere Autonomie, Robotik und KI werden in diesem Zusammenhang hervorgehoben, sie könnten große Auswirkungen auf die Überwachung und Kartierung der Meere, die Wartung und den Betrieb der Infrastruktur (Häfen, Offshore-Infrastruktur etc.) sowie auf die Schifffahrt selbst haben. Folgende Technologietrends werden darüber hinaus genannt:

- Satellitentechnologie und satellitenbasierte Kommunikation werden zur wichtigen *Enabling Technology* auf See und spielen eine große Rolle sowohl bei der autonomen Schifffahrt als auch bei der Überwachung illegaler Aktivitäten auf See. Eine passende Dateninfrastruktur und der Austausch von Daten werden wichtiger; damit geht eine zunehmende potenzielle Gefährdung im Bereich Cybersicherheit einher (s. auch Abschnitt *Digitalisierung*),
- Zunahme der "intelligenten Schifffahrt", getrieben durch den wachsenden Einsatz von Sensoren und Satelliten, mit dem Zweck, die Effizienz zu steigern, die Sicherheit an Bord zu steigern sowie auch die Kosten zu senken,
- autonome Fahrzeuge auf See: vollständig autonome, unbemannte Frachtschiffe bis 2035 in Betrieb, insbesondere für Kurzstrecken- und Küstenrouten,
- zukünftige Schiffe als „schwimmende Fabriken“, bei denen eine additive und modulare Fertigung die Verarbeitung und Individualisierung von (Teil-)Produkten an Bord ermöglicht,
- Nutzung des Inshore Vehicle Monitoring Systems zum Sammeln ozeanografischer Daten sowie zur Überwachung der Fischerei,
- die marine Biotechnologie und insbesondere die Nutzung genetischer Ressourcen aus dem Meer könnten zu neuen Möglichkeiten der Nahrungsmittelproduktion führen und die Entwicklung neuer Arzneimittel hervorbringen. Gentechnische Veränderungen von Korallen könnten sie widerstandsfähiger machen und somit Korallenbleiche verhindern,
- Suche nach alternativen, emissionsärmeren Kraftstoffen für die Schifffahrt – ohne die weltweite Schifffahrt bis zum Jahr 2050 für bis zu 17 % der Kohlenstoffemissionen verantwortlich sein könnte,
- Untersuchung der Möglichkeit und ökologischen Risiken einer Steigerung des Volumens der Schifffahrt in der Arktis,
- neue Innovationen im Bereich Spezialschiffsbau vor dem Hintergrund der einzuhaltenden Umweltauflagen – z. B. Konstruktion und Herstellung von Superyachten, hochwertigen Motorbooten und Segelyachten,
- Erschließung neuer Offshore-Öl- und Gasvorkommen – trotz prognostizierten insgesamt langsamen Wachstums der gesamten Offshore-Rohölproduktion (von ca. 25 Mio. Barrel Öl-Äquivalent pro Tag im Jahr 2010 auf 28 Mio. Barrel pro Tag im Jahr 2030),
- mögliche Zunahme der Tiefseebergbau-Aktivitäten,
- Wachstum der Aquakultur,
- beträchtliches Wachstums- und Exportpotenzial bei der Unterwassertechnik,
- zunehmende Energiegewinnung aus dem Meer, z. B. Gezeiten- und Osmosekraftwerke,
- Wachstum der erneuerbaren Offshore-Energie, die als Bereich mit beträchtlichem Potenzial angesehen wird. Dies würde helfen, wirtschaftliches Wachstum zu generieren, eine britische Versorgungskette aufzubauen, Emissionen zu reduzieren und somit die britischen Klimaschutzziele zu erreichen sowie lokale Gemeinschaften zu unterstützen. Laut der Studie könnte die Offshore-Windenergie von 2010 bis 2030 mit einem prognostizierten Wachstum zwischen 1 – 8 % einer der weltweit größten Wachstumsbereiche sein. Die Anzahl der Arbeitsplätze in diesem Bereich könnte sich verzehnfachen. Großbritannien besitzt die weltweit größte installierte Offshore-Windkapazität – besondere Chancen könnten sich in Zukunft beim Export des britischen Fachwissens (z. B. bzgl. Betrieb und Wartung von Wind-Offshore-Anlagen) in wachsende Märkte in Übersee ergeben.

Die steigende Nachfrage nach Meeresressourcen wird den Wert des Meeresraums wahrscheinlich erhöhen. Es wird erwartet, dass das Wachstum im Bereich Meereswirtschaft höher ausfällt als das durchschnittliche Wirtschaftswachstum. Der Welthandel, der hauptsächlich über den Seeverkehr abgewickelt wird, könnte sich bis 2031 verdoppeln und zu stärker befahrenen Seewegen führen (auch könnten sich neue Schifffahrtsrouten durch die Arktis in Folge des Klimawandels ergeben). Dies werde laut der Studie politische Auswirkungen haben und zu einem wachsenden Wettbewerb zwischen Ländern um Meeresgebiete und -ressourcen führen.

Die Meereswirtschaft spiele schon heute eine wichtige Rolle für Großbritannien, ihre Bedeutung werde laut der Studie in Zukunft noch steigen. Auf Basis der vorhandenen Stärken in den Meereswissenschaften und -technologien wird für Großbritannien sowohl großes wirtschaftliches Potenzial gesehen als auch die Möglichkeit, eine globale Führungsrolle auf dem Gebiet einnehmen zu können. Notwendig seien deshalb der Ausbau der wissenschaftlichen, technologischen und ingenieurtechnischen Basis in Großbritannien sowie die Stärkung der Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Sektoren der Meereswirtschaft in Großbritannien, insbesondere im Hinblick auf gemeinsame Forschungs-, Infrastruktur- und Qualifikationsanforderungen.

Digitalisierung

Das Themenfeld *Digitalisierung* wird – entsprechend den Auswirkungen der Digitalisierung auf alle Lebens- und Arbeitsbereiche – in allen betrachteten Studien detailliert behandelt.

Es wird erwartet, dass der Umfang und das Tempo der Datennutzung sowie die Diversität der dadurch entstehenden neuen Anwendungen bis 2040 stark zunehmen werden. Big Data, digitale Plattformen und Methoden zur Erfassung und Verarbeitung von Daten werden einerseits als Treiber einer zunehmenden digitalen Vernetzung angesehen. Andererseits stellen sie, in Form neuer Anwendungen, das Ergebnis der fortschreitenden Digitalisierung dar. Neue Geschäftsmodelle werden in der Datenökonomie entstehen und der Trend zum Online-Handel sowie zur Online-Vernetzung von Akteuren einer Wertschöpfungskette wird sich verstetigen.

Die Digitalisierung und insbesondere die vielfältigen Vernetzungsmöglichkeiten, die sich dadurch ergeben, die Automatisierung und das Internet der Dinge werden laut den Studien verändern, wie Menschen miteinander arbeiten, kommunizieren, Geschäfte eingehen – und folglich auch, wie Infrastruktur und öffentliche Dienstleistungen konzeptioniert werden sollen. Neue Formen der sozialen Interaktion werden durch die digitale Vernetzung ermöglicht. Die Digitalisierung werde helfen, die Herausforderungen einer alternden Gesellschaft zu meistern (s. auch Abschnitt *Gesundheit, Lifestyle und Ernährung*). Vermehrt werde es zu einer Verschränkung von physischen und digitalen Anwendungen und Umgebungen kommen, z. B. im Bereich (Transport-)Infrastruktur sowie in Gebäuden (s. Abschnitte *Mobilität und Verkehr* und *Bauen und Wohnen*). Dadurch werde der Schnittstelle zwischen digitaler und realer Umgebung eine besondere Bedeutung zuteil.

Während der Großteil des Wachstums bei Daten, Rechenleistung und Plattformen aktuell kommerzieller Natur sei, werde das Potenzial von Daten und Plattformen für die öffentliche Hand hervorgehoben, sofern sie als öffentliches Gut einen großen gesellschaftlichen Nutzen bringen können.

Digitale Anwendungen auf Basis von Big Data, Datenplattformen und Kommunikationsnetzwerken sowie intelligente bzw. autonome Transport- oder Kontrollsysteme werden laut den Studien große und neue Herausforderungen mit sich bringen, was die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Systemen und Daten anbelangt. Das Thema Cybersicherheit werde eine große Bedeutung bekommen, sei es bei dem Transport und Schiffsverkehr oder Umgang mit personenbezogenen Daten. Es gelte, das

Vertrauen der Bevölkerung in den sicheren Umgang mit Daten, beispielsweise auf Datenplattformen, zu sichern, um das Potenzial neuer digitaler Anwendungen ausschöpfen zu können.

Die im September 2020 veröffentlichte *Foresight*-Studie „*Evidence and scenarios for global data systems*“ widmet sich zukünftigen Trends zur Verwaltung, Kontrolle und Nutzung von allen denkbaren, als „citizen data“ bezeichneten Daten, die im Zusammenhang mit Menschen und deren Aktivitäten stehen. Die Tatsache, dass sich Umfang und Vielfalt der erhobenen Daten rasch erhöhen und diese zudem zunehmend zwischen verschiedenen Akteuren und Netzwerken ausgetauscht werden, dies auch über nationale Grenzen hinweg, bringe laut der Studie einerseits Vorteile für Wirtschaft und Gesellschaft, berge andererseits aber große Risiken. Die Studie stellt aktuelle internationale Ansätze dar, arbeitet nationale bzw. regionale Unterschiede in den Datensystemen heraus und leitet vier mögliche Szenarien für Großbritannien mit dem Zeithorizont 2030 heraus. Die Erkenntnisse aus diesem *Foresight*-Projekt sind in die Entwicklung der im Herbst 2020 veröffentlichten Nationalen Datenstrategie⁷⁶ eingeflossen, die Großbritannien zum Aufbau einer weltweit führenden Datenökonomie verhelfen und gleichzeitig das Vertrauen der Öffentlichkeit in die Datennutzung und -verarbeitung sichern bzw. steigern soll.

Gesellschaft, Kultur und Bildung

Die Studien betonen, dass Technologie und insbesondere Digitalisierung zu sozio-technischen Innovationen führen werden, die alle gesellschaftlichen Bereiche betreffen. Die Bereitstellung öffentlicher Dienstleistungen werde davon beeinflusst sein, genauso wie Formen der sozialen Interaktion und Möglichkeiten der gesellschaftlichen und politischen Teilhabe. Neue Angebote seien in den Bereichen Kultur, Sport, Tourismus zu erwarten. Es werde entscheidend sein, inwiefern Menschen mit den neuen Möglichkeiten und Anwendungen umgehen können und ob das Risiko einer digitalen/ technologischen Kluft in der Gesellschaft vermieden werden kann. Fragen der Datensicherheit und -zuverlässigkeit sowie des Schutzes von digitalen Netzen und Infrastrukturen sollten Gegenstand eines öffentlichen Diskurses sein, um das Vertrauen in die neuen Anwendungen zu stärken. Dies gelte insbesondere im Zusammenhang mit Anwendungen, die personenbezogene Daten nutzen.

Bildung spiele eine wichtige Rolle bei der Stärkung von Wirtschaft und Wohlstand sowie der Schaffung einer inklusiven Gesellschaft. Die aufgrund von technologischer Entwicklung erforderte Mobilität und Flexibilität bei Arbeitnehmenden würden das Risiko bergen, indirekt das Bildungsgefälle und folglich das soziale Gefälle in der Bevölkerung sowie das wirtschaftliche Gefälle zwischen Regionen zu steigern: Wer über hohe Qualifikationen verfügt, ist eher in der Lage, Weiterbildungsangebote wahrzunehmen und sich somit für neu entstehende, anspruchsvollere Tätigkeiten zu qualifizieren. Dem gelte es durch eine geeignete Qualifikationspolitik entgegenzusteuern.

Fortschritte in der Genomik und insbesondere bei der Präzision und Aussagekraft von *Polygenic Risk Scores* (s. Abschnitt *Biotechnologie*) könnten dazu führen, dass schon sehr früh im Leben eines Menschen – möglicherweise bereits kurz nach der Geburt – die Wahrscheinlichkeit für das spätere Auftreten bestimmter Merkmale oder bestimmter Verhaltensweisen identifiziert werden kann. Dies könnte laut der Studie mittel- bis langfristig neue Anwendungen *möglich* machen, wenn auch sie aus ethischen und gesellschaftlichen Gründen nicht unproblematisch sind – und deshalb nur schwer prognostizierbar sei, ob sie in Zukunft tatsächlich auch umgesetzt werden. Denkbar sei beispielsweise im Bildungsbereich, dass *Polygenic Risk Score* helfen, rechtzeitig vorausszusagen, welche Schüler*innen im Laufe ihrer Schullaufbahn eine besondere Förderung benötigen könnten. Im Bereich

⁷⁶ [National Data Strategy](#) (Abruf am 12.12.2022).

der Strafverfolgung könnte die Anfälligkeit für Drogenmissbrauch oder die Wahrscheinlichkeit für strafrechtlich relevante Verhaltensweisen bestimmt werden, bevor eine Straftat begangen wird. Die daraus entstehende mögliche Stigmatisierung von Einzelpersonen stünde im Widerspruch zur dem Rechtssystem zugrundeliegenden Unschuldsvermutung. Weiterhin könnten Versicherungen auf der einen Seite *Polygenic Risk Scores* bei der Berechnung der Höhe von Versicherungsprämien zugrunde legen. Auf der anderen Seite könnte die breite Verfügbarkeit von DTC-Tests die Informationsasymmetrie zwischen Versicherern und Privatpersonen steigern, wenn Versicherungsnehmer*innen um eine genetische Veranlagung wissen, die sie aber ihrer Versicherung nicht mitteilen müssen. Die Studie geht deshalb davon aus, dass über diese potenziellen Anwendungen der Genomik ein gesellschaftlicher Diskurs geführt bzw. entsprechende Regulierungsmechanismen entwickelt werden müssen.

4.2 Norwegen

4.2.1 Nationales Innovationssystem

Norwegen ist eine konstitutionelle Monarchie mit einer parlamentarischen Demokratie. Die Gesetzgebung und Gesamtbudgetierung werden im norwegischen Einkammerparlament „Storting“ beschlossen. Es erlässt Rechtsvorschriften, genehmigt den Staatshaushalt, Pläne und Richtlinien für staatliche Aktivitäten und stimmt über Gesetzesentwürfe und Vorschläge der Regierung ab.⁷⁷

Norwegen gehört zu den Ländern, die intensiv in Forschung und Innovation investieren.⁷⁸ Im Gegensatz zu anderen Ländern, in denen der Staat eine wichtige Rolle bei der nationalen technologischen Ausrichtung in Schlüsselbereichen spielt, gibt es in Norwegen jedoch kein Spitzengremium auf höchster Regierungsebene zur Festlegung von Forschungsprioritäten. Vielmehr ist das norwegische Forschungs- und Innovationssystem durch ein so genanntes "Sektorprinzip" gekennzeichnet, das den fünfzehn norwegischen Ministerien ein hohes Maß an Autonomie bei der Formulierung und Durchführung von Innovationspolitik in ihren jeweiligen Bereichen gibt.⁷⁹

Entsprechend dieser Politik wurden in Norwegen im Bereich Forschung und Innovation inzwischen zehn so genannte „21-Plattformen“ eingerichtet, die die sektoralen F&E-Strategien ausarbeiten:

Tabelle 4-2: Sektorale F&E-Strategien in Norwegen

21-Plattform	Sector/area	URL
OG-21 (2001)	OG21 is Norway's oil and gas technology strategy for the 21st century	https://www.og21.no/strategi-og-analyser/og21-strategien-2021/?download=true
Energi21 (2008)	National strategy for research and innovation within new climate friendly energy technology	https://www.energi21.no/en/
Klima21 (2009)	Climate and environment R&D	https://www.vestforsk.no/en/project/klima-21
Maritim21 (2010)	Maritime R&D	https://www.maritim21.no/siteassets/maritim21-strategy--executive-summary3.pdf
Hav21 (2013)	Marine R&D (resource management, fisheries, aquaculture and seafood)	https://www.norwayexports.no/news/hav21-setting-the-course-for-marine-research/

⁷⁷ OECD (2017).

⁷⁸ EC (2022).

⁷⁹ Jedes Ministerium entscheidet auch, wie viele Ressourcen es für Forschung und Innovation aufwenden wird. Dies kann zu Problemen bei der horizontalen Koordination führen. S. OECD (2017), Chapter 6.

21-Plattform	Sector/area	URL
Skog 22 (2014)	Forest and timber industry R&D	https://www.slideshare.net/skog22
HelseOmsorg21 (2013)	Health and care	https://www.forskningsradet.no/arrangementer/2022/fremtiden-s-helsetjeneste/
Bygg21 (2013)	Construction	https://bygg21.no/
Process21 (2018)	Process industry	https://www.prosess21.no/
Digital21	Digitalisation	https://digitalnorway.com/prosjekter/digital21/

Quelle: eigene Recherche und Larrue, P. (2021).

Die Plattformen sollen die Ministerien dazu beraten, wie Forschung und Entwicklung zu einem bestimmten Themenfeld beitragen können, welche Prioritäten gesetzt werden sollten und wie die Innovationspolitik am besten organisiert werden könnte. Sie werden von den Ministerien mit Vertreter*innen aus Unternehmen, Forschungseinrichtungen und öffentlichen Verwaltungen besetzt und dienen auch als Stakeholder-Foren für die strategische Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren, einschließlich Interessengruppen.

Hauptakteure der Innovationspolitik Norwegens

Die wichtigsten staatlich beauftragten Agenturen im Bereich der Innovation sind **der norwegische Forschungsrat (NFR), Innovation Norway (IN)** und **die norwegische Gesellschaft für industrielle Entwicklung (SIVA)**.⁸⁰ Eine zielgerichtete Zusammenarbeit zwischen IN, NFR und der norwegischen Gesellschaft für industrielle Entwicklung (SIVA) soll sicherstellen, dass norwegischen Unternehmen umfassendere und kompetentere Dienstleistungen angeboten werden.

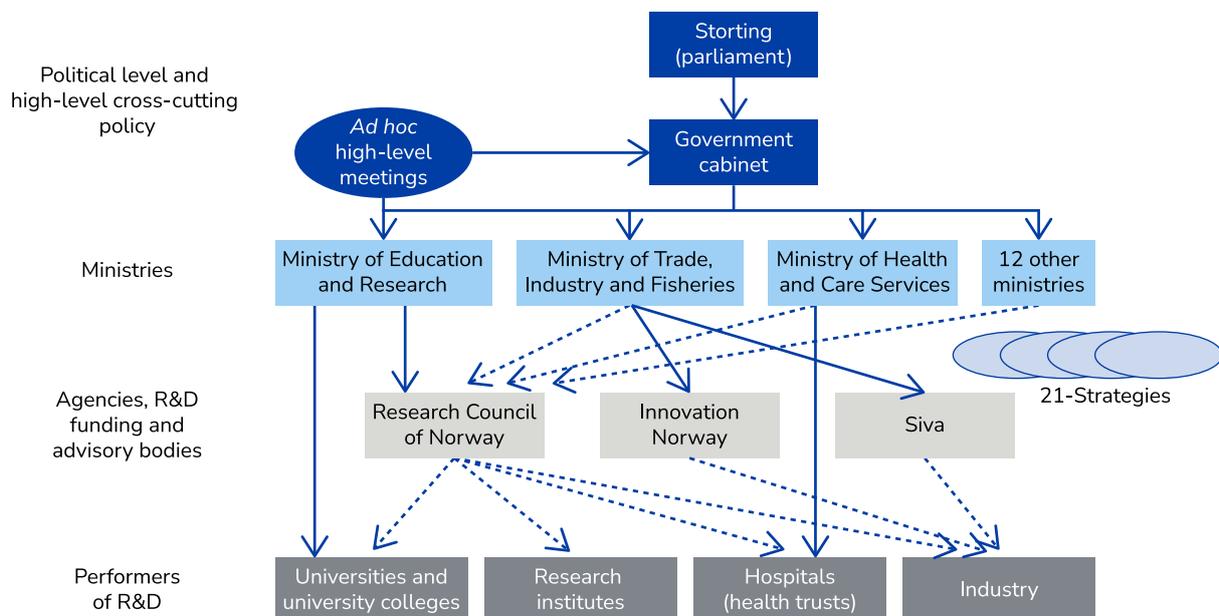


Abbildung 4-3: Übersicht des norwegischen Innovationssystems

Quelle: OECD (2017), S. 192.

⁸⁰ Technopolis (2019), S. 18 – 25.

Der norwegische Forschungsrat (NFR)⁸¹ ist das wichtigste Beratungsgremium für die Ministerien in forschungspolitischen Fragen. Er fällt in den Zuständigkeitsbereich des **norwegischen Ministeriums für Bildung und Forschung (MER)**⁸². Im Rahmen seines Auftrags zur Finanzierung und Koordinierung der Forschung und zur Förderung der norwegischen Beteiligung an internationalen Forschungs- und Innovationsaktivitäten nimmt der NFR eine Schlüsselposition im norwegischen Wissenschafts- und Innovationsystem ein. Er ist auf Forschung und technologische Innovation spezialisiert und hat eine Schlüsselrolle bei der Koordinierung der F&I-Politik in der gesamten Regierung. Der NFR führt groß angelegte Technologiedemonstrationsprogramme durch und baut FuE-Kapazitäten nicht nur in Universitäten und Instituten, sondern auch in Unternehmen auf. Bei der Wahrnehmung seiner Aufgaben sammelt er große Mengen an Daten über Forschungs- und Innovationsaktivitäten. Die NFR-Projektdatenbank enthält Statistiken und Informationen zu Forschungsprojekten, die seit 2004 vom Forschungsrat finanziert wurden. Die Strategie des NFR für 2020 – 2024 unterstreicht die Notwendigkeit von Forschung und Innovation für die Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen.⁸³

Innovation Norway (IN)⁸⁴ ist die führende Agentur der norwegischen Regierung zur Förderung von Unternehmensinnovationen und Entwicklung norwegischer Unternehmen und der Industrie. IN bietet norwegischen Unternehmen Zugang zu einem umfassenden System der Unternehmensförderung sowie zu finanziellen Mitteln für (meist nichttechnologische) Innovationen.⁸⁵

Die norwegische Gesellschaft für industrielle Entwicklung (SIVA)⁸⁶ ist ein staatliches Unternehmen, das seit 1968 eine nationale Infrastruktur für Innovation schafft, die aus Gründerzentren, Business Gardens, Katapultzentren, Innovationsunternehmen, Innovationszentren und Industrieimmobilien besteht. SIVA zielt darauf ab, starke regionale und lokale Industriecluster zu entwickeln. SIVA ist Eigentümer von insgesamt 150 Unternehmen, einschließlich Tochtergesellschaften.⁸⁷

Im Gegensatz zu anderen (nordischen) Ländern gibt es keinen expliziten starken Mechanismus auf nationaler Ebene für die Priorisierung von Zukunftsthemen. Es ist kein nationaler Forschungs- und Innovationsbeirat vorhanden und auch der Ministerpräsident hat keine koordinierende Rolle. Zwar hat die norwegische Regierung im Jahr 2014 einen „Langzeitplan für Forschung und Hochschulbildung 2015-2024“⁸⁸ als ressortübergreifende Strategie entwickelt und im Oktober 2018 überarbeitet⁸⁹; es handelt es sich dabei jedoch um eine Strategie für Forschung und Hochschulbildung, die im Wesentlichen den Hauptaufgaben des Forschungsministeriums entspricht. Die Prioritäten des Langzeitplans sind hauptsächlich mit den "21"-Sektorstrategien verbunden und reichen, aufgrund langjähriger Abhängigkeiten von Sektoren wie Öl und Gas und Meer, teilweise Jahrzehnte zurück.⁹⁰

Im Rahmen einer OECD-Studie Jahr 2017⁹¹ wurde die norwegische Innovationspolitik evaluiert. Dabei kam man zu dem Schluss, dass sie umfassend ist und die verschiedenen Bedürfnisse der Forschungs-

⁸¹ Der Nationale Forschungsrat Norwegens (Research Council Norway-RCN), *Strategy plans, Strategy Plans* (Abruf am 26.04.2023).

⁸² *Ministry of Education and Research* (Abruf am 13.03.2023).

⁸³ OECD (2017); Arnold, E. (2019); OECD (2020).

⁸⁴ *Innovation Norway* (Abruf am 27.04.2023).

⁸⁵ OECD (2017), S. 192.

⁸⁶ *SIVA* (Abruf am 26.04.2023).

⁸⁷ OECD (2017), S. 192; Arnold, E. (2019); OECD (2020).

⁸⁸ Research Council of Norway (2020).

⁸⁹ Norwegian Ministry of Education and Research (2019).

⁹⁰ UNESCO (2021).

⁹¹ OECD (2017), S. 192.

und Innovationsakteure in allen Phasen des Innovationsprozesses abdeckt.⁹² Kritisiert wird an der stark sektoralen Governance-Struktur der norwegischen Innovationspolitik, dass ein Ministerium eine F&I-Strategie entwickeln kann, ohne die anderen betroffenen Ministerien vor der erforderlichen abschließenden Anhörungsrunde zu beteiligen. Ein solches Vorgehen verhindere die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses, was in der Praxis bedeutet, dass die Strategie nicht von der gesamten Regierung getragen wird.⁹³

4.2.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Seit den 1970er Jahren wurden in Norwegen eine Reihe kleinerer und weitaus "kontextbezogenerer" Szenario-Projekte durchgeführt. Das erste Szenario-Projekt in Norwegen, das im öffentlichen Sektor eine Rolle spielte, war *Scenarios 2000* aus dem Jahr 1987 und erarbeitete drei Szenarien: "Erneuerung", "Pfleger" und "Desintegration".⁹⁴

Im Zeitraum von Juni 1998 bis Dezember 2000 führten das Ministerium für Arbeit und staatliche Verwaltung und die norwegische Regierung ein zukunftsorientiertes Szenarien-Projekt "*Norwegen 2030*" durch, um langfristige Herausforderungen für den norwegischen öffentlichen Sektor zu identifizieren.⁹⁵

Im Frühherbst 2000 veröffentlichte die norwegische Direktion für öffentliches Management (Statskonsult) einen Bericht, der den Titel „*Framtidens departement*“ (Ministerium der Zukunft) trug. Der Bericht betont die Bedeutung der strategischen Vorausschau für die norwegische Politik und die Notwendigkeit von Vorausschau-Prozessen als integratives Element der Governance.⁹⁶

Seither gab es immer wieder kleinere Trendstudien in der norwegischen FuE-Landschaft⁹⁷, doch es fehlte ein strategischeres und umfassenderes Vorausschaelement.⁹⁸

Im Jahr 2021 hat der norwegische Forschungsrats (NFR) die Organisationen RAND Europe und DAMVAD Analytics beauftragt, die aktuelle Technologieprognose-Studie "*Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway*" durchzuführen, um Trends und Triebkräfte des Wandels in fünf Schwerpunktbereichen⁹⁹ zu identifizieren und eine Reihe prioritärer Aufgaben und gezielter politischer Maßnahmen für die nächsten zehn Jahre zu ermitteln.¹⁰⁰

In diesem neun Berichte umfassenden Vorausschau-Prozess "*Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway*" wurden Empfehlungen für die nächste Forschungs- und Bildungsplanung erarbeitet.^{101, 102} Die Ergebnisse der neun Technologieprognose-Studien wurden

⁹² Eine jüngere Studie von Technopolis 2019 stimmt mit der OECD im Wesentlichen überein: Technopolis (2019), S. 18 – 25.

⁹³ Siehe Technopolis (2019), S. 18 – 25; EC/OECD (2023a); Larrue, P., Santos, R. (2022); OECD (2020); EC/OECD (2023b); sowie *Strategy plans* (Abruf am 27.04.2023).

⁹⁴ Eerola, A., Jørgensen, B. H. (2002).

⁹⁵ Øverland, E. F. (2020).

⁹⁶ Dannemand-Andersen, P., Borup, M. (2006).

⁹⁷ Zum Beispiel: *Scenarier for maritime næringer på sorlandet 2025* (2001) (in Norwegisch), *Scenarier for landbruket i Nordland* (2003) (in Norwegisch); *Foresight og scenariebygging* (2005) (in Norwegisch), alle drei Seiten (Abruf am 27.04.2023). S. auch Ahlqvist, T. et al. (2005).

⁹⁸ Jenssen, S. (2010).

⁹⁹ Gesundheit und Wohlfahrt; Ozeane; grüner Wandel Technologie und Digitalisierung sowie Zusammenhalt und Globalisierung. Siehe Norwegian Ministry of Local Government and Modernisation (2021).

¹⁰⁰ RAND, *Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway*, (Abruf am 27.04.2023). *Addressing societal challenges in Norway: Key trends, future scenarios, missions and structural measures* (Abruf am 27.04.2023).

¹⁰¹ *Beitrag des Forschungsrats zur Überarbeitung des langfristigen Plans für Forschung und Hochschulbildung, 09.07.2021* (Abruf am 27.04.2023).

¹⁰² Norwegian Ministry of Finance (2021).

als solide Evidenzbasis für die Revision des langfristigen Plans für Forschung und Hochschulbildung 2019 – 2028 genutzt.^{103, 104}

4.2.3 Norwegens großer Vorausschau-Prozess 2021: „Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway“

4.2.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie:	<i>Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway</i>
Auftraggeber:	Norwegischer Forschungsrat (Research Council of Norway, NFR) ¹⁰⁵
Durchgeführt von:	Durchgeführt von: RAND Europe und DAMVAD Analytics
Erscheinungsjahr:	2021
Zeithorizont:	2040

Struktur der Studie

Die Studie besteht aus neun Berichten (fünf thematischen und vier themen-übergreifenden), in denen die wichtigsten Maßnahmen zur Entwicklung eines resilienten Forschungs- und Innovationsumfelds in Norwegen vorgestellt werden:

Fünf thematische Berichte	Vier themenübergreifende Berichte
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ozeane¹⁰⁶ ▪ Grüner Übergang¹⁰⁷ ▪ Gesundheit und Wohlbefinden¹⁰⁸ ▪ Technologie und Digitalisierung¹⁰⁹ ▪ Kohäsion und Globalisierung¹¹⁰ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detaillierter Methodenbericht ¹¹¹ ▪ Querschnittsaufgaben¹¹² ▪ Strukturmaßnahmen ¹¹³ ▪ Summary Bericht¹¹⁴

Ziel der Studie ist es, die Entwicklung einer resilienten Forschungs- und Innovationsumgebung in Norwegen zu unterstützen. Dabei wurden in zwei Szenarien-Ansätzen¹¹⁵ (acht Szenarien bis zum Jahre 2040, siehe Exkurs 1) eine Reihe plausibler Zukunftsentwicklungen zusammengestellt.

¹⁰³ Norwegian Ministry of Education and Research (2019).

¹⁰⁴ Research Council of Norway (2021).

¹⁰⁵ The Research Council of Norway.

¹⁰⁶ RAND / Research Council of Norway (2021b).

¹⁰⁷ RAND / Research Council of Norway (2021c).

¹⁰⁸ RAND / Research Council of Norway (2021d).

¹⁰⁹ RAND / Research Council of Norway (2021e).

¹¹⁰ RAND / Research Council of Norway (2021f).

¹¹¹ RAND / Research Council of Norway (2021a).

¹¹² RAND / Research Council of Norway (2021g).

¹¹³ RAND / Research Council of Norway (2021g).

¹¹⁴ RAND / Research Council of Norway (2021).

¹¹⁵ Szenariosatz 1 beachtet Norwegen im nationalen Kontext und umfasst Themen wie Gesundheit, Wohlfahrt, Bildung, Arbeit und Qualifikationen, Kohäsion und relevante Aspekte der Technologie, Digitalisierung und deckt auch einige Aspekte im Zusammenhang mit dem grünen Übergang ab (z. B. in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft). Szenariosatz 2 konzentriert sich auf Norwegen in einem internationalen oder globalen Kontext und bezieht sich in erster Linie auf die Rolle Norwegens nach außen hin. Es deckt im Großen und Ganzen Themen im Zusammenhang mit Klima, Ozeanen, Energie, Verkehr, Lebensmitteln, biologischer Vielfalt und Globalisierung ab sowie relevante Aspekte der Technologie und Digitalisierung.

Hieraus wurden fünf **themenübergreifende Bedarfsfelder**¹¹⁶ identifiziert und **zehn strukturelle Maßnahmen** abgeleitet, um das norwegische F&I-System zukunftsfähig zu machen (siehe Exkurs 2).

Thematisch konzentriert sich die Studie dabei auf fünf Hauptbereiche:

- 1) Ozeane,
- 2) grünen Übergang,
- 3) Gesundheit und Wohlfahrt,
- 4) Technologie und Digitalisierung sowie
- 5) Globalisierung und Zusammenhalt.

Mithilfe eines partizipativen Ansatzes mit gemischten Methoden identifizierte und analysierte die Studie für alle fünf thematischen Bereiche jeweils die wichtigsten Trends, die wichtigsten Hindernisse und Treiber sowie die politischen Herausforderungen, die mit der potenziellen Umgestaltung der strategischen Bereiche verbunden sind.

Hieraus wurden zwanzig konkrete Umsetzungsmaßnahmen (Missionen) abgeleitet (siehe Exkurs 3).

Entwicklung einer resilienten Forschungs- und Innovationsumgebung in Norwegen bis 2040

Szenariosatz 1 Norwegen im nationalen Kontext

Szenariosatz 2 Norwegen im globalen Kontext



5 Bedarfsfelder

10 Strukturmaßnahmen

Strategische Bereiche

- Ozeane
- Grüner Übergang
- Gesundheit und Wohlfahrt
- Technologie und Digitalisierung
- Globalisierung und Zusammenhalt



- Die wichtigsten Trends
- Hindernisse und Treiber
- Politische Herausforderungen



20 Umsetzungsmaßnahmen (Missionen)

Abbildung 4-4: Struktur des norwegischen Foresight-Prozesses 2021

Quelle: eigene Darstellung

¹¹⁶ 1) Verbesserung des Zugangs zu der gemeinsamen Nutzung von F&I-Daten und Wissen
2) Förderung der Entwicklung eines zukunftsfähigen norwegischen Arbeitskräftepotenzials
3) Unterstützung und Förderung kollaborativer, forschungsbasierter und interdisziplinärer Innovation
4) Unterstützung der Entwicklung neuer Industrien außerhalb des Öl- und Gassektors
5) Erprobung neuer Arten von Regulierungspraktiken und -ansätzen

Exkurs 1: Zwei Szenarien-Ansätze und acht Szenarien bis zum Jahre 2040

Szenarien-Ansatz 1: "Norwegen im nationalen Kontext"

Protektionistischer Niedergang: Im globalen Kontext protektionistischer Trends hat die Technologieadoption und Innovation im norwegischen Gesundheitssektor stagniert. Trotz erhöhter nationaler Ausgaben im Gesundheits- und Sozialwesen gab es Fortschritte in der Pflege, aber bisher wurde kein integriertes System umgesetzt. Obwohl es Wachstum in einigen Sektoren wie der heimischen Lebensmittelproduktion gibt, sind Gesamtproduktivität und Arbeitskräftebeteiligung gering, und das Vertrauen in öffentliche Institutionen nimmt ab.

Gemeinsam grün werden: Nachhaltigkeit, eine inklusive Gesellschaft und die lokale Bereitstellung von Dienstleistungen stehen im Mittelpunkt von Norwegens Ansatz. Die Dezentralisierung des Gesundheitswesens und gezielte Nutzung von Technologie in verschiedenen Sektoren sollen Effizienz steigern und Abfall reduzieren. Bildung und digitale Kompetenz haben einen Fokus, um soziale Ungleichheiten zu verringern. Offene Wissenschaft ist entscheidend für den Erfolg grüner Initiativen auf nationaler und lokaler Ebene.

Langsam verändernde Gesellschaft: Norwegen hat in den letzten Jahren nur allmähliche Veränderungen erlebt. Es gab einige Erfolge im Gesundheitswesen bei der Bewältigung komplexerer Bedürfnisse einer sich wandelnden Bevölkerung und den Auswirkungen des Klimawandels. Begrenzte interdisziplinäre Zusammenarbeit, Kooperation mit der Industrie und mangelnde Vision für grüne Initiativen wecken jedoch Bedenken, dass Norwegen nicht die notwendigen Fähigkeiten haben wird, sich an zukünftige Veränderungen anzupassen.

Technologischer Weg: Norwegen setzt auf technologische Fortschritte zur Förderung des Wirtschaftswachstums und zur Unterstützung seiner Nachhaltigkeitsziele. Digitale Lösungen sind im Gesundheitswesen weit verbreitet. Die meisten Norweger haben Internetzugang, aber digitale Kompetenz und die Bereitschaft, Daten zu teilen, sind Voraussetzungen für die Teilnahme an vielen Aktivitäten. Die technologische Transformation der Beschäftigung hat auch dazu geführt, dass viele Norweger aus Städten fliehen, um den Auswirkungen des Klimawandels zu entkommen.

Szenarien-Ansatz 2: "Norwegen im globalen Kontext"

Protektionistischer Niedergang: Politische Instabilität hat zu einer schlecht performenden globalen Wirtschaft und protektionistischen Einstellungen gegenüber Handel, Forschung und Innovation geführt. Selbst in Norwegen gab es bisher wenig Fortschritte bei Initiativen zur ökologischen Wirtschaft, die sich weiterhin auf die Entwicklung der Ozeane konzentriert.

Gemeinsam grün werden: Produkte und Dienstleistungen mit geringem Umwelt- und Klimaeinfluss sind nun zentral für die globale Wirtschaft. Veränderungen werden durch Initiativen von Regierung, Industrie und Verbrauchern erreicht, wobei Norwegen in allen diesen Bereichen an vorderster Front steht. Es besteht ein Fokus auf Offenheit und Transparenz in der Forschung, die als Schlüssel für eine grüne Zukunft betrachtet wird.

Langsam verändernde Gesellschaft: Ein Mangel an klarer internationaler Vision hat bis 2040 zu langsamen Fortschritten bei Klimazielen und transformationalem Wandel durch Technologiekonvergenz geführt, da die Forschung fragmentiert bleibt. Die globalen Handelsmuster spiegeln den stetigen Machtverlust des Westens wider, während schmelzendes Eis im hohen Norden kommerzielle Chancen und Spannungen für Norwegen schafft.

Technologischer Weg: Bis 2040 ist Technologie allgegenwärtig und treibt das Wirtschaftswachstum an, verändert die Art der Beschäftigung und beeinflusst das tägliche Leben. Technologische Fortschritte haben bisher nicht die Klimaziele erreicht und bleiben ressourcenintensiv. Norwegen sucht zunehmend nach neuen internationalen Partnern für Handel und Forschungszusammenarbeit.

Exkurs 2: Zwanzig Strukturmaßnahmen in fünf Bedarfefeldern

Um die Zukunft der verschiedenen strategischen Bereiche und des breiteren F&I-Systems in Norwegen zu untersuchen, wurden in zwei Szenarien-Ansätzen (acht Szenarien bis zum Jahre 2040, siehe Exkurs im Annex) eine Reihe plausibler Zukunftsentwicklungen zusammengestellt.

Methodisch wurden die Szenarien als Instrument verwendet, um fünf vorrangige Bedarfefeldern zu identifizieren, für die wiederum zehn potenzielle strukturelle Maßnahmen abgeleitet wurden¹¹⁷:

Bedarf 1: Verbesserung des Zugangs zu und der gemeinsamen Nutzung von F&I-Daten und Wissen

Strukturmaßnahme 1: Einrichtung eines zentralen Wissens- und Datenspeichers

Strukturmaßnahme 2: Sondierung neuer Strategien zur gemeinsamen Nutzung von Daten

Bedarf 2: Förderung der Entwicklung eines zukunftsfähigen norwegischen Arbeitskräftepotenzials

Strukturmaßnahme 3: Einrichtung eines Forschungszentrums für Zukunftskompetenzen

Strukturmaßnahme 4: Flexiblere Gestaltung des Bildungssystems und stärkere Einbeziehung von unternehmerischen und innovativen Fähigkeiten in das Bildungssystem

Bedarf 3: Unterstützung und Förderung kollaborativer, forschungsbasierter und interdisziplinärer Innovation

Strukturmaßnahme 5: Förderung von Interdisziplinarität, Kooperationen und Partnerschaften durch spezialisierte Ausschreibungen

Strukturmaßnahme 6: Stärkung des Systems der Zentren für forschungsbasierte Innovation

Bedarf 4: Unterstützung der Entwicklung neuer Industrien außerhalb des Öl- und Gassektors

Strukturmaßnahme 7: Förderung weniger, aber stärkerer nationaler Industriecluster

Bedarf 5: Erprobung neuer Arten von Regulierungspraktiken und -ansätzen

Strukturmaßnahme 8: Nutzung von Politiklabors zur Förderung der Zusammenarbeit

Strukturmaßnahme 9: Zunehmende Nutzung regulatorischer Sandkästen zur Förderung von Innovationen in verschiedenen Sektoren und Bereichen

Strukturmaßnahme 10: Schaffung einer neuen Einrichtung zur Finanzierung von Forschung mit hohem Risiko oder eines Finanzierungssystems

Exkurs 3: Zwanzig vorrangige Umsetzungsmaßnahmen (Foresight-Missionen)

Foresight-Missionen sind 20 klare, messbare und zeitgebundene Ziele für Norwegens Politik. Die Umsetzung der Missionsvorlagen soll im Rahmen der Schwerpunktbereiche für F&I-Projekte erfolgen und die strategischen Bereiche des NFR und der UN-SDGs verbinden. Dabei sei es wichtig, verschiedene Akteure einzubinden und eine aktive Zusammenarbeit zwischen öffentlichem Sektor, Privatsektor, Industrie, Organisationen der Zivilgesellschaft und Bürger*innen zu fördern. Die 20 Foresight-Missionen, die sich für die fünf thematischen Bereiche ergeben, sind¹¹⁸:

¹¹⁷ RAND / Research Council of Norway (2021h).

¹¹⁸ RAND / Research Council of Norway (2021).

1. Norwegens (größte) Städte klimaneutral stellen,
2. aktive Bekämpfung der Auswirkungen von nicht übertragbaren Krankheiten in Norwegen,
3. wesentliche Verringerung der Prävalenz und Auswirkungen psychischer Erkrankungen in Norwegen,
4. Norwegen als globalen Wissensführer in der personalisierten Medizin und Gesundheitsversorgung etablieren,
5. Beschleunigung von auf den Menschen ausgerichteten, datengesteuerten Strategien zur digitalen Umgestaltung und Verbesserung des norwegischen Gesundheits- und Pflegesystems,
6. Verbesserung der Lebensqualität und Gesundheit der alternden Gesellschaft in Norwegen,
7. Beschleunigung des Übergangs zu einer nachhaltigen und kreislauforientierten Wirtschaft in Norwegen,
8. Bewahrung und Sicherung einer widerstandsfähigen und robusten Demokratie für künftige norwegische Generationen, die sich durch ein hohes Maß an Vertrauen und Transparenz auszeichnet,
9. eine führende Rolle bei der Bekämpfung der antimikrobiellen Resistenz (in Norwegen und weltweit) spielen und aktiv Fachwissen weitergeben,
10. Aufbau einer widerstandsfähigen und nachhaltigen blauen Wirtschaft in Norwegen,
11. Positionierung Norwegens als weltweit führendes Land bei der Bekämpfung der Meeresverschmutzung und Schaffung eines norwegischen Meeresökosystems, das frei von Meeresverschmutzung ist,
12. Ausbau der weltweit führenden Fähigkeiten und des Fachwissens Norwegens im Bereich der maritimen Zukunftstechnologien,
13. die verkehrsbedingten Emissionen Norwegens deutlich reduzieren,
14. Schutz, Aufwertung und Wiederherstellung der norwegischen Artenvielfalt und Verringerung ihres Verlustes,
15. Norwegen als Wissensführer bei globalen Veränderungsprozessen, Entwicklung und internationalen Beziehungen etablieren,
16. aktiver Beitrag zu gesunden, sicheren und nachhaltigen Lebensmittelsystemen,
17. eine führende Rolle in Norwegen und auf internationaler Ebene spielen, um die Nutzung erneuerbarer Energien auf nachhaltige und dauerhafte Weise erheblich zu steigern und die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich zu beschleunigen,
18. Beitrag zur digitalen Transformation Norwegens durch die Schaffung einer vielfältigen, digital und sozial qualifizierten Belegschaft,
19. aktive Förderung des digitalen Wandels auf allen Ebenen der norwegischen Regierung,
20. Sicherstellung menschenwürdiger Arbeit für alle Menschen in Norwegen.

Die folgende Grafik zeigt die kumulierte Intensität der Auseinandersetzung aller neun Berichte mit den jeweiligen 14 Themenfelder des Analyserasters.

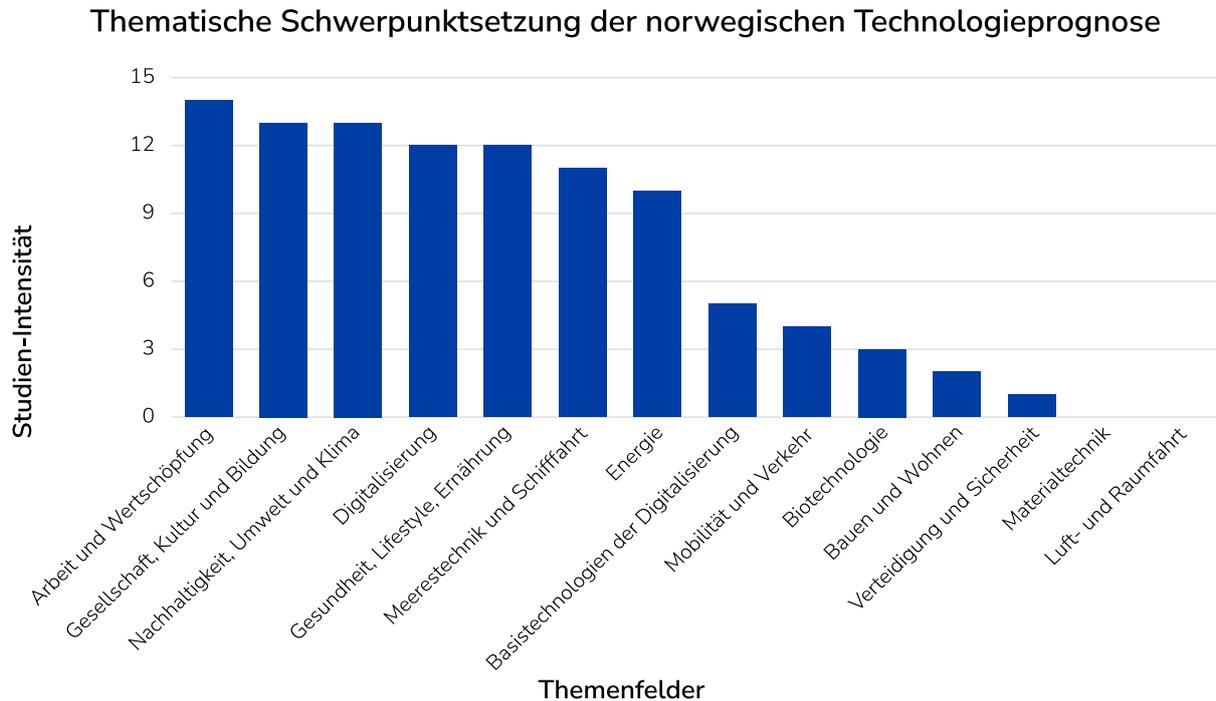


Abbildung 4-5: Thematische Schwerpunktsetzung der neun Berichte aus der norwegischen Studie (Studienintensität).

Jeder Bericht wird dahingehend bewertet, ob die einzelnen Themenfelder eingehend behandelt werden (entspricht einer „2“), weniger eingehend (entspricht einer „1“) oder ob das Themenfeld gar nicht, bzw. marginal in der Studie Erwähnung findet (entspricht einer „0“). Die einzelnen Balken entsprechen für jedes Themenfeld der Summe dieser Bewertungen über alle untersuchten Berichte.

Quelle: eigene Darstellung.

Wie bereits der Titel suggeriert, leistet die norwegische Studie die intensivste Auseinandersetzung mit gesellschaftlichen Themen. Besonders hervorgehoben werden dabei die Themenfelder *Arbeit und Wertschöpfung* sowie *Nachhaltigkeit, Umwelt* und damit verknüpft der *Energie*-Bereich. Aber ebenso *Digitalisierung, Gesundheit, Lifestyle* und *Ernährung* zählen zu den wichtigsten Themenfeldern. Besonders wichtig für Norwegen sind aufgrund seiner geografischen Lage auch die Themenfelder *Meerestechnik und Schifffahrt* und hiermit verbunden der *Energie*-Bereich.

Die Themenfelder *Materialtechnik* sowie *Luft- und Raumfahrt* werden nicht als eigenständige Bereiche betrachtet, sondern deren Anwendung wird quer zu anderen Bereichen beschrieben. Die explizite Diskussion des Themenfelds *Verteidigung und Sicherheit* finden in der norwegischen Studie von 2021 nicht statt.

4.2.3.2 Inhaltsanalyse

Energie

Im Themenfeld *Energie* werden mehrere Herausforderungen identifiziert und Empfehlungen formuliert. Insgesamt zeigt die Studie, dass Norwegen seine Position als führende Energie-Nation nutzen und gleichzeitig auf eine nachhaltigere und klimafreundlichere Zukunft hinarbeiten sollte. Dazu müssen Innovationen und Technologien in erneuerbaren Energien und Energieeffizienz vorangetrieben werden, während gleichzeitig die Verpflichtungen zur Verringerung von Treibhausgasemissionen erfüllt werden. Norwegen solle seine Ressourcen und Kompetenzen im Bereich erneuerbarer Energien ausbauen und sich weiterhin auf die Nutzung von Wasser- und Windenergie konzentrieren. Die Studie betont auch die Bedeutung der Entwicklung und Implementierung von Speichertechnologien, um die Schwankungen in der Energieproduktion auszugleichen.

Norwegen solle seine führende Position in der Öl- und Gasindustrie nutzen, um Innovationen in diesem Bereich zu fördern und gleichzeitig seine Verpflichtungen zur Verringerung von Treibhausgasemissionen zu erfüllen. Die Studie betont die Bedeutung der Entwicklung von Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung sowie der Förderung von Alternativen zu fossilen Brennstoffen, wie z. B. Wasserstoff.¹¹⁹

Norwegen ist abhängig von Einnahmen aus seinem Öl- und Gassektor, dessen Produktion langfristig rückläufig und dessen Zukunft unsicher ist. Um eine diversifizierte und nachhaltige Wirtschaft aufzubauen, solle Norwegen neue Industriezweige entwickeln, insbesondere außerhalb des Ölsektors. Das norwegische F&I-System muss daher die Entwicklung neuer Industrien, einschließlich kleiner und mittlerer Unternehmen und Start-ups, unterstützen und fördern.¹²⁰

Die Studie betont auch die Bedeutung der Energieeffizienz, insbesondere im Gebäudebereich und Verkehrssektor. Norwegen müsse seine Gebäude und Verkehrsmittel energieeffizienter gestalten und den Einsatz von Elektrofahrzeugen und anderen alternativen Antrieben fördern.

Schließlich fordert die Studie eine stärkere Zusammenarbeit zwischen Norwegen und anderen Ländern, um globale Herausforderungen im Bereich Energie anzugehen. Norwegen solle seine Erfahrungen und Kompetenzen teilen und gemeinsam mit anderen Ländern an internationalen Initiativen und Projekten arbeiten.

Die Studie empfiehlt konkrete Umsetzungsmaßnahmen, um die Nutzung erneuerbarer Energien auf nachhaltige und dauerhafte Weise erheblich zu steigern und die F&I in diesem Bereich zu beschleunigen:¹²¹

- Verbesserung der Energiesicherheit aufgrund der Substitution fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energieträger in allen Sektoren,
- Verbesserung des Zugangs zu modernen, zuverlässigen und kosteneffizienten sauberen Energiequellen für alle Bevölkerungsgruppen,
- wesentliche Verbesserung der Energieeffizienz (z. B. in der bebauten Umwelt),
- Beschleunigung von F&I und Erhöhung der Investitionen des öffentlichen und privaten Sektors in die Infrastruktur und Technologie für erneuerbare Energien,

¹¹⁹ Bedarfsfeld 4: Unterstützung der Entwicklung neuer Industrien außerhalb des Öl- und Gassektors.

¹²⁰ Strukturmaßnahme 7: Förderung weniger, aber stärkerer nationaler Industriecluster.

¹²¹ *Foresight-Mission M17*: In Norwegen und auf internationaler Ebene eine führende Rolle spielen.

- Mobilisierung des Wissensaustauschs und der sektorübergreifenden/internationalen Zusammenarbeit (z. B. zur Weitergabe von Erfahrungen, Verringerung von Doppelarbeit)
- und Bereitstellung von Vordenkerleistungen zur Verbesserung des Bewusstseins und Verständnisses.

Materialtechnik

Das Themenfeld der *Materialtechnik* wird in der norwegischen Studie nicht als Schwerpunkt fokussiert. Dennoch weist die Studie darauf hin, dass Norwegen seine Kompetenzen in der Materialtechnik weiter ausbauen und die Entwicklung neuer Materialien fördern sollte, um den Herausforderungen in verschiedenen Branchen zu begegnen. Gleichzeitig müsse Norwegen jedoch auch die Auswirkungen der Materialnutzung auf die Umwelt berücksichtigen und auf eine nachhaltigere Kreislaufwirtschaft hinarbeiten.

Die Studie betont die Bedeutung von Materialinnovationen für die Entwicklung neuer Technologien in verschiedenen Branchen. Norwegen solle sich auf die Entwicklung von Hochleistungsmaterialien konzentrieren, die in der Luft- und Raumfahrt, im Transportwesen, in der Energieerzeugung und Medizintechnik eingesetzt werden können.

Basistechnologien der Digitalisierung

Basistechnologien der Digitalisierung stehen nicht im Fokus der norwegischen Studie, jedoch wird empfohlen, dass Norwegen seine Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich künstlicher Intelligenz, Robotik und digitaler Plattformen ausbauen sollte, um seine Industrie und Wirtschaft zukunftsfähig zu machen. Die Studie fordert eine bessere Zusammenarbeit zwischen Forscher*innen, Industrie und Regierung hinsichtlich der Basistechnologien der Digitalisierung. Norwegen müsse eine Plattform schaffen, auf der Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten und ihre Kompetenzen und Ressourcen bündeln können. Die Studie betont auch die Bedeutung von Sicherheit und Datenschutz im Bereich der Basistechnologien der Digitalisierung. Norwegen müsse sicherstellen, dass die Nutzung dieser Technologien ethisch und gesellschaftlich verantwortlich erfolgt und den Schutz persönlicher Daten sowie die Sicherheit von Systemen gewährleistet.

Biotechnologie

Die Studie betont die Bedeutung der Biotechnologie für die Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen wie die Bekämpfung von Krankheiten, die Ernährungssicherheit und den Klimawandel. Norwegen solle in diesen Bereich investieren und eine Infrastruktur schaffen, die es Unternehmen und Organisationen ermöglicht, Biotechnologie zu nutzen. Es wird erwartet, dass die Biotechnologie eine wichtige Rolle in der Biomarine-Industrie spielen und die industrielle Biotechnologie zu umweltfreundlichen industriellen Verfahren und Produkten beitragen wird.¹²²

Die Studie betont auch die Bedeutung der Ethik und des Datenschutzes im Bereich der Biotechnologie. Norwegen müsse sicherstellen, dass die Nutzung dieser Technologien den Schutz persönlicher Daten und die Sicherheit von Systemen gewährleistet und ethischen Standards entspricht. Die öffentliche

¹²² RAND / Research Council of Norway (2021e).

Debatte über die Ethik und Sicherheit der Biotechnologie sollte gefördert werden, um die Bevölkerung über die Potenziale und Risiken aufzuklären.

Die Studie empfiehlt, dass Norwegen seine Kompetenzen in der Biotechnologie weiter ausbauen sollte. Dies könnte durch Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie durch eine Zusammenarbeit mit anderen Ländern und Unternehmen erreicht werden.

Arbeit und Wertschöpfung

Das Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung* sowie Bildung sind Schwerpunkte der norwegischen Studie, denn der demografische Wandel stelle eine große Herausforderung für den Zusammenhalt der norwegischen Gesellschaft dar. Gleichzeitig verändere sich die Art der Arbeit und soziale Ungleichgewichte in Norwegen nehmen zu. Viele Norweger*innen haben Berufe, die sich in den nächsten Jahrzehnten wahrscheinlich verändern oder verschwinden werden. Um dieses Problem zu lösen, seien gezielte Forschung und innovative Ideen zur Unterstützung der zukunftsfähigen Entwicklung der Arbeitskräfte in Norwegen erforderlich.¹²³

Die Studie empfiehlt die Einrichtung eines Forschungszentrums für künftige Kompetenzen, um den Kapazitätsaufbau und die Bewältigung von Herausforderungen auf dem sich wandelnden Arbeitsmarkt zu unterstützen.¹²⁴ Das Zentrum könne aktuelle Daten und Kenntnisse über den künftigen Qualifikationsbedarf bereitstellen, Arbeitnehmer*innen und Student*innen helfen, mehr darüber zu erfahren, welche Fähigkeiten benötigt werden, und Bildungsanbieter und politische Entscheidungsträger darüber informieren, wie sich die Qualifikationen verändern. Es könnte auch praktische Lösungen für einen sich wandelnden Arbeitsmarkt liefern, die Technologiebereitschaft fördern und die digitalen Kompetenzen erweitern. Ein weiterer Schwerpunkt könnte der spezifische Wert der Geistes- und Sozialwissenschaften als Teil der Innovationswertschöpfungskette sein. Das kanadische Future Skills Centre dient als Inspiration für das norwegische Zentrum.

Es wird erwartet, dass Arbeitskräfte in der Lage sein werden, schnell zwischen verschiedenen Berufsfeldern zu wechseln, was die Fähigkeit erfordert, Kompetenzen von einem Wissensbereich in einen anderen zu "übersetzen". Die Studie empfiehlt, das Bildungssystem flexibler zu gestalten und mehr Interdisziplinarität und Innovation zu fördern. Insbesondere wurde betont, dass die Integration der geistes- und sozialwissenschaftlichen Perspektive in die Innovation wichtig ist, um ein umfassenderes Verständnis der globalen Herausforderungen und des gesellschaftlichen Rahmens zu fördern.¹²⁵

Ziel sei die Förderung von integrativer, vielfältiger und menschenwürdiger Arbeit für alle Bevölkerungsgruppen in Norwegen, einschließlich der Jugendbeschäftigung, durch Verbesserung der Arbeitsbedingungen und -zufriedenheit sowie gleichberechtigten Zugang und Schaffung von produktiven Arbeitsplätzen für die Anpassung an die Digitalisierung und Automatisierung.¹²⁶

Norwegen will den Mangel an Kompetenzen schrittweise verringern, um den Menschen eine bessere Integration in die digitale Wirtschaft zu ermöglichen und gleichzeitig die Vorreiterrolle und

¹²³ *Bedarf 2: Förderung der Entwicklung eines zukunftsfähigen norwegischen Arbeitskräftepotenzials.*

¹²⁴ *Strukturmaßnahme 3: Einrichtung eines Forschungszentrums für Zukunftskompetenzen.*

¹²⁵ *Strukturmaßnahme 4: Flexiblere Gestaltung des Bildungssystems und stärkere Einbeziehung von unternehmerischen und innovativen Fähigkeiten in das Bildungssystem.*

¹²⁶ *Foresight-Mission M8: Menschenwürdige Arbeit für alle Menschen in Norwegen sicherstellen.*

Wissensführerschaft bei der Gewährleistung von Chancengleichheit und der Überwindung von Vorurteilen und systemischen Barrieren für alle Bevölkerungsgruppen zu übernehmen.¹²⁷

Die Studie empfiehlt Maßnahmen, die Menschen in die Lage versetzen, in der sich schnell entwickelnden digitalen Wirtschaft in Norwegen und weltweit zu arbeiten und sich an diese anzupassen (einschließlich der Höherqualifizierung und Umschulung von Arbeitnehmer*innen), sowie die Gewährleistung von Chancengleichheit für alle Bevölkerungsgruppen, die in der digitalen Wirtschaft arbeiten (z. B. Frauen, ethnische Minderheiten, ältere Menschen, junge Arbeitskräfte, Menschen mit Behinderungen).^{128,129}

Die Studie unterstreicht die Bedeutung von sozialer Innovation und der Schaffung sozialer Wertschöpfung, um gesellschaftliche Herausforderungen zu bewältigen und gleichzeitig wirtschaftliche Chancen zu nutzen.

Gesundheit, Lifestyle, Ernährung

In Norwegen wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um das Gesundheits- und Pflegewesen zu reformieren und zu stärken. Norwegen gibt pro Kopf mehr für Gesundheit aus als EU-Länder. Dennoch setzt die alternde Bevölkerung das Gesundheitsbudget unter Druck und die Nachfrage nach qualifiziertem Gesundheitspersonal steigt.

Die norwegische Studie, insbesondere der Bericht *“Gesundheit und Wohlergehen”*¹³⁰, betont die Bedeutung von Forschung und Innovation in der Gesundheitsversorgung und schlägt vor, dass Norwegen seine Stärken in den Bereichen Telemedizin, Personalisierte Medizin und E-Health weiter ausbauen sollte.

Die Studie betont die Relevanz von Forschung und Innovation in der Geriatrie und schlägt vor, dass Norwegen seine Stärken in diesem Bereich weiter ausbauen sollte, um die Bedürfnisse der alternden Bevölkerung zu erfüllen.

Die Studie hebt die Bedeutung von Gesundheitskompetenz und Patientenbeteiligung hervor und empfiehlt, dass Norwegen Maßnahmen ergreifen sollte, um die Selbstbestimmung und Teilhabe von Patient*innen zu fördern.

Die Studie legt nahe, dass Norwegen seine Stärken in der Ernährungsforschung und im Bereich nachhaltiger Lebensmittelproduktion nutzen sollte, um die Gesundheit der Bevölkerung zu verbessern und die Umweltauswirkungen der Lebensmittelproduktion zu reduzieren.

Die hohe Bedeutung dieses Themenfeldes wird besonders durch die Tatsache erkennbar, dass sieben der 20 vordringlichen Umsetzungsmaßnahmen (Missionen) der norwegischen Gesamtstudie den Bereich Gesundheit, Lifestyle, Ernährung betreffen:

1. *Aktives Vorgehen gegen die Auswirkungen nicht übertragbarer Krankheiten in Norwegen.* Das Ziel ist die Reduzierung der Todesfälle durch nicht übertragbare Krankheiten in Norwegen durch aktive Prävention und Behandlung von Risikofaktoren sowie die Verbesserung von Therapien und der Lebensqualität betroffener Menschen (Mission M2).

¹²⁷ *Foresight-Mission M9: Beitrag zur digitalen Transformation Norwegens durch die Schaffung vielfältiger, digital und fachlich qualifizierter Arbeitskräfte.*

¹²⁸ *Foresight-Mission M18 Beitrag zur digitalen Transformation Norwegens durch die Schaffung vielfältiger, digital und sozial qualifizierter Arbeitskräfte.*

¹²⁹ *Foresight-Mission M20 Sicherstellung menschenwürdiger Arbeit für alle Menschen in Norwegen.*

¹³⁰ RAND / Research Council of Norway (2021d).

2. *Wesentliche Verringerung der Prävalenz und der Auswirkungen psychischer Erkrankungen in Norwegen.* Das Ziel umfasst die effektive Prävention, Früherkennung, Diagnose und Behandlung psychischer Erkrankungen in Norwegen, um deren Prävalenz und Auswirkungen durch evidenzbasierte Forschung und Praxisverbesserungen zu reduzieren und die Lebensqualität betroffener Menschen in allen Bevölkerungsgruppen zu verbessern (Mission M3).
3. *Globale Wissensführerschaft in der personalisierten Medizin und Gesundheitsfürsorge.* In Norwegen ist das Ziel, durch evidenzbasierte Forschung und Praxisverbesserungen die Prävention, Früherkennung, Diagnose und Behandlung psychischer Erkrankungen zu verbessern, um ihre Prävalenz und Auswirkungen zu reduzieren und die Lebensqualität aller betroffenen Bevölkerungsgruppen zu steigern (Mission M4).
4. *Beschleunigung von auf den Menschen ausgerichteten, datengesteuerten Strategien zur digitalen Umgestaltung und Verbesserung des norwegischen Gesundheits- und Pflegesystems.* Norwegen möchte seine Stärken in datengesteuerten Technologien wie KI, maschinellem Lernen, Nanotechnologie und Biotechnologie nutzen, um die Prävention, Diagnose und Behandlung von Krankheiten zu verbessern und dabei ethischen, gesellschaftlichen und rechtlichen Herausforderungen aktiv zu begegnen und sicherzustellen, dass alle Bevölkerungsschichten davon profitieren (Mission 5).
5. *Verbesserung der Lebensqualität und Gesundheit einer alternden Gesellschaft in Norwegen.* Norwegen setzt gezielte Schwerpunktbereiche wie die Verringerung von Ungleichheiten zwischen verschiedenen Teilen der Gesellschaft, die Erhöhung der Anzahl von Fachkräften im Gesundheitsbereich für eine alternde Bevölkerung, die verstärkte Einführung von relevanten Technologien und Dienstleistungen für ein gesünderes Leben älterer Menschen und die Schaffung angemessener Unterstützungsstrukturen für alle Segmente der Gesellschaft, um sicherzustellen, dass die Menschen in Norwegen ein längeres und unabhängiges Leben in Gesundheit führen können (Mission 6).
6. *Aktiver Beitrag zu gesunden, sicheren und nachhaltigen Lebensmittelsystemen.* Norwegen strebt an, eine nachhaltige und klimaresistente Lebensmittelproduktion zu steigern, den Zugang zu sicheren und gesunden Lebensmitteln zu verbessern, Lebensmittelabfälle und -verluste zu reduzieren, Innovationen und Technologien zur Beschleunigung des Wandels der Lebensmittelsysteme zu fördern und sich als internationalen Vordenker und Wissensführer zu positionieren, um die Schaffung von wirtschaftlich, sozial und ökologisch nachhaltigen Lebensmittelsystemen zu fördern (Mission 16).
7. *Eine führende Rolle bei der Bekämpfung der antimikrobiellen Resistenz (in Norwegen und weltweit) und aktiven Weitergabe von Fachwissen.* Norwegen setzt sich für die Einrichtung von Diagnose- und Überwachungssystemen für antibiotikaresistente Infektionen ein, verringert die Nachfrage nach Antibiotika und verbessert das Bewusstsein für antimikrobielle Resistenz, während es international Erfahrungen austauscht und in Alternativen zu den derzeitigen Antibiotika investiert (Mission 9).

Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima

Der Bericht "Grüner Übergang"¹³¹ konzentriert sich auf Bereiche wie die Kreislaufwirtschaft, die Wiederverwendung von Ressourcen und neue Geschäftsmodelle für grüne Lösungen sowie

¹³¹ RAND / Research Council of Norway (2021c).

Anpassungen, die die Gesellschaft und Einzelne vornehmen müssen. Weitere Schwerpunkte betreffen Veränderungen in der biologischen Vielfalt und Nahrungsmittelproduktion sowie die Auswirkungen des Klimawandels auf die Arktis. Als erdölexportierende Nation steht Norwegen vor spezifischen Herausforderungen und Chancen im Zusammenhang mit dem grünen Übergang, die aber auch international betrachtet werden müssen.

Die Studie betont, dass der grüne Übergang durch eine stärkere Vernetzung im Energie-Ökosystem, im politischen System und in den verschiedenen Sektoren vorangetrieben werde. Grüne Innovationen und neue Technologien würden immer wichtiger, insbesondere durch Initiativen auf Stadtebene und lokal produzierte Güter. Eine aktive Bürgerschaft werde zukünftig eine größere Rolle spielen und die sozialen und verteilungspolitischen Auswirkungen des grünen Wandels würden stärker in den Mittelpunkt rücken. Auch werde die Konzentration auf die biologische Vielfalt bestehende Technologien, wie z. B. die Wasserkraft, in Frage stellen.

Die Studie sieht große Potenziale für eine verstärkte Symbiose zwischen den Sektoren (z. B. zur Wiederverwendung von Nebenprodukten und überschüssiger Energie).

Norwegen müsse sich den globalen Herausforderungen des Klimawandels und der Umweltzerstörung stellen und eine führende Rolle bei der Bewältigung dieser Herausforderungen übernehmen. Eine nachhaltige Entwicklung erfordere die Integration von Umwelt-, Wirtschafts- und Sozialpolitik sowie die Transformation der Energiesysteme, d. h. eine Stärkung der erneuerbaren Energien, eine Verringerung des Energieverbrauchs und die Einführung neuer Technologien.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, definiert die Studie drei prioritäre Umsetzungsmaßnahmen (Missionen M1, M7, M14): Norwegens (größte) Städte klimaneutral machen, den Übergang zu einer nachhaltigen und kreislauforientierten Wirtschaft in Norwegen zu beschleunigen, die norwegische biologische Vielfalt zu schützen und ihre Verschlechterung einzudämmen.

Forschung und Innovation in Norwegen sollten darauf ausgerichtet sein, die Nachhaltigkeit und den Umweltschutz zu fördern und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu reduzieren. Dabei kann Digitalisierung dazu beitragen, Ressourcen effizienter zu nutzen und eine nachhaltige Entwicklung zu fördern. Auch eine nachhaltige und umweltfreundliche Landwirtschaft müsse durch Forschung und Innovation unterstützt werden. Die Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen müssten erhalten und geschützt werden.

Bauen und Wohnen

Wenngleich das Themenfeld *Bauen und Wohnen* nicht als Schwerpunkt fokussiert wird, konstatiert die norwegische Studie, dass Norwegen seine Gebäude zukünftig energieeffizienter gestalten sollte. Es bestehe ein Bedarf an nachhaltigen und kosteneffizienten Lösungen im Baugewerbe, um den Klimawandel zu bekämpfen und die Umwelt zu schonen. Neue Technologien wie das 3D-Drucken von Gebäuden und der Einsatz von Robotern könnten dazu beitragen, den Bau von Gebäuden effizienter und ressourcenschonender zu gestalten. Die zunehmende Urbanisierung erfordere innovative Konzepte für den Wohnungsbau, um ausreichend bezahlbaren Wohnraum in Städten zu schaffen. Insgesamt sollten in der Baubranche vermehrt innovative Ansätze verfolgt werden, um den Bedarf an nachhaltigem und bezahlbarem Wohnraum zu decken und gleichzeitig den Klimawandel zu bekämpfen.

Verteidigung und Sicherheit

Eine explizite Diskussion des Themenfeldes *Verteidigung und Sicherheit* findet in der norwegischen Studie von 2021 nicht statt. Es wird jedoch im Zusammenhang mit diesem Themenfeld festgestellt, dass sich die Bedrohungen für die Sicherheit und Verteidigung Norwegens in den letzten Jahren verändert haben und es nun eine größere Bedrohung durch Cyberangriffe und hybride Bedrohungen gäbe. Die Fähigkeit Norwegens, auf Bedrohungen zu reagieren, erfordere einen verstärkten Einsatz von Technologie und Innovation. Insbesondere die Entwicklung von Technologien zur Erkennung und Abwehr von Cyberangriffen sowie zur Überwachung und Analyse von Daten sei von großer Bedeutung.

Auch solle Norwegen in eine verstärkte Zusammenarbeit mit anderen Ländern und Organisationen investieren, um Sicherheit und Verteidigung zu gewährleisten (NATO und die Europäische Union seien wichtige Partner in diesem Bereich).

Die Studie hebt insbesondere die Bedeutung der Förderung von Forschung und Entwicklung hervor, um die Fähigkeit Norwegens zur Bewältigung von Bedrohungen zu verbessern.

Mobilität und Verkehr

Die Studie "*Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway*" befasst sich mittelbar auch mit dem Themenfeld *Mobilität und Verkehr*. Die Studie betont die Bedeutung der Energieeffizienz, insbesondere im Verkehrssektor. Norwegen müsse seine Verkehrsmittel energieeffizienter gestalten und den Einsatz von Elektrofahrzeugen und anderen alternativen Antrieben fördern. Norwegen habe sich das Ziel gesetzt, bis 2025 den Verkauf von neuen Verbrennungsmotoren einzustellen. Dies erfordere eine verstärkte Investition in alternative Antriebstechnologien wie Elektrofahrzeuge, Wasserstoff- und Biokraftstoffe. Der Verkehrssektor sei einer der größten Emittenten von Treibhausgasen in Norwegen und trage somit erheblich zum Klimawandel bei. Es gebe ein großes Potenzial für den Einsatz von Elektrofahrzeugen in Norwegen, da das Land über eine hohe Elektrifizierungsrate verfügt und somit saubere Energie zur Verfügung steht.

Die Studie betont die Bedeutung von intelligenten Verkehrssystemen und der Vernetzung von Fahrzeugen, um den Verkehrsfluss zu optimieren und die Verkehrssicherheit zu verbessern. Die Förderung von öffentlichem Verkehr und umweltfreundlichen Verkehrsmitteln wie Fahrrädern und Fußgänger*innen wird als wichtiger Faktor zur Reduzierung von Verkehrsstaus und Emissionen gesehen.

Die Studie weist darauf hin, dass der Trend zur Automatisierung und Digitalisierung auch den Verkehrssektor beeinflusst. Die Entwicklung autonomer Fahrzeuge und Drohnen eröffnet neue Möglichkeiten für den Transport von Gütern und Personen. Insgesamt betont die Studie die Bedeutung von Innovation und Forschung für die Transformation des Verkehrs und die Erreichung nachhaltiger Mobilität in Norwegen.

Als konkrete Umsetzungsmaßnahmen definiert die Studie eine erhebliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen des gesamten Verkehrssektors in Norwegen (einschließlich des Land- und Seeverkehrs) und dessen vollständige Nachhaltigkeit sowie die Förderung und Investition in F&I-Aktivitäten zur Entwicklung und Einführung klimafreundlicher Technologien, Innovationen und Infrastrukturen in allen Segmenten der Wertschöpfungskette des Verkehrs (z. B. einschließlich, aber nicht beschränkt auf die umweltfreundlichere Gestaltung des Schiffs- und Seeverkehrs).¹³²

¹³² *Foresight-Mission M13: Die verkehrsbedingten Emissionen Norwegens deutlich reduzieren.*

Die Studie empfiehlt, die Forschung und Innovation im Bereich der Elektromobilität und intelligenter Verkehrssysteme zu fördern, um den Übergang zu einer nachhaltigen Mobilität zu beschleunigen. Die Studie legt auch nahe, alternative Verkehrsformen wie Fahrradfahren, Fußgängerverkehr und öffentliche Verkehrsmittel zu fördern, um die Verkehrssicherheit und die Gesundheit der Bevölkerung zu verbessern.

Die Studie fordert eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Regierung, Industrie und Forschungseinrichtungen, um diese Ziele zu erreichen.

Luft- und Raumfahrt

Die norwegische Studie enthält keine expliziten Aussagen zum Themenfeld *Luft- und Raumfahrt*. Einige der Schwerpunktthemen könnten jedoch möglicherweise mit der Luft- und Raumfahrt in Verbindung gebracht werden, wie z. B. die Förderung von Innovationen im Bereich erneuerbarer Energien.

Meerestechnik und Schifffahrt

Die Meeresindustrie und die blaue Wirtschaft sind wichtige Sektoren in Norwegen, die große Bedeutung für Exporte und Arbeitsplätze haben. Im Bericht "Ozeane"¹³³ werden Bereiche wie Fischerei, Aquakultur, Offshore-Erdölförderung und Schifffahrt untersucht, da sie als norwegische Stärkepositionen gelten. Der Klimawandel und andere anthropogene Einflüsse haben Auswirkungen auf diesen Bereich. Die Zunahme invasiver gebietsfremder Arten aufgrund der sich ändernden Temperaturen werde eine Bedrohung für die Ökosysteme darstellen.

Die Studie betont die Bedeutung von Innovation und Forschung für Norwegens Position in der Meerestechnik und Schifffahrt, um nachhaltigere Technologien zu entwickeln. Es sei notwendig, alternative Brennstoffe wie Wasserstoff und Ammoniak zu fördern, da die Schifffahrtsindustrie ein bedeutender Verursacher von Treibhausgasemissionen ist. Technologien zur Überwachung und Erforschung der Ozeane, einschließlich autonomer Schiffe und Sensoren, seien von großer Bedeutung für die Umweltüberwachung und wissenschaftliche Forschung. Es gibt einen Bedarf an mehr Daten, mehr Überwachung und besser vorhersagbaren Modellen zum Verständnis der Ozeandynamik. Auch werde die Nachfrage nach Cybersicherheitslösungen in der Meeresindustrie immer größer.

Der Bericht definiert die größten Herausforderungen für den Sektor: Schwierigkeiten bei der Futtermittelbeschaffung für Aquakultur, hohe Sicherheitsstandards für Innovationen in der maritimen Wirtschaft, begrenzter Zugang zu privatem Kapital für die Aquakulturindustrie, potenzielle Verlagerung der Nachfrage von der Öl- und Gasindustrie auf erneuerbare Energiequellen, begrenzte globale Zusammenarbeit in der Meeresforschung, geopolitische Veränderungen, qualifizierter Arbeitskräftemangel und Herausforderungen bei der Optimierung von Daten aus verschiedenen Quellen und Regionen.

Es gibt auch Ungewissheiten, wie etwa hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels und der Versauerung auf die Meere, möglicher Auswirkungen einer weltweiten wirtschaftlichen Rezession auf den norwegischen Exportmarkt, der allgemeinen Haltung zur Förderung von Öl und Gas sowie der Wechselwirkung zwischen internationaler Regulierungspolitik und Entwicklungen in der maritimen Industrie (bzw. der gesellschaftlichen Akzeptanz der Aquakultur).

¹³³ RAND / Research Council of Norway (2021b).

Zu den vordringlichsten Umsetzungsmaßnahmen zählt der Ausbau der weltweit führenden Fähigkeiten und des Fachwissens Norwegens im Bereich der maritimen Zukunftstechnologien¹³⁴. Dabei besteht jedoch die größte politische Herausforderung darin, dass Norwegen konkurrierende Interessen miteinander verbinden muss, zwischen einerseits dem Aufbau einer widerstandsfähigen und nachhaltigen blauen Wirtschaft in Norwegen¹³⁵ und andererseits der Positionierung Norwegens als weltweit führendes Land bei der Bekämpfung der Meeresverschmutzung.¹³⁶ Darüber hinaus hat Norwegen wenig politischen Einfluss auf das globale Ökosystem des Ozeans. Die Studie hebt den ganzheitlichen Charakter der Ökosysteme im Meer hervor und unterstreicht die Bedeutung internationaler Lösungen. Dabei sei eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Schifffahrtsindustrie, Regierungen und Wissenschaft erforderlich, um die Entwicklung neuer Technologien voranzutreiben.

Digitalisierung

Die Studie betont die Bedeutung von Open Data und der freien Verfügbarkeit von Informationen, um die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen zu erleichtern. Die Schaffung von Innovationszentren und -netzwerken kann dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen verschiedenen Akteuren zu erleichtern und die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen zu beschleunigen. Die Studie fordert eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen der Regierung, Wirtschaft und Wissenschaft, um die digitale Transformation in Norwegen voranzutreiben.

Der thematische Schwerpunktbericht *“Technologie und Digitalisierung”*¹³⁷ sieht großes Potenzial für Wachstum, aber auch gesellschaftliche Herausforderungen in Schlüsselbereichen wie IoT, Industriedaten, Robotik, Blockchain und KI. Die Digitalisierung werde Innovationen in vielen Sektoren unterstützen, niedrigere Produktionskosten ermöglichen und zu höherer Produktivität führen. Norwegen wird auf Technologie und Digitalisierung setzen, um seine Wirtschaft wissensbasiert zu machen. Auch wird erwartet, dass datengesteuerte Technologien und fortschrittliche Werkstoffe die Treibhausgasemissionen reduzieren, zur Verbesserung der Umwelt beitragen und zu besseren Dienstleistungen im öffentlichen Sektor führen werden. Die Studie betont, dass die Digitalisierung Innovationen im Bereich Gesundheit und Pflege unterstützen wird. Der Bericht identifiziert verschiedene politische Herausforderungen der Digitalisierung für Norwegen, wie beispielsweise die langfristigen Auswirkungen von KI, Cybersicherheit und Datenschutz sowie den freien Fluss von Daten und digitalen Diensten.

Große Herausforderungen sieht der Bericht im Zusammenhang mit der Finanzierung, Bildung, Zusammenarbeit und dem Datenzugang. Auch beschreibt er strukturelle und regulatorische Herausforderungen, die bewältigt werden müssen.

Um einen verbesserten Zugang zu und die gemeinsame Nutzung von F&I-Daten und Wissen¹³⁸ zu ermöglichen, sollen die Einrichtung eines zentralen Wissens- und Datenspeichers¹³⁹ und die Sondierung neuer Strategien zur gemeinsamen Nutzung von Daten¹⁴⁰ erfolgen.

Norwegen habe in Open Science investiert und verfüge über eine Infrastruktur wie Online-Repositorien, Datenbanken und digitale Plattformen zur Förderung von Forschungs- und

¹³⁴ *Foresight-Mission M12.*

¹³⁵ *Foresight-Mission M10.*

¹³⁶ *Foresight-Mission M11.*

¹³⁷ RAND / Research Council of Norway (2021e).

¹³⁸ *Foresight-Bedarf 1.*

¹³⁹ *Strukturmaßnahme 1.*

¹⁴⁰ *Strukturmaßnahme 2.*

Entwicklungsprojekten. Es gibt jedoch noch viel Potenzial für die Bereitstellung von Daten und Wissen über ein zentrales Daten- und Wissensrepository, das als zentrale Plattform für relevante Daten und Wissen dienen kann. In Norwegen fehlen Initiativen für den Austausch und die gemeinsame Nutzung von Daten zwischen öffentlichem und privatem Sektor. Norwegen müsse ehrgeizigere Strategien und Grundsätze für den Datenaustausch entwickeln, insbesondere im Gesundheitssektor.¹⁴¹

Konkrete Umsetzungsmaßnahmen sind zur aktiven Förderung des digitalen Wandels auf allen Regierungsebenen in Norwegen geplant.¹⁴²

Gesellschaft, Kultur und Bildung

Das überragende Thema der norwegischen Studie ist die Befassung mit gesellschaftlichen Zukunftsaspekten. Daher finden sich Aussagen zu diesem Themenfeld in fast allen der neun Berichte. Norwegen ist ein Wohlfahrtsstaat, der sich durch relativ geringe soziale Unterschiede, ein hohes Maß an Vertrauen in die öffentliche Verwaltung und eine starke Zivilgesellschaft auszeichnet. Die Studie stellt jedoch fest, dass eine alternde und sozial und kulturell heterogenere Bevölkerung zusammen mit der zunehmenden wirtschaftlichen Ungleichheit die Unterstützung und Finanzierung der Wohlfahrtsgesellschaft schwächen und die Legitimität der demokratischen Institutionen in Frage stellen können.¹⁴³

Die Studie betont die Bedeutung einer inklusiven und integrativen Gesellschaft, die auf Werten wie Respekt, Toleranz und Gleichberechtigung basiert. Norwegen müsse daher an einer widerstandsfähigen und robusten Demokratie für künftige norwegische Generationen arbeiten, die sich durch ein hohes Maß an Vertrauen und Transparenz auszeichnet.¹⁴⁴ Es sollten hierfür auch durchaus neue Arten von Regulierungspraktiken und -ansätzen erprobt werden, z. B. durch die Nutzung von Politiklabors und regulatorischen Sandkästen in verschiedenen Sektoren und Bereichen.¹⁴⁵

Die Studie fordert eine bessere Verbindung zwischen Bildung und Arbeitsmarkt und sieht einen Bedarf in der Förderung kollaborativer, forschungsbasierter und interdisziplinärer Innovation.¹⁴⁶ Dabei sei die Förderung von Interdisziplinarität, Kooperationen und Partnerschaften durch spezialisierte Ausschreibungen von besonderer Bedeutung.¹⁴⁷ Es könnte ein Finanzierungssystem, das sich auf risikoreiche Forschung konzentriert und inspirierende Erfinder*innen finanziert, ein mögliches Marktversagen abmildern.¹⁴⁸

Das norwegische Bildungssystem müsse sicherstellen, dass junge Menschen über die Fähigkeiten und Kenntnisse verfügen, die für die aktuellen und zukünftigen Anforderungen des Arbeitsmarkts erforderlich sind. Darüber hinaus müsse Norwegen ebenso die lebenslange Weiterbildung fördern, um sicherzustellen, dass die Arbeitskräfte auf Veränderungen in der Wirtschaft reagieren können. Auch eine bessere Integration von Migrant*innen und Flüchtlingen in die Gesellschaft und den Arbeitsmarkt soll sicherstellen, dass Norwegen Chancen für alle bietet, unabhängig von ihrer Herkunft oder ihrem Hintergrund.

¹⁴¹ *Foresight-Mission M5.*

¹⁴² *Foresight-Missionen M5, M18 und M19.*

¹⁴³ RAND / Research Council of Norway (2021f). sowie Bericht Soziale Herausforderungen.

¹⁴⁴ *Foresight-Mission M8: Erhaltung und Sicherung einer widerstandsfähigen und robusten Demokratie für künftige norwegische Generationen, die sich durch ein hohes Maß an Vertrauen und Transparenz auszeichnet.*

¹⁴⁵ *Bedarf 5, Strukturmaßnahmen 8 und 9.*

¹⁴⁶ *Bedarf 3.*

¹⁴⁷ *Strukturmaßnahmen 5 und 6.*

¹⁴⁸ *Strukturmaßnahme 10.*

Die Studie betont auch die Bedeutung von Kreativität, Innovation und kultureller Vielfalt für die Gesellschaft und Wirtschaft. Norwegen müsse eine unterstützende Umgebung für kreative und kulturelle Aktivitäten bieten, um die Innovation und das Wachstum zu fördern.

Schließlich betont die Studie die Bedeutung einer nachhaltigen Gesellschaft, die Umwelt und Gesundheit schützt und respektiert. Norwegen müsse weiterhin auf eine nachhaltige Entwicklung hinarbeiten und die Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele fördern.¹⁴⁹

4.3 Australien

4.3.1 Innovationssystem

Mit Gesamtausgaben für Forschung und Entwicklung (FuE) in Höhe von mehr als 24 Mrd. USD¹⁵⁰ lag Australien 2019 hinter Spanien und der Türkei auf Rang 15 – also deutlich unter dem OECD-Durchschnitt.^{151, 152} Laut Global Innovation Index (GII) 2022¹⁵³ belegte Australien im weltweiten Vergleich Rang 25.¹⁵⁴

Australien verfügt über eine gut ausgestattete wissenschaftliche Infrastruktur mit vielen renommierten Universitäten und Forschungsorganisationen. Die nationalen Forschungsprioritäten umfassen Themen wie Lebensmittelproduktion, Boden und Wasser, Transport, Cybersicherheit, Energie, Ressourcen und Gesundheit.¹⁵⁵

Im Zeitraum 2019 – 2020 waren die Investitionen der australischen Regierung in Innovation, Wissenschaft und Forschung auf 202 Programme und 13 Portfolios aufgeteilt.¹⁵⁶

Die politischen Rahmenbedingungen für Wissenschaft, Forschung und Hochschulen in Australien werden von **fünf Ministerien** bestimmt, die jeweils eigene Forschungsorganisationen und Förderagenturen haben.^{157, 158} Zusätzlich gibt es Beratergremien wie den *Commonwealth Science Council* und den *Chief Scientist*, die den Premierminister in Fragen der Wissenschafts- und Hochschulpolitik beraten.¹⁵⁹

¹⁴⁹ *Foresight-Mission M15* Etablierung Norwegens als Wissensführer bei globalen Veränderungsprozessen, Entwicklung und internationalen Beziehungen.

¹⁵⁰ kaufkraftbereinigt, Bezugsjahr 2019.

¹⁵¹ Deloitte Access Economics (2020).

¹⁵² Kooperation International, Überblick zur Bildungs-, Forschungs- und Innovationslandschaft und -politik: Australien (Abruf am 16.01.2024).

¹⁵³ Im Global Innovation Index werden nationale Innovationsleistungen weitgehend unabhängig von absoluten Größenordnungen bewertet. Wipo.

¹⁵⁴ Australian Government Department of Industry, Science and Resources (2023).

¹⁵⁵ Das Ministerium ist außerdem zuständig für die wichtigsten außeruniversitären Forschungseinrichtungen: Geoscience Australia, das Australian Institute of Marine Science (AIMS) sowie die Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO). Durch die Zusammenlegung der Ressorts für Wissenschaft mit Umwelt & Energie besteht nun auch eine Zuständigkeit für die Australian Antarctic Division - Antarctica, die Great Barrier Reef Marine Park Authority (GBRMPA) und das Office of Water Science.

¹⁵⁶ Industry Innovation and Science Australia (2021).

¹⁵⁷ Australiens regierungseigene Forschungsorganisationen und Agencies, die an die zuständigen Ministerien angegliedert sind: CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), STG (Defence Science and Technology Group), RENA (Australian Renewable Energy Agency), ANSTO (Australian Nuclear Science and Technology Organisation), GA (Geoscience Australia); BoM (Bureau of Meteorology), AAD (Australian Antarctic Division), AIMS (Australian Institute of Marine Science).

¹⁵⁸ Diese Ministerien sind das Ministerium für Industrie und Innovation, das Ministerium für Bildung und Training, das Ministerium für Gesundheit, das Ministerium für Umwelt und Energie sowie das Verteidigungsministerium.

¹⁵⁹ Mcgrath, K. (2020).

Die nationale Innovations- und Wissenschaftsagenda

Die National Innovation and Science Agenda (NISA) ist eine Initiative der australischen Regierung, die im Dezember 2015 eingeführt wurde. Sie wurde entwickelt, um Australiens Innovations- und Wissenschaftssektor zu stärken und das Land zu einer weltweit führenden Nation in den Bereichen Innovation und Entrepreneurship zu machen.¹⁶⁰

Die NISA umfasst eine breite Palette von Maßnahmen und Investitionen, die auf verschiedene Bereiche abzielen. Zu den wichtigsten Schwerpunkten der NISA gehören die Förderung von Unternehmertum und Start-ups, die Erleichterung des Zugangs zu Finanzierung, die Förderung von Forschung und Entwicklung (FuE) und die Förderung von Fachkräften und Talenten.¹⁶¹

Australische Innovations- und Wissenschaftsagenda

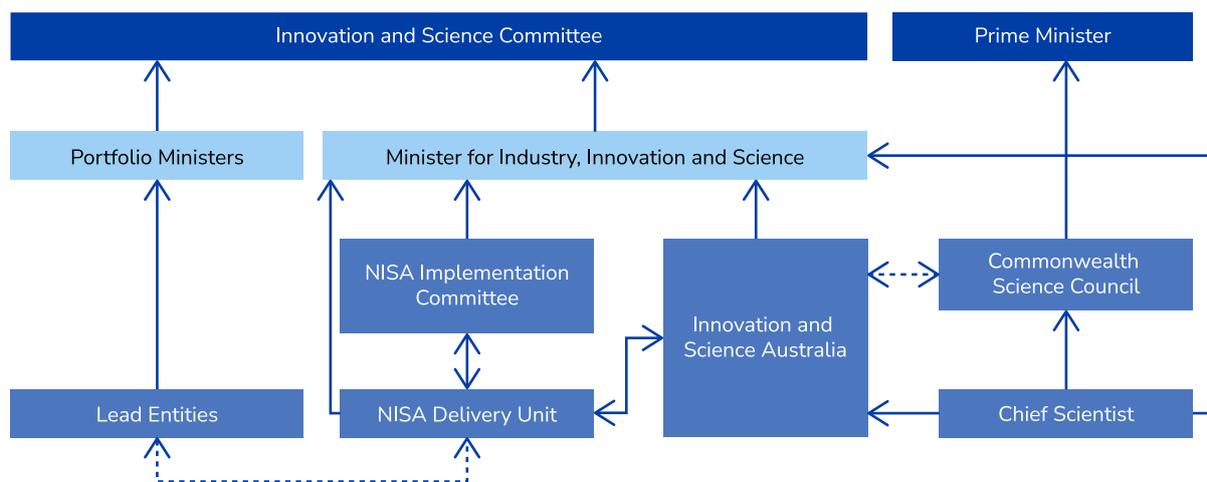


Abbildung 4-6: Organisation der australischen nationalen Innovations- und Wissenschaftsagenda

Quelle: Australian National Audit Office (2017).

An der Umsetzung der 24 NISA-Maßnahmen sind neun Ministerien mit insgesamt 16 verschiedenen Einrichtungen beteiligt.^{162, 163}

Darüber hinaus hat die Regierung eine langfristige Wissenschaftsstrategie und eine Innovationsstrategie für das Jahr 2030 entwickelt, um Australien zu einer führenden Innovationsnation zu machen. Der Aktionsplan "Prosperity through Innovation"¹⁶⁴ enthält Empfehlungen für Bildung, Industrie, Regierung und Innovationskultur. Angewandte Forschung an Hochschulen wird durch das Begutachtungssystem "Engagement and Impact Assessment"¹⁶⁵ gefördert, das die wirtschaftliche Forschungsrelevanz und Zusammenarbeit mit der Industrie berücksichtigt.¹⁶⁶

Es wird kritisiert, dass in Australien im Gegensatz zu vielen anderen fortgeschrittenen Volkswirtschaften ein kohärenter und zielgerichteter Ansatz für die Innovationspolitik fehle.¹⁶⁷

Die Grundlage des bestehenden australischen Systems sei dreißig Jahre alt und inzwischen die Summe zahlreicher, kaum koordinierter Maßnahmen mit viel Fragmentierung, Doppelarbeit und Lücken.¹⁶⁸ Im

¹⁶⁰ Australian National Audit Office (2017).

¹⁶¹ Australian National Audit Office (2017).

¹⁶² Australian Government (2015).

¹⁶³ Australian National Audit Office (2017).

¹⁶⁴ Innovation and Science Australia (2017).

¹⁶⁵ Australian Research Council (2023).

¹⁶⁶ EC/OECD (2023c).

¹⁶⁷ Green, R. (2022).

¹⁶⁸ Australian Academy of Science (2023).

Laufe der Zeit haben Ad-hoc-Maßnahmen, verschiedene Initiativen der Ministerien und sich überschneidende Prioritäten der Bundesstaaten und des Commonwealth zu einem System geführt, das sich auf 202 Programme und 13 Bundesressorts verteilt und 150 separate Haushaltsposten ausmacht.¹⁶⁹ Von vielen Politik-Beobachter*innen wird empfohlen, eine nationale Koordinierungsagentur aufzubauen, etwa nach den Vorbildern des schwedischen Vinnova, des niederländischen TNO und deutschen Fraunhofer-Instituts.¹⁷⁰

Die Debatten über die nationale Innovationspolitik haben sich darauf konzentriert, wie die australische Regierung eine Innovationskultur in der gesamten Wirtschaft verankern und unterstützen sowie Unternehmen ermutigen kann, in Innovationen zu investieren. Eine stärkere Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Forscher*innen könnte helfen, kreative Ideen in wirtschaftliche Ergebnisse umzusetzen.¹⁷¹

4.3.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Die australische Regierung hat in der Vergangenheit verschiedene Maßnahmen zur Zukunftsforschung ergriffen, wobei der Australische Wissenschafts- und Technologierat (ASTEC) und die Kommission für die Zukunft eine bedeutende Rolle spielten.¹⁷² Eine relevante Studie des ASTEC mit dem Titel „*Matching Science and Technology to Future Needs: 2010*“¹⁷³ wurde in den Jahren 1995 – 1996 durchgeführt und stieß auf umfassende Zustimmung seitens der akademischen Welt, der Wirtschaft und breiteren Öffentlichkeit. Obwohl diese Studie von großer Bedeutung war, erhielt sie von der neuen Regierung nach einem Regierungswechsel keine Unterstützung.

Nach der Auflösung des ASTEC wurde eine andere Struktur für Wissenschaft und Technologie eingerichtet, die seitdem in verschiedenen Formen existiert. Allerdings nahm das Interesse der australischen Regierung an Zukunftsforschung oder Technologiebewertung ab, abgesehen von einigen privaten Denkfabriken und vereinzelt Initiativen von Ministerien und Behörden. Die Kommission für die Zukunft, die im Jahr 1985 gegründet wurde, wurde ebenfalls im Jahr 1998 geschlossen, ungefähr zur gleichen Zeit wie der ASTEC.¹⁷⁴

Insgesamt scheint die australische Regierung seit den frühen 2000er Jahren keine spezifischen und kontinuierlichen Programme zur Zukunftsforschung aufgelegt zu haben, abgesehen von einigen Einzelinitiativen von Behörden oder Ministerien.¹⁷⁵ Darüber hinaus führen viele Unternehmen in Australien interne Vorausschau-Aktivitäten durch, und auch das **Australian Foresight Institute**¹⁷⁶ setzt sich dafür ein, Vorausschau-Methoden und -Werkzeuge in Australien zu fördern und zu verbreiten.¹⁷⁷

Im Jahr 2015 veröffentlichte die **Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation** (CSIRO)¹⁷⁸ die Ergebnisse des ersten *Australian-National-Outlook*-(ANO 2015-)Projekts¹⁷⁹. Das

¹⁶⁹ Green, R. (2022).

¹⁷⁰ Gunn, A., Mintrom, M. (2018).

¹⁷¹ EC/OECD (2023c).

¹⁷² Conway, M., Stewart, C. (2004).

¹⁷³ ASTEC (1996).

¹⁷⁴ Conway, M., Stewart, C. (2004).

¹⁷⁵ Crehan, P. et al. (2009).

¹⁷⁶ Foresight International (Abruf am 09.10.2024).

¹⁷⁷ Slaughter, R. (2023).

¹⁷⁸ Die 1916 gegründete CSIRO ist die älteste und größte Forschungseinrichtung Australiens. Sie ist primär der anwendungsbezogenen Forschung verpflichtet, was sie am ehesten mit der Fraunhofer Gesellschaft vergleichbar macht.

¹⁷⁹ CSIRO (2015).

Projekt war das erste integrierte Vorausschau-Projekt seiner Art, das eine umfassende Beziehung zwischen Wirtschaft, Gesellschaft und der Nutzung natürlicher Ressourcen in Australien herstellt.¹⁸⁰

Kurz darauf schlossen sich CSIRO und die National Australia Bank (NAB) zusammen, um den *Australian National Outlook 2019* (ANO 2019) zu erstellen. Der Umfang der ANO 2019 war wesentlich breiter als die ANO 2015, da ein größerer Schwerpunkt auf die wirtschaftliche Modellierung sowie die Berücksichtigung von Städten, Infrastruktur, Produktivität und Dienstleistungen gelegt wurde.

4.3.3 Australian National Outlook 2019

4.3.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie:	<i>Australian National Outlook 2019 (ANO 2019)</i> Die ANO 2019 besteht aus einem allgemeinen Bericht ¹⁸¹ , einem Technology Report ¹⁸² und einer Zusammenfassung ¹⁸³ .
Auftraggeber:	Das CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) und die National Australia Bank
Durchgeführt von:	CSIRO Chair David Thodey AO and Australian Economist Ken Henry AC
Erscheinungsjahr:	2019
Zeithorizont:	2060

Der ANO 2019 versucht, einen umfassenden Fahrplan Australiens bis 2060 aufzuzeigen, und untersucht die langfristigen Trends und Herausforderungen, die Australien in den Bereichen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt zu erwarten hat. Der ANO 2019 schreibt keine bestimmte politische Position vor, sondern zielt vielmehr darauf ab, einen nationalen Dialog über die verfügbaren Optionen zur Sicherung der Zukunft Australiens anzustoßen.

Das CSIRO analysierte und modellierte zukünftige Szenarien für die wirtschaftlichen, Umwelt- und sozialen Bedingungen Australiens bis 2060. Die Ergebnisse wurden dann von den Mitgliedern des ANO-2019-Projekts in acht Workshops über 18 Monate hinweg diskutiert.

Ausgehend von der Identifizierung der wichtigsten aktuellen Herausforderungen für Australien (Asiens Aufstieg, technologischer Wandel, Klimawandel und Umwelt, Demografie, Vertrauen und soziale Kohäsion) wurden zwei Szenarien für Australien im Jahr 2060 abgeleitet: „*Slow Decline*“ auf der einen Seite und „*the Outlook Vision*“ auf der anderen. Diese Szenarien basieren auf unterschiedlichen Annahmen über die politischen Entscheidungen, die Technologieentwicklung und Verhaltensänderungen in der Gesellschaft.

Das **pessimistische Szenario** beschreibt eine Welt, in der politische und gesellschaftliche Entwicklungen stagnieren und der Klimawandel weitgehend ignoriert wird. In diesem Szenario werden ein Anstieg der Emissionen und eine Verschlechterung der Lebensbedingungen erwartet.

Das **optimistische Szenario** hingegen geht davon aus, dass Australien in den nächsten Jahrzehnten eine starke wirtschaftliche Entwicklung und eine erfolgreiche Energiewende erleben wird. In diesem

¹⁸⁰ Hatfield-Dodds, S. (2015).

¹⁸¹ CSIRO (2019a).

¹⁸² CSIRO (2019b).

¹⁸³ CSIRO (2019c).

Szenario wird eine starke Regulierung des Klimawandels angestrebt und es wird in erneuerbare Energien investiert.

Damit das positive besetzte Szenario „*Outlook Vision*“ verwirklicht werden kann, werden **Handlungsmaßnahmen für fünf Bereiche** abgeleitet: Industrie, Städteentwicklung, Energie, Landwirtschaft und Kultur. Für alle fünf Bereiche werden **drei vordringliche Umsetzungsmaßnahmen** ("Hebel") mit dem höchsten Wirkungspotenzial definiert.

Darüber hinaus identifiziert der ANO 2019 **Wachstumschancen** im Gesundheitswesen, in der Landwirtschaft, im Baugewerbe, im Bergbau, in der Bildung, in der Lebensmittelherstellung, für die Cybersicherheit und im Bereich Metalle und Wasserstoff.

4.3.3.2 Inhaltsanalyse

Die folgende Grafik zeigt die kumulierte Intensität der Auseinandersetzung des *Australian National Outlook* mit den 14 verschiedenen Themenfeldern. Dabei zeigt sich ein Schwergewicht der Themenfelder *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima, Energie* sowie auch *Mobilität und Verkehr*, aber auch die Bereiche *Bauen und Wohnen, Gesellschaft, Kultur und Bildung, Arbeit und Wertschöpfung* und *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* zählen zu den stark diskutierten Themenfeldern im *Australian National Outlook 2019*.

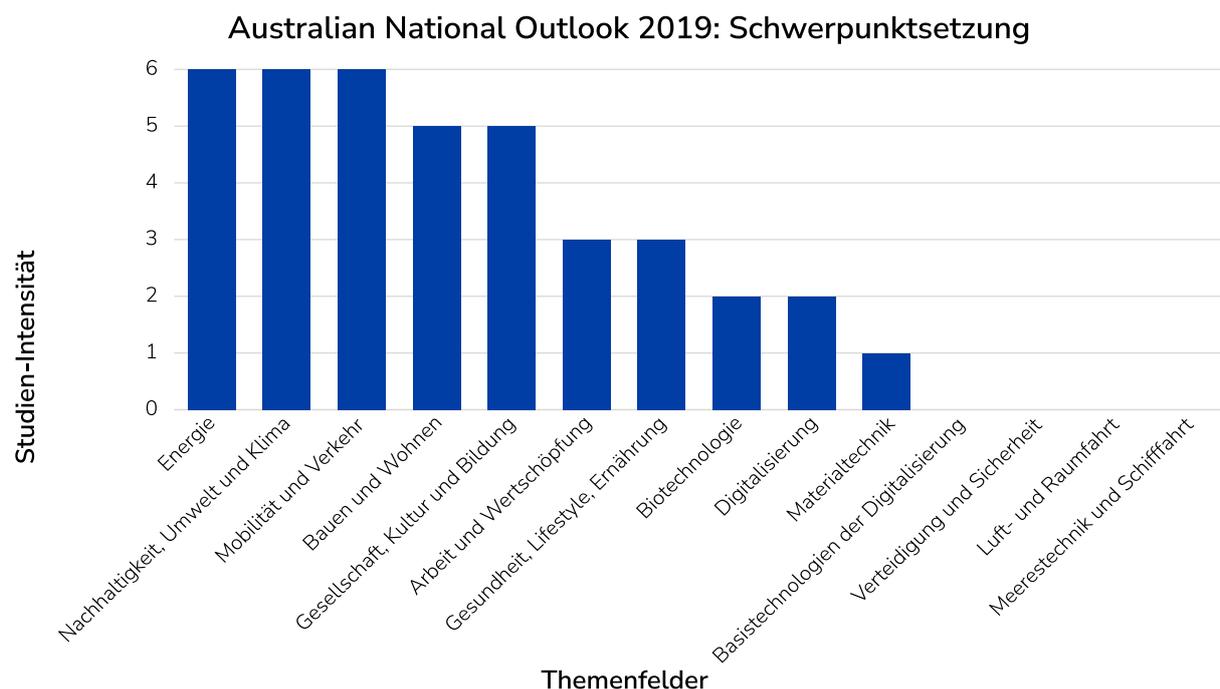


Abbildung 4-7: Thematische Schwerpunktsetzung des Australian National Outlook 2019 (Studienintensität über alle Teilberichte des ANO 2019).

Jeder der 3 Teilberichte des ANO 2019 wird dahingehend bewertet, ob die einzelnen Themenfelder eingehend behandelt werden (entspricht einer „2“), weniger eingehend (entspricht einer „1“) oder ob ein Themenfeld gar nicht, bzw. marginal in der Studie Erwähnung findet (entspricht einer „0“). Die Balken stellen für jedes Themenfeld die Summe dieser einzelnen Bewertungen über alle Teilberichte dar.

Quelle: eigene Darstellung.

Energie

Die Energiewende in Australien zielt darauf ab, eine zuverlässige, erschwingliche und emissionsarme Energiewirtschaft auf der Grundlage vorhandener Vorteile aufzubauen. Die Maßnahmen umfassen den Übergang zu erneuerbaren Stromquellen, die Verbesserung der Energieproduktivität und die Nutzung Australiens natürlicher Ressourcen zur Einrichtung von Wasserstofflieferketten und Entwicklung von Wasserstofftechnologien für Export, Energiespeicherung und andere Anwendungen. Dies soll insbesondere durch folgende drei Umsetzungsmaßnahmen ermöglicht werden:

- Bewältigung des Übergangs zu erneuerbaren Stromquellen, der durch sinkende Technologiekosten für Erzeugung, Speicherung und Netzunterstützung vorangetrieben wird. Investitionen in ein erschwingliches, zuverlässiges und emissionsarmes Elektrizitätssystem liefern mehr Elektrizität mit fast keinen Treibhausgasemissionen für Industrie, Verkehr und Haushalte.
- Verbesserung der Energieproduktivität durch den Einsatz verfügbarer Technologien zur Senkung des Energieverbrauchs in Haushalten und Industrie. Unternehmen und Haushalte können leicht verfügbare Technologien nutzen, um mehr Wert aus jeder Energieeinheit zu schöpfen, oder auf kostengünstigen, emissionsarmen Strom umsteigen.
- Entwicklung neuer emissionsarmer Energieexporte, wie Wasserstoff und Hochspannungs-Gleichstrom-Versorgung. Da die traditionellen Energieexporte gefährdet sind, kann Australien damit beginnen, Wasserstoff und Strom über Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) zu exportieren, um die rückläufigen Exporteinnahmen aus fossilen Brennstoffen auszugleichen und die Bemühungen um den Klimaschutz von Ländern mit begrenzten erneuerbaren Ressourcen zu unterstützen.

Die wichtigsten Faktoren für eine effizientere Energienutzung sind Energieeffizienz und Elektrifizierung. Australien will kosteneffiziente Technologien übernehmen, um Energieeffizienz in Haushalten, Unternehmen und Verhaltensweisen zu verbessern. Die Einführungsrate sollte den weltweit besten Praktiken entsprechen und Anreizsysteme nutzen, um die Akzeptanz zu erhöhen.

In der Zukunft sollen Industrie und Haushalte bis 2060 erschwinglichen und zuverlässigen Strom nutzen, um die Energieproduktivität zu steigern. Zum Beispiel könnten Haushalte auf kohlenstoffarmen Strom umsteigen, was die elektrische Raumheizung bis zu sechsmal energieeffizienter als Gasheizungen macht. Elektrofahrzeuge werden voraussichtlich nach 2025 die billigste Transportform sein und bis 2040 den Markt dominieren.

Durch Energieeffizienz und Brennstoffwechsel kann die Wirtschaft mehr als das Dreifache des derzeitigen Outputs pro Energieeinheit produzieren, was sie wettbewerbsfähiger macht. Eine höhere Energieproduktivität kann auch Engpässe, wie potenzielle Gasengpässe, reduzieren. Die Gasnachfrage der Wirtschaft kann in Zukunft deutlich sinken. Jedoch könnte die Gasnachfrage an der Ostküste das Angebot übersteigen, was zu Preiserhöhungen und der Erschließung neuer Gasvorkommen oder dem Import von Gas aus anderen Regionen führen könnte. Die Planung des zukünftigen Energiebedarfs wird wichtig sein, um teure Optionen zur Bewältigung von Gasmängeln zu vermeiden.

Im Zuge des weltweiten Übergangs zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft wird die Nachfrage nach Australiens traditionellen Energieexporten, wie z. B. Thermalkohle, voraussichtlich zurückgehen. Australiens umfangreiche natürliche Ressourcen, nämlich Sonnen- und Windenergie, fossile Brennstoffe und verfügbare Flächen, eignen sich gut für die Einrichtung von Wasserstofflieferketten. Beispiele für Möglichkeiten sind der Export von emissionsarmem Wasserstoff, die Nutzung von Wasserstoff für die Energiespeicherung, die Entwicklung und Herstellung von

Wasserstofftechnologien, wie Elektrolyseure und Brennstoffzellen, die durch die Einführung von Automatisierungstechnik ermöglicht würden.¹⁸⁴

Darüber hinaus hat Australien dank seiner natürlichen Ressourcen und seines Know-hows in der LNG-Technik das Potenzial, ein großer Wasserstoffexporteur zu werden. Die Internationale Energieagentur (IEA) hat dieses enorme Potenzial Australiens für die Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien erkannt und geschätzt, dass Australien fast 100 Mio. Tonnen Öläquivalent an Wasserstoff produzieren könnte. Das entspricht etwa 3 % des weltweiten Gasverbrauchs. Ein Bericht der Australischen Agentur für erneuerbare Energien (ARENA) schätzt die Nachfrage nach Wasserstoffexporten bis 2040 auf 2,6 bis 13,4 Mrd. Dollar, mit voraussichtlich weiterem Wachstum. Dies würde zu einem wirtschaftlichen Beitrag von über 4 Mrd. Dollar führen und über 7.000 Vollzeitarbeitsplätze schaffen.

Materialtechnik

Es wird erwartet, dass die Nachfrage nach Materialien, die in erneuerbaren Energiesystemen, Elektrofahrzeugen und anderen "grünen" Technologien verwendet werden, in Zukunft stark steigen wird. Australien hat eine Chance, ein wichtiger Lieferant von Rohstoffen für diese Branchen zu werden.

Die meisten oberflächennahen, hochwertigen Mineralienvorkommen wurden bereits identifiziert und erschlossen, so dass neue Geräte und Dienstleistungen für Explorationsunternehmen in Australien und Übersee erforderlich sind, um neue Reserven tiefer unter der Erdoberfläche zu finden. Zu den Zukunftspotenzialen werden gezählt:

- Entwicklung neuer Geräte und Dienstleistungen, um tiefer unter der Erdoberfläche neue Mineralienvorkommen zu erschließen,
- fortgeschrittene Sensortechnologien und haltbarere und schnellere Bohrausrüstung, um Mineralien unter der Erdoberfläche besser aufzuspüren und zu charakterisieren,
- neue Targeting- und Entscheidungsunterstützungsplattformen, die Einblicke in die Vorhersage, Navigation und Erkennung von Ressourcen im Untergrund vor dem Bohren ermöglichen,
- Aufbau einer konsolidierten lokalen Wertschöpfungskette für Batterien durch den Abbau und die Verarbeitung von Rohstoffen sowie die Entwicklung und Montage von Batteriezellen oder -packs.

Angesichts des wachsenden Bedarfs an Energiespeichern verfügt Australien über die Fähigkeiten und Ressourcen, um eine konsolidierte lokale Wertschöpfungskette für Batterien zu entwickeln.

Zukunftspotenziale sieht der ANO 2019 hier in dem Abbau von Rohstoffen und der Verarbeitung zu höherwertigen Metallen wie Lithium, Nickel und Zink, bis hin zur Entwicklung und Montage von Zellen oder Batteriepacks, sowie im Aufbau einer Batterierecyclingindustrie aufgrund der Ungewissheit über das Ausmaß der Reserven an relevanten Metallen.

Basistechnologien der Digitalisierung

Die australische Studie enthält keine expliziten Aussagen zu diesem Themenfeld.

¹⁸⁴ Bruce et al. (2018).

Biotechnologie

Die Weltbevölkerung und ihr Bedarf an Nahrungsmitteln wachsen schnell, die landwirtschaftliche Nutzfläche jedoch nicht. Effizientere und fortschrittlichere landwirtschaftliche Techniken sind erforderlich, um die Bodenressourcen der Welt optimal zu nutzen.

Zukunftspotenziale im Bereich der Lebensmittelherstellung sieht der ANO 2019 im Einsatz von Biotechnologie, um effizienter und nachhaltiger zu produzieren und den steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln zu decken. Die Biotechnologie könne dazu beitragen, Pflanzen zu entwickeln, die resistent gegen Wurzelkrankheiten und tolerant gegenüber Bodenbeschränkungen, Trockenheit, Frost und hohen Temperaturen sind.

Arbeit und Wertschöpfung

Es wird erwartet, dass die Produktivität in Australien bis zum Jahr 2060 kontinuierlich steigt. Das ist wichtig, weil eine höhere Produktivität bedeutet, dass das Land mehr Waren und Dienstleistungen produzieren kann. Dafür ist es wichtig, neue Technologien einzuführen und gut mit ihnen umzugehen. Technologie hilft den Menschen dabei, effizienter zu arbeiten. Die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Bereichen wie Unternehmen und Forschungseinrichtungen ist auch wichtig, um Technologien weiterzuentwickeln und zu verbreiten. Leider zeigt Australien in manchen Bereichen eine geringere Zusammenarbeit als andere Länder. Das könnte erklären, warum das Land weniger neue Technologien nutzt. Es ist aber wichtig, dass Australien mithält, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Dazu gehört auch die Ausbildung der Menschen, damit sie gut mit Technologie umgehen können. Es ist gleichfalls relevant, dass Menschen kreative und soziale Fähigkeiten entwickeln, die durch die Technologie nicht ersetzt werden können. Das alles hilft, die Produktivität zu steigern und das Land voranzubringen.

Um eine produktive, integrative und widerstandsfähige Wirtschaft zu ermöglichen, bedarf es laut ANO 2019 des verstärkten Einsatzes von Technologie zur Steigerung der Produktivität in bestehenden und neuen Branchen. Dieser Wandel soll insbesondere durch folgende Umsetzungsmaßnahmen ermöglicht werden:

- weltweit führende Technologien übernehmen und in globale Wertschöpfungsketten einsteigen, um die Wettbewerbsfähigkeit der Industrien zu erhalten,
- das Humankapital stärken, indem Fähigkeiten durch Bildung, Managemententwicklung und lebenslanges Lernen gefördert werden,
- Investitionsbedingungen verbessern und die natürlichen Ressourcen sowie das Humankapital Australiens besser nutzen, um exportorientierte Wachstumsbranchen zu fördern und Wettbewerbsvorteile auf globalen Märkten zu schaffen.

Gesundheit, Lifestyle, Ernährung

Da die Bevölkerung altert, können die Stärken der australischen Gesundheitsbranche genutzt werden, um Technologien und Dienstleistungen zu entwickeln, die Krankheiten vorhersagen und verhindern, die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen verbessern und die Belastung der Finanzierung der Gesundheitsversorgung verringern. Dieser Wandel soll insbesondere durch folgende Umsetzungsmaßnahmen ermöglicht werden:

- prädiktive Datenplattformen und Analysen, die medizinische Daten mit Informationen über die Ernährung, das Aktivitätsniveau und das physische und soziale Umfeld des/der Einzelnen kombinieren,
- Präzisionsinterventionen, die sich auf neuartige und maßgeschneiderte Ernährungs- und Lebensstilstrategien stützen,
- die Verwendung von Biosensoren und Blockchain in der Landwirtschaft, um die Rückverfolgbarkeit eines Lebensmittels und Biosicherheit zu garantieren,
- den Einsatz fortschrittlicher Technologien zur Nährstoffextraktion und Verlängerung der Lebensdauer von Lebensmitteln, um das Bedürfnis des Agrarsektors nach einer besseren Nutzung der angebauten und produzierten Lebensmittel zu erfüllen.

Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima

In Australien gibt es Chancen, Kohlenstoff in Wäldern zu produzieren, indem Bäume angepflanzt werden, die Kohlenstoff aufnehmen und speichern können. Das bringt Landbesitzer*innen Geld ein und stärkt die Wirtschaft der Landwirtschaft. Diese Wälder werden in die Landwirtschaft integriert, um die Umwelt zu schützen. Die Gemeinschaft, insbesondere die Menschen in den Regionen, werden dabei einbezogen. Diese Veränderungen werden durch internationale Maßnahmen zur Begrenzung des Klimawandels vorangetrieben. Die Integration von Wäldern in die Landwirtschaft steigert den Wert der gesamten Produktion und macht die landwirtschaftlichen Gebiete widerstandsfähiger.

Maßnahmen wie Schutzstreifen und Kohlenstoffspeicherung im Boden in der Landwirtschaft unterstützen die bestehende Produktion, reduzieren Emissionen und fördern durch Investitionen in die Umwelt neue Einkommensmöglichkeiten, während eine nationale Einigung entscheidend ist, um Australiens natürliche Schätze langfristig zu erhalten. Die Nutzung erneuerbarer Ressourcen für die Nahrungsmittel-, Faser- und Brennstoffproduktion soll mit dem Schutz der biologischen Vielfalt und der Ökosystemgesundheit verbunden werden. Dieser Wandel soll insbesondere durch folgende Umsetzungsmaßnahmen ermöglicht werden:

- Investitionen in die Produktivität: Nutzung der starken australischen Landwirtschaft und Steigerung der Nahrungsmittel- und Faserproduktivität durch den Einsatz digitaler und genomischer Technologien sowie durch eine effizientere Nutzung natürlicher Ressourcen,
- Nutzung aufstrebender Märkte: Beteiligung an neuen Agrar- und Umweltmärkten von globaler Bedeutung, um alternative Einkommensquellen auf weniger produktiven Flächen zu erschließen, wie z. B. die Kohlenstoffaufforstung,
- die Gesundheit der Ökosysteme wiederherstellen: erkennen, dass die Produktivitätsziele der Landwirtschaft nicht erreicht werden können, wenn die Gesundheit der Ökosysteme nicht erhalten, wiederhergestellt und in sie investiert wird.

Bauen und Wohnen

Der urbane Wandel zielt darauf ab, gut vernetzte und erschwingliche Städte von Weltklasse zu schaffen, die Zugang zu hochwertigen Arbeitsplätzen, Lebensstilangeboten und Bildung gewährleisten. Dazu gehören eine dichtere Planung von Hauptstädten mit mehreren Zentren, gemischte Flächennutzungszonen und Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur, um Zersiedelungen

und Verkehrsstaus zu reduzieren. Dieser Wandel soll insbesondere durch folgende Umsetzungsmaßnahmen ermöglicht werden:

- die Planung von Städten mit mehreren Zentren,
- die Diversifizierung von Wohnraum und Flächennutzung sowie
- die Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur, um den Anforderungen einer hochwertigen urbanen Lebensweise gerecht zu werden,
- die Einführung digitaler Technologien, Verbesserung von Baumaterialien und Automatisierung im Baubereich.

Die Diversifizierung von Wohnraum und Flächennutzung ist ein zentrales Ziel in der Stadtplanung. Eine Mischung aus Wohnungen, Dienstleistungen, Arbeitsplätzen und Grünflächen in kleineren Gebieten schafft vielfältige lokale Bezirke, die Menschen mit unterschiedlichen Berufen und Einkommen einen besseren Zugang zu Arbeitsplätzen, Dienstleistungen und Erholungsmöglichkeiten bieten. Der ANO 2019 empfiehlt eine höhere Dichte und eine heterogene Mischung von Wohnformen, um eine größere räumliche Nähe zu städtischen Arbeitsplätzen und Annehmlichkeiten zu ermöglichen. Um solche Entwicklungen umzusetzen, sollten Erfahrungen aus dem Ausland genutzt werden, indem beispielsweise durch gute Planungsentscheidungen höhere Grundstückswerte in öffentliche Räume und Einrichtungen investiert werden.

Da das Baugewerbe einen bedeutenden Beitrag zum BIP leistet, muss sich Australien neue Technologien zu eigen machen und ist gut positioniert, um zu deren Entwicklung beizutragen. Zu den Zukunftspotenzialen zählt der ANO 2019:

- Digitale Technologie: Einführung und Entwicklung virtueller Planungswerkzeuge, wie des Internet der Dinge (IoT), und Analysen für die Projektverfolgung, das Anlagenmanagement, Elemente der Lieferkette und die Personalproduktivität,
- Werkstofftechnologie: Verbesserung der Beton- und Stahlkonstruktion, Entwicklung leichter und flexiblerer Werkstoffe und Entwicklung alternativer Werkstoffe (z. B. Entwicklung neuer Kunststoffe als Ersatz für derzeitige Baumaterialien, die leichter, stärker und umweltfreundlicher sind),
- Technologie zur Bauautomatisierung: additive Konstruktion oder 3D-Druck von Baumodulen, autonome Technologien für Maschinen, Drohnentechnologie für die Vermessung und den Einsatz von Robotern für sich wiederholende Aufgaben wie Maurer- und Betonarbeiten.

Verteidigung und Sicherheit

Die australische Studie enthält keine expliziten Aussagen zu diesem Themenfeld.

Mobilität und Verkehr

Die *Outlook Vision 2060* strebt eine Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur an, um die Anzahl der zurückgelegten Fahrzeugkilometer pro Kopf in Städten deutlich zu reduzieren. Dies soll durch Veränderungen in der Art der Fortbewegung erreicht werden, wie z. B. häufigeres Zufußgehen, Fahrradfahren und die Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs. Auch die Schaffung von "30-Minuten-Städten", in denen Arbeit, Einkaufen, soziale Kontakte und Dienstleistungen näher beieinander liegen,

und die verstärkte Nutzung von Massentransportmitteln wie Zügen, Stadtbahnen und autonomen Fahrzeugen spielen eine wichtige Rolle.

Die Erfassung und Nutzung von Daten sollen die Optimierung des Verkehrsflusses und die Vorhersage von Verkehrsanweisungen unterstützen. Autonome Fahrzeuge und Ridesharing bieten Effizienzvorteile, erhöhen die Kapazität der Straßen und ermöglichen die Nutzung von öffentlichem Raum.

Der Übergang zu Elektrofahrzeugen wird zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors und zur Verbesserung der Luftqualität beitragen. Diese Verbesserungen müssen jedoch koordiniert erfolgen und die Kosten berücksichtigen.

Die Umsetzung dieser Verkehrstechnologien kann helfen, Ungleichgewichte im Verkehr zu verringern und preiswerte und zuverlässige Verkehrsmittel für Menschen aller Schichten zugänglich zu machen.

Luft- und Raumfahrt –

Die australische Studie enthält keine expliziten Aussagen zu diesem Themenfeld.

Meerestechnik und Schifffahrt –

Die australische Studie enthält keine expliziten Aussagen zu diesem Themenfeld.

Digitalisierung

Die australische Cybersicherheitsbranche kann eine wichtige wachstumsfördernde Aktivität sein, die Unternehmen dabei hilft, ihre digitalen Angebote zu sichern, Vertrauen aufzubauen und sich international zu differenzieren. Als zukünftige Herausforderungen nennt der ANO 2019:

- Australische Hersteller*innen, die maßgeschneiderte Lösungen entwickeln, benötigen Zugang zu Kundendaten, einschließlich persönlicher Informationen oder geistigen Eigentums; Cybersicherheitslösungen sind erforderlich, um die Kanäle für einen sicheren Datenaustausch zu verbessern.
- Datengesteuerte Entscheidungen beeinflussen den physischen Betrieb von Minenstandorten durch in Australien entwickelte Technologie; Cybersicherheitslösungen müssen sicherstellen, dass die Betriebstechnologie gegen böswillige Angriffe geschützt ist, um die physische Sicherheit auf einem Minenstandort zu verbessern.

Gesellschaft, Kultur und Bildung

Der Kulturwandel in Australien zielt darauf ab, eine inklusive und widerstandsfähige Kultur zu fördern, die durch Engagement, Neugier, Zusammenarbeit und Lösungsorientierung geprägt ist. Maßnahmen umfassen die Wiederherstellung von Vertrauen und Respekt in Institutionen, die Förderung einer gesunden Risikobereitschaft und die Einbeziehung sozialer und ökologischer Ergebnisse in Entscheidungsprozesse. Dieser Wandel soll insbesondere durch folgende Umsetzungsmaßnahmen ermöglicht werden:

- Wiederherstellung des institutionellen Vertrauens: verdienter Respekt für wirtschaftliche, politische und soziale Institutionen, der dem jüngsten Vertrauensschwund entgegenwirkt und eine Lizenz zum Handeln schafft,
- Förderung einer gesunden Risikobereitschaft: eine gesunde Kultur der Risikobereitschaft und Neugier zur Unterstützung von Innovationen in allen Bereichen der australischen Wirtschaft und Gesellschaft,
- Ausweitung der Entscheidungsfindung: Anerkennung der Bedeutung sozialer und ökologischer Erkenntnisse in den Entscheidungsfindungsprozessen von Regierung und Industrie,
- Erhöhung der Chancengleichheit: Damit alle Kinder die gleichen Chancen haben und gut lernen können, müssen Bildungswege fair und für alle zugänglich sein. Besonders benachteiligte Gruppen wie Aborigines und Torres-Strait-Islander-Kinder haben leider oft weniger Chancen im Schulsystem. Es ist wichtig, diese Ungleichheiten zu verringern und die Auswirkungen des sozialen Gefälles in den Bereichen Gesundheit und Bildung anzugehen,
- Nutzung neuer Technologien im Bildungsbereich: Der Bildungssektor verändert sich rasant und ist zum drittgrößten Exportgut Australiens geworden. Neue Technologien müssen genutzt werden, um dieses Wachstum fortzusetzen und damit Australien im globalen Kontext relevant bleibt,
- Veränderungen in der Art und Weise, wie Menschen mit Computern interagieren, und die Einführung von maschinellem Lernen, Big Data, Augmented Reality und digitalen und Online-Lernplattformen werden das Bildungserlebnis verändern, und die Produktion der damit verbundenen Software bietet australischen Entwickler*innen eine Chance.

4.4 Malaysia

4.4.1 Nationales Innovationssystem

Die Entwicklung Malaysias seit der Unabhängigkeit im Jahr 1957 ist als eine große Erfolgsgeschichte in Asien anzusehen.¹⁸⁵ Mit einer Bevölkerung von 30,3 Millionen, einem Bruttoinlandsprodukt (BIP) von 292,2 Mrd. US-Dollar und einem Pro-Kopf-BIP von 26.314 US-Dollar (in Kaufkraftparität) im Jahr 2016 gilt Malaysia als ein Land im oberen Bereich der Länder mit mittlerem Einkommen. Das Land verzeichnete seit den 1980er Jahren beeindruckende Wirtschaftswachstumsraten und hat sich, unterstützt durch ausländische Direktinvestitionen, erfolgreich von einem Exporteur von Primärerzeugnissen zu einem wichtigen Lieferanten von Industrieerzeugnissen entwickelt.¹⁸⁶

Bei wissenschaftlichen Publikationen nimmt Malaysia bezogen auf das Jahr 2022 weltweit Rang 23 ein, direkt hinter Taiwan und bspw. vor Belgien auf Rang 27, während das Land 1996 noch auf Rang 50 zwischen Nigeria und Venezuela lag.¹⁸⁷

Eine Übersicht des Innovationssystems in Malaysia wird in Abbildung 4-8 wiedergegeben.

¹⁸⁵ OECD (2016), S. 15.

¹⁸⁶ Narayanan, S., Yew-Wah, L. (2018), S. 128.

¹⁸⁷ SCImago, (o. J.). SJR, [SCImago Country Rank 2022](#) (Abruf am 01.02.2024).

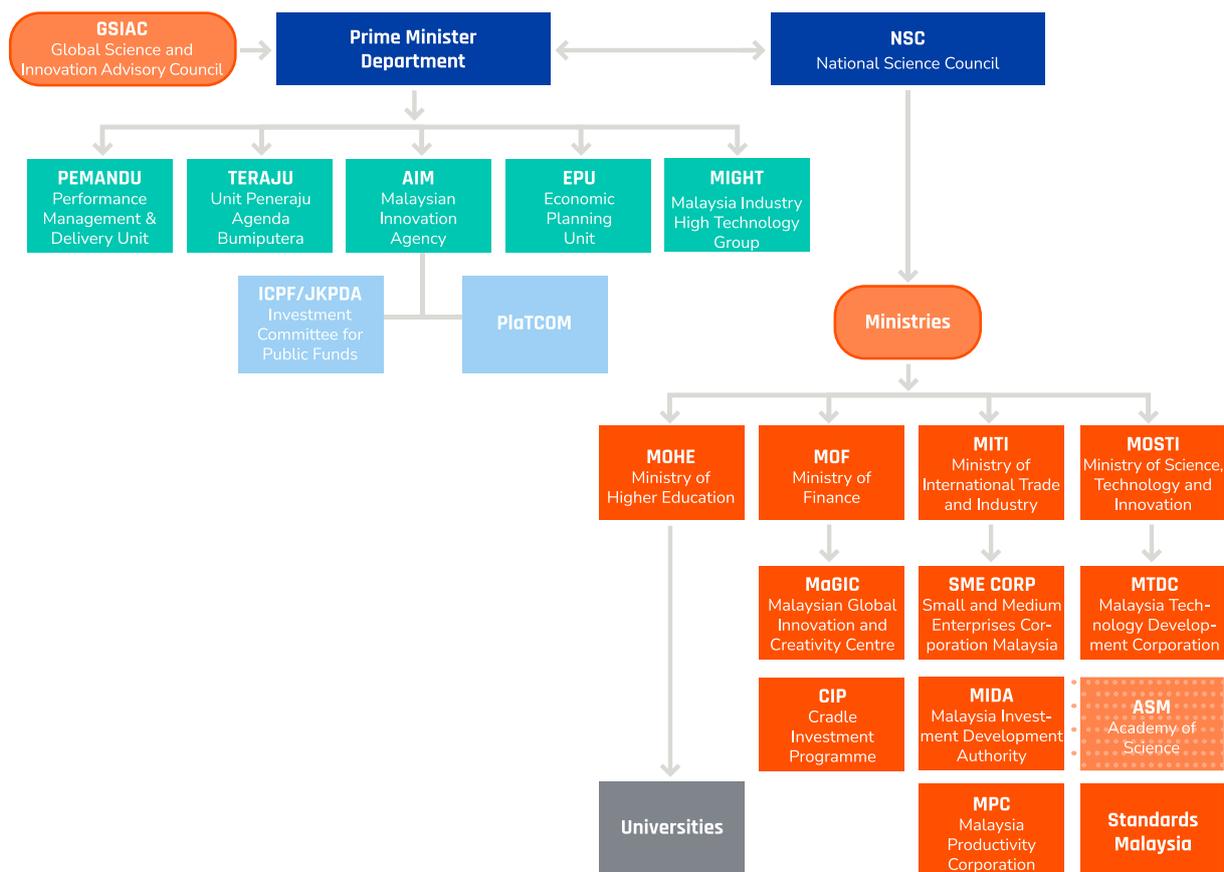


Abbildung 4-8: Ausschnitt des Innovationssystems von Malaysia mit Stand 2015

Der abgebildete Stand des Innovationssystems von Malaysia entspricht dem Jahr der Initiierung der betrachteten Studie. Die durchführende Institution „Academy of Sciences Malaysia“ (ASM) ist grafisch hervorgehoben.

Quelle: OECD (2016), S. 159; Graphik VDI TZ.

In der Darstellung in OECD (2016), S. 156 ff. werden die Hauptakteure der Forschungs- und Innovationspolitik benannt und folgende Einordnungen gegeben: Das „**Ministry of Science, Technology and Innovation**“ (MOSTI)¹⁸⁸ ist der Hauptakteur in der Umsetzung der Ful-Politik, dem eine Reihe von Agenturen, Forschungszentren, Instituten und staatlich gebundenen Unternehmen zugeordnet sind. Ebenfalls im Zuständigkeitsbereich des MOSTI liegt die „**Academy of Sciences Malaysia**“ (ASM)¹⁸⁹, deren Aufgaben die Förderung von Wissenschaft und Technik, die Vernetzung dafür relevanter Akteure sowie die Beratung der Regierung und ihrer nachgeordneten Agenturen sind. Das MOSTI zielt hauptsächlich auf die Unterstützung der Kommerzialisierungsphase und Unternehmensgründungen. Zudem stellt das MOSTI das Sekretariat für den „**National Science Council**“ (NSC)¹⁹⁰, der eine Schlüsselstellung in der Beratung des Premierministers in Ful-Fragen einnimmt.

Das „**Ministry of Finance**“ (MOF)¹⁹¹ nimmt ebenfalls eine zentrale Rolle ein. Neben der Autorität in Fragen des Ful-Budgets liegen in seiner Zuständigkeit eigene Programme zur Förderung der Forschungszusammenarbeit und Kommerzialisierung von Technologien.

¹⁸⁸ <https://www.mosti.gov.my/en/>.

¹⁸⁹ <https://www.akademisains.gov.my>.

¹⁹⁰ <https://www.mosti.gov.my/majlis-sains-negara/>.

¹⁹¹ <https://www.mof.gov.my/portal/en>.

Das „**Ministry of Higher Education**“ (MOHE)¹⁹² hat die Mission, ein System der höheren Bildung aufzubauen, das in der Lage ist, die Erreichung der Ziele zur nationalen Entwicklung zu unterstützen. Dementsprechend ist das MOHE für die Beaufsichtigung und Entwicklung der Universitäten zuständig.

Die Hauptmission des „**Ministry of International Trade and Industry**“ (MITI)¹⁹³ richtet sich darauf, Malaysia zu einem attraktiven Ziel für Investitionen und einem wettbewerbsfähigen Handelspartner zu entwickeln.

Dem Premierminister¹⁹⁴ unterstehen das „**Prime Minister Department**“ und verschiedene Agenturen wie die „**Performance Management and Delivery Unit**“ (PEMANDU) oder die „**Unit Peneraju Agenda Bumiputera**“ (TERAJU), die es ermöglichen, ressortübergreifende, regierungsweite Programme umzusetzen. Die „**Economic Planning Unit**“ (EPU) koordiniert mit Unterstützung des „Investment Committee for Public Funds“ die Ful-Finanzierung verschiedener Ministerien, indem sie deren Budget-Anforderung prüft. Die industriegeführte „**Malaysian Industry-Government Group for High Technology**“ (MIGHT)¹⁹⁵ agiert als Denkfabrik zur Entwicklung von Politikmaßnahmen zur Förderung von Hightechindustrien. Sie wird darin durch das „**Malaysian Foresight Institute**“¹⁹⁶ unterstützt und ist auch in das Sekretariat des „**Global Science and Innovation Advisory Council**“ (GSIAC) involviert. Die „**Malaysian Innovation Agency**“ (AIM) schließlich kümmert sich um verschiedene Programme, um das Innovationsumfeld zu fördern, inklusive des Unternehmertums und der Gründung von Start-ups, bspw. durch die Einrichtung PlaTCOM.

Nach den Parlamentswahlen 2018 gab es verschiedene Änderungen an den oben dargestellten Strukturen und/oder Aufgaben, auf die hier nicht im Einzelnen eingegangen werden soll.¹⁹⁷

4.4.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Nationale, öffentlich finanzierte Technologieprognosen haben in Malaysia keine lange Tradition. Im Jahr 1991 wurde in Malaysia eine Vision für das Jahr 2020 entwickelt, die unter dem Namen „Wawasan 2020“ im Land bekannt geworden ist.¹⁹⁸ Diese Vision hatte allerdings weniger technische als vielmehr soziale und gesellschaftliche Inhalte für das Ziel eines Malaysias, das bis 2020 zu einem voll entwickelten Land werden sollte. Betont wurden dabei Werte einer geeinten, demokratischen, moralischen und ethischen, liberalen und toleranten, gerechten und ausgewogenen, wohlhabenden, wissenschaftlichen und fortschrittlichen Gesellschaft.

¹⁹² <https://www.mohe.gov.my/en>.

¹⁹³ <https://fta.miti.gov.my/>.

¹⁹⁴ <https://www.pmo.gov.my/>.

¹⁹⁵ <https://might.org.my/>.

¹⁹⁶ <https://www.myforesight.my/>.

¹⁹⁷ Dementsprechend lassen sich für einige der genannten Institutionen und Einrichtungen keine aktuellen Webseiten zuordnen.

¹⁹⁸ ASM (2017a), S. 59.

Seit (mindestens) 2013 gibt es das „**Malaysian Foresight Institute**“¹⁹⁹ im Zuständigkeitsbereich der „**Malaysian Industry-Government Group for High Technology**“ (MIGHT)²⁰⁰. Neben einem Blog mit dem Titel „Future Watch“, der sich an ein junges Publikum richtet, finden sich hier auch einige wenige umfangreichere, zukunftsorientierte Publikationen.²⁰¹

Im Jahr 2016 initiierte die Regierung die Entwicklung eines langfristigen Plans unter der Bezeichnung „*Transformasi Nasional 2050*“ (dt. „Nationale Transformation 2050“). Dieser Plan soll an die Vision 2020 anknüpfen und entsprechende Anstrengungen der Regierung fortsetzen. Dabei steht ein Zukunftsbild von Malaysia im Zentrum, das als „harmonisch“, „wohlhabend“ und „nachhaltig“ gekennzeichnet wird. In diesem Zusammenhang wird die Rolle von Wissenschaft, Technik und Innovation betont und in einer eigenständigen Publikation mit dem Titel „*Emerging Science, Engineering & Technology (ESET) Study*“²⁰² mit dem Zeithorizont 2050 näher betrachtet. Diese Studie wird nachfolgend ausgewertet und inhaltlich analysiert.

4.4.3 Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology (ESET) Study

Im Vorwort des Ministers zu dieser Studie²⁰³ wird zur Einordnung ausgeführt, dass die Studie vom „Ministry of Science, Technology and Innovation“ (MOSTI) beauftragt wurde, als dessen Aufgabe genannt wird, eine effektive Ful-Politik für Malaysia zu entwickeln und zu implementieren.

Im Vorwort der Präsidentin der Akademie der Wissenschaften Malaysias,²⁰⁴ die den Vorausschau-Prozess durchgeführt hat, wird als Ziel der übergeordneten Studie „*Envisioning Malaysia in 2050*“²⁰⁵ genannt, einen Blick auf das große Bild der wünschenswerten Zukunft Malaysias zu werfen. Zudem soll Expertenwissen dahingehend zur Verfügung gestellt werden, wie durch Wissenschaft, Technik und Innovation (WTI) wichtige Wirtschaftssektoren umgestaltet, nationale Bedürfnisse erfüllt sowie gesellschaftliche Herausforderungen gelöst werden können. Damit soll WTI-Input für die Umsetzung der Bestrebungen der „Nationale[n] Transformation 2050“ und der strategischen Entwicklungsziele Malaysias bereitgestellt werden.

Begleitend wurde die Wissenschafts- und Technik-Foresight-Studie „*Emerging Science, Engineering & Technology (ESET) Study*“ erstellt. Zwei Ergebnisse dieser Studie werden als zentral hervorgehoben: die Identifikation von 95 neu aufkommenden Technologien und deren Darstellung auf einer Zeitachse sowie die Auswahl von 21 besonders wirkungsvollen Technologien, denen ein besonders hohes Potenzial eingeräumt wird, zur Erreichung des angestrebten harmonischen, wohlhabenden und nachhaltigen Malaysias im Jahr 2050 beizutragen. Die Zeitachse wurde dazu in drei Phasen eingeteilt: Gegenwart (2015 – 2020), wahrscheinliche Zukunft (2021 – 2035) und mögliche Zukunft (2036 – 2050).

¹⁹⁹ <https://www.myforesight.my/>.

²⁰⁰ <https://might.org.my/>.

²⁰¹ Wie z. B. eine Studie aus dem Jahr 2018 zur Verbreitung von Industrie 4.0 im Bereich der Werften und des Schiffbaus (<https://www.myforesight.my/sbsr-report/#>) oder ein Horizon-Scanning-Bericht mit dem Zeithorizont bis 2030 aus dem Jahr 2022, der in einem der Teilkapitel auch zehn Technologien mit einem Kurzprofil auf jeweils einer Seite auflistet: Automatisierung, Telemedizin, Kampf gegen Cyberkriminalität, KI im Gesundheitswesen, Online-Unterhaltung, autonome Fahrzeuge, Public Cloud, therapeutische Roboter, Roboter zur Steigerung der Produktivität, Internet der Dinge (Malaysian Foresight Institute, MIGHT Horizon Scanning - Signals that Matter - Malaysia towards 2030; S. 27 – 37. <https://www.myforesight.my/might-horizon-scanning-signals-that-matter/#>).

²⁰² ASM (2017b).

²⁰³ ASM (2017b), S. 7.

²⁰⁴ ASM (2017b), S. 8.

²⁰⁵ ASM (2017a), S. 59.

4.4.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie	<i>Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology (ESET) Study</i> ²⁰⁶
Auftraggeber:	Ministry of Science, Technology and Innovation (MOSTI) http://www.mosti.gov.my
Durchgeführt von:	Academy of Sciences Malaysia (ASM) ²⁰⁷ in Zusammenarbeit mit zahlreichen Expert*innen aus Forschung, Technologie und Innovation
Erscheinungsjahr:	2017
Zeithorizont:	2050

Ausgangspunkt der Studie waren die folgenden fünf Bereiche neu aufkommender Technologien:

1. Biotechnologie
2. Digitale Technologie
3. Grüne Technologie
4. Nanotechnologie
5. Neurotechnologie

Zugeordnet zu einem oder mehreren dieser Bereiche wurden 284 Produkte, Dienstleistungen und Technologien sowie mögliche Anwendungen und Wirkungen gesammelt, denen Relevanz für Malaysia bis 2050 beigemessen wurde.

Aus dieser Liste wurde durch strategische Konsultationen, die Betrachtung von Wechselwirkungen, ergänzende Analysen und Expertenbegutachtung unter Berücksichtigung der Stärken Malaysias die oben genannte Liste von 95 neu aufkommenden Technologien abgeleitet. Hieraus wurden abschließend 21 prioritäre Technologien ausgewählt. Dabei erfolgte die Priorisierung unter Berücksichtigung der Machbarkeit und Attraktivität im malaysischen Kontext sowie globaler Trends und Risiken im Hinblick auf die Erreichung des Zielbilds Malaysia 2050.

4.4.3.2 Inhaltsanalyse

In der folgenden Inhaltsanalyse werden aus der Liste der 95 neu aufkommenden Technologien diejenigen wiedergegeben und in das Analyseraster eingeordnet, die auf der Zeitachse den Phasen wahrscheinliche Zukunft (2021 – 2035) und mögliche Zukunft (2036 – 2050) zugeordnet wurden. Außerdem werden die Technologien aus diesen beiden Phasen angegeben, die in der Studie als prioritär (besonders wirkungsvoll) eingeschätzt wurden.

Die betrachtete Studie enthält darüber hinaus ein umfassendes illustratives Zukunftsbild von Malaysia im Jahr 2050 (S. 90 f.). Die Teilaspekte dieses Zukunftsbildes werden ergänzend den Themenfeldern des Analyserasters zugeordnet und mit aufgeführt.

²⁰⁶ https://issuu.com/asmpub/docs/eset_study_report (Abruf am 05.12.2024).

²⁰⁷ <http://www.akademisains.gov.my/> (Abruf am 05.12.2024).

Energie

Mit dem Zeithorizont 2035 werden die folgenden Energietechnologien als Bestandteile der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Smart-Grid-Technologie, mit der verschiedene Systeme erneuerbarer Energien zusammengeführt und organisiert werden können. (A3, 6)²⁰⁸
- Mikro-Wasserkraftwerke in Hochhäusern, die darauf beruhen, dass Regenwasser gesammelt und mit einem Fallrohr und einer Turbine zur Stromerzeugung genutzt wird. (A3, 12)
- Photovoltaische Zellen als spezialisierte Halbleiterdioden, die sichtbares Licht in Gleichstrom umwandeln. (A3, 15)
- Brennstoffzellen, die elektrischen Strom direkt aus einer chemischen Reaktion gewinnen. (A3, 17)
- Bedarfsgesteuerte Hausgeräte: Änderungen des Stromverbrauchs nachfrageseitiger Betriebsmittel gegenüber den normalen Verbrauchsmustern als Reaktion auf Strompreisänderungen oder Anreizzahlungen zur Senkung des Stromverbrauchs in Zeiten hoher Großhandelspreise oder bei Gefährdung der Netzstabilität. (A3, 47)

Mit dem Zeithorizont 2036 – 2050 werden die folgenden Energietechnologien als Bestandteile der möglichen Zukunft eingeschätzt:

- Meereswärmekraftwerke (englisch: „Ocean Thermal Energy Conversion“ OTEC) als Methode zur Umwandlung eines Teils der Sonnenwärme, die von den Oberflächenschichten eines Wasserkörpers gespeichert wird, in elektrische Energie oder ein gleichwertiges Energieprodukt. (A3, 86)
- Wellenscheiben-Generatoren sind in diesem Zusammenhang eine neue Umsetzung der Wellen-Rotor-Technik. Es handelt sich dabei um Wärmekraftmaschinen, die statt Kolben eine rotierende Scheibe mit gekrümmten Blättern aufweisen. Nach Eintritt des Treibstoff-Luft-Gemisches in den Generator sorgt die rotierende Scheibe für eine Verdichtung des Gemisches, das sich nach der Zündung ausdehnt und so durch Druck gegen die gekrümmten Blätter für die weitere Rotation der Scheibe sorgt. Die Drehbewegung der Scheibe führt auch dazu, dass Ein- und Auslassöffnung synchron geöffnet und geschlossen werden. Der Technologie werden Potenziale im Hinblick auf Effizienz, Materialeinsatz, Produktion und Emissionen zugesprochen. (A3, 19)
- Algenbasierte Biophotovoltaik nutzt spezielle sauerstoffhaltige photoautotrophe Organismen, die die aufgefangene Lichtenergie in Elektrizität umwandeln. (A3, 22)
- Wellen- und Gezeitenenergie, basierend auf Prinzipien der Biomimikry. Das heißt, durch Nachahmung bewährter Muster und Strategien der Natur soll die Effizienz der Anlagen zur Gewinnung von Wellen- und Gezeitenenergie optimiert werden. (A3, 87)
- Thorium-Reaktor in kleinem Maßstab. Thorium ist ein radioaktives chemisches Element, das theoretisch in den kommenden Jahrzehnten in Kernkraftwerken zur Erzeugung großer Mengen kohlenstoffarmer Elektrizität verwendet werden könnte. Es sind kleine Reaktoren mit einer Leistung von jeweils etwa 600 MW angedacht. (A3, 25)

Von diesen zehn „neu aufkommenden Technologien“ werden die folgenden drei als besonders „wirkungsvoll“ bewertet:

²⁰⁸ Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird jeweils angegeben, an welcher Stelle im ausgewerteten Bericht die jeweilige Aussage zu finden ist. A3 steht für „Anhang 3“, der eine nummerierte Tabelle enthält, die dahinter aufgeführte Zahl für die Nummer in dieser Tabelle.

1. Photovoltaische Zellen (bis 2035),
2. Brennstoffzellen (bis 2035),
3. Meereswärmekraftwerke (2036 – 2050).

Die betrachtete Studie entwirft darüber hinaus ein umfassendes Zukunftsbild von Malaysia im Jahr 2050 (S. 90 f.). Dieses Zukunftsbild enthält die folgenden beiden Aspekte mit Bezug zum Themenfeld *Energie*:

1. Superintelligentes Netz erneuerbarer, alternativer Energiequellen von Wasserstoff, Solarenergie, Kernkraft und Windenergie.
2. Bodenbeläge zur Stromgewinnung aus dem Auftreten von Fußgänger*innen.

Materialtechnik

Mit dem Zeithorizont bis 2035 werden die folgenden Materialtechnologien als Bestandteile der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Magnetische Levitation, darauf beruhend, dass sich ein Magnet über einem Metallstück bewegt und dabei elektrische Ströme in dem Metall verursacht, die ihrerseits Kräfte erzeugen, die den Magneten hochdrücken. Wenn diese Kräfte groß genug sind, kann der sich bewegende Magnet zum Schweben gebracht werden (Levitation). (A3, 28)²⁰⁹
- Nanomaterial: Material, das Partikel oder Bestandteile im Nanomaßstab enthält oder durch Nanotechnologie hergestellt wird. (A3, 29)
- Metamaterialien sind künstlich strukturierte Materialien, die verwendet werden, um Licht, Schall und andere physikalische Phänomene zu steuern und zu beeinflussen. (A3, 32)

Mit dem Zeithorizont 2036 – 2050 werden die folgenden Materialtechnologien als Bestandteile der möglichen Zukunft eingeschätzt:

- Konversion von Kohlendioxid in Kohlenstoff-Nanoröhren: Nutzung eines solarthermischen, elektrochemischen Prozesses, um sowohl die erforderliche elektrische als auch thermische Energie für die Aufspaltung von Kohlendioxid in Kohlenstoff und Sauerstoff bereitzustellen und um Kohlenstoff-Nanoröhren herzustellen, die stabil, flexibel, leitfähig und fester als Stahl sind. (A3, 24)
- Nanorobotik, verstanden als die Technologie zur Herstellung von Maschinen oder Robotern auf oder nahe der Nanoskala – also der Größenordnung von Nanometern (10^{-9} Meter). (A3, 26)

Basistechnologien der Digitalisierung

Mit dem Zeithorizont bis 2035 werden die folgenden Basistechnologien der Digitalisierung als Bestandteile der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Nanogeneratoren, die Umgebungsenergie für Nanosysteme gewinnen. (A3, 16)
- Nano-basierte Berührungsbildschirme auf Windschutzscheiben: Silber-Nanodrähte bieten erhebliche Kosten- und Leistungsvorteile für neu aufkommende Anwendungen von

²⁰⁹ Dieses Thema wird in der betrachteten Studie dem Bereich *Nanotechnologie* zugeordnet, so dass hier die Einordnung in das Themenfeld *Materialtechnik* erfolgt, unter der Annahme, dass es um die Anwendung von Nanotechnologie zur Erforschung und Produktion geeigneter magnetischer Werkstoffe geht. Mit Thema 21 wird im Unterschied dazu die Anwendung magnetischer Levitation zu Transportzwecken adressiert und dementsprechend dem Themenfeld *Mobilität und Verkehr* zugeordnet.

Berührungsbildschirmen. Diese umfassen sowohl Bildschirme mit großer Fläche als auch kleine, flexible und tragbare Displays. Das Material wird in einem Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf eine flexible Folie aufgetragen, die einige Meter breit und kilometerlang sein kann. (A3, 27)

- Sensornetze auf Basis von intelligentem Staub: Intelligenter Staub ("smart dust") ist eine neu aufkommende Technologie. Der "Staub" besteht aus winzigen drahtlosen Sensoren, die auch als "Motes" (also Staubkörnchen) bezeichnet werden. Die Sensoren sind mit Rechenkapazität und drahtloser Verbindungstechnik ausgestattet und verfügen zudem über eine autonome Energieversorgung bei äußeren Abmessungen von nur wenigen Millimetern und geringen Kosten. (A3, 33)
- Gedruckte und flexible Elektronik: Nanomaterialien sind aufgrund ihrer Einstellbarkeit in Bezug auf Leistung, Verarbeitbarkeit in Lösung und Anforderungen an die Verarbeitungstemperatur sehr attraktiv als Bausteine für flexible elektronische Systeme. (A3, 34)
- Drahtlose Kommunikation ohne Batterien: Neue drahtlose Kommunikationssysteme ermöglichen die Verbindung zwischen Computern durch die Rückstreuung von Wi-Fi-, TV- oder Mobilfunksignalen, die in der Umgebung vorhanden sind („ambient backscatter“). Es bringt das Internet der Dinge einen Schritt näher, da es Geräte miteinander kommunizieren lässt, ohne auf Batterien oder Kabel angewiesen zu sein. (A3, 37)
- Holografische Datenspeicherung: Holografische Speicher können Millionen von Bits parallel speichern und auslesen. Dies ermöglicht höhere Datenübertragungsraten als bei herkömmlichen optischen Speichern. (A3, 40)
- Gehirn-Computer-Schnittstelle der nächsten Generation, die einen direkten Kommunikationspfad zwischen einem technisch unterstützten oder verdrahteten Gehirn und einem externen Gerät bereitstellt, um menschliche kognitive oder sensomotorische Funktionen zu erforschen, zu kartieren, zu unterstützen, zu ergänzen oder wiederherzustellen. (A3, 72)
- Drahtlose, bidirektionale Gehirn-Schnittstelle (Wahrnehmung/Stimulation). Die drahtlose Integration eines Mechanismus zur Aufzeichnung und Weiterleitung von Informationen vom und zum Gehirn ist ein wichtiger Schritt zur Entwicklung von Gehirn-Computer-Schnittstellen. (A3, 73)

Mit dem Zeithorizont 2036 – 2050 werden die folgenden Basistechnologien der Digitalisierung als Bestandteile der möglichen Zukunft eingeschätzt:

- Internet der Dinge – Analyse und Vernetzung von Massendaten: Rechnerkonzept ausgehend von der Idee, dass alltägliche physische Objekte mit dem Internet verbunden sind und sich gegenüber anderen Geräten identifizieren können. (A3, 63)
- Hirnwellen-Technologie („brainwave technology“) ist als neu aufkommende Technologie ein Teil des noch weitgehend unerforschten Bereichs der Gehirn-Computer-Schnittstellen und der Gehirn-Computer-Kommunikation. (A3, 75)

Von diesen zehn „neu aufkommenden Technologien“ wird die folgende als besonders „wirkungsvoll“ bewertet:

1. Hirnwellen-Technologie („brainwave technology“) (2036 – 2050).

Die betrachtete Studie entwirft darüber hinaus ein umfassendes Zukunftsbild von Malaysia im Jahr 2050 (S. 90 f.). Dieses Zukunftsbild enthält die folgenden beiden Aspekte mit Bezug zum Themenfeld *Basistechnologien der Digitalisierung*:

1. Intelligenter Staub: Bio-Nano-Sensoren zur Erfassung und Beseitigung von gesundheitsschädlichen Toxinen in der Luft.
2. Kommunikation von Gehirn zu Gehirn: Kommunizieren, ohne zu sprechen.

Biotechnologie

Mit dem Zeithorizont bis 2035 werden die folgenden Biotechnologien als Bestandteile der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Stammzellen. Damit werden generische Zellen bezeichnet, die sich unbegrenzt exakt selbst kopieren können. Sie haben die Fähigkeit, spezialisierte Zellen für verschiedene Gewebe im Körper zu bilden, wie beispielsweise Herzmuskel-, Gehirn- und Lebergewebe. (A3, 84)
- Molekulare Marker für die Identifikation wichtiger biologischer Merkmale. Molekulare Marker werden als Hilfsmittel für eine Vielzahl von Anwendungen verstanden, von der Lokalisierung eines Gens bis zur verbesserten Züchtung durch Marker-gestützte Selektion. (A3, 86)
- Biopharming, als ein neuer Ansatz, bei dem Nutzpflanzen wie Mais, Tomaten oder Tabak, aber auch Nutztiere gentechnisch so verändert werden, dass sie Pharmazeutika von hohem Wert in hoher Konzentration produzieren. (A3, 90)
- Gen-Editierung, verstanden als das Einfügen, Entfernen oder Ersetzen von DNA an einer bestimmten Stelle im Genom eines Organismus oder einer Zelle. (A3, 92)

Mit dem Zeithorizont 2036 – 2050 wird die folgende Anwendung aus dem Bereich Biotechnologien als Bestandteil der möglichen Zukunft eingeschätzt:

- Nanoröhren für synthetische Neuronen und neuronale Implantate. Die Nanotechnologie ist für die Neurowissenschaften von besonderem Interesse, weil molekulare Prozesse und die Signalverarbeitung auf der Mikroskala von Neuronen stattfinden, die unterschiedliche Kompartimente auf der Nanoskala besitzen – einschließlich Synapsen, Axone und Dendriten. (A3, 76)

Von diesen fünf „neu aufkommenden Technologien“ werden die folgenden zwei als besonders „wirkungsvoll“ bewertet:

1. Molekulare Marker zur Identifizierung wichtiger biologischer Merkmale (bis 2035),
2. Biopharming: Nutzpflanzen wie Mais, Tomaten oder Tabak, aber auch Nutztiere werden gentechnisch so verändert, dass sie Pharmazeutika von hohem Wert in hoher Konzentration produzieren (bis 2035).

Arbeit und Wertschöpfung

Mit dem Zeithorizont bis 2035 werden die folgenden Technologien mit Bezug zu Arbeit und Wertschöpfung als Bestandteile der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Robotik als ein integriertes, steuerbares System, das mit der physischen Welt interagiert. (A3, 52)
- Maschinen-Telematik: Radiofrequenz-Identifikation (RFID) wird genutzt, um Maschinen zu verfolgen und um zu lernen, wie sich Ausrüstung effizienter nutzen lässt. (A3, 53)

Gesundheit, Lifestyle, Ernährung

Mit dem Zeithorizont bis 2035 werden die folgenden Technologien mit Bezug zu Gesundheit, Lifestyle und Ernährung als Bestandteile der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Nano-basierte Systeme zur Wirkstofffreisetzung: Nanopartikel werden effizienter von Zellen aufgenommen als bestimmte größere Mikromoleküle. Daher könnten sie als effektive Systeme zum Wirkstofftransport und zur Wirkstofffreisetzung genutzt werden. (A3, 30)
- Interkontinentale Roboterchirurgie als Form der Telechirurgie. Diese ermöglicht es Ärzt*innen, Operationen aus der Ferne zu leiten, indem sie eine Kombination aus Computern, Telekommunikation, Videokonferenzen und fortschrittlichen chirurgischen Robotern nutzen. (A3, 41)
- Therapeutika natürlichen Ursprungs als Produkte, die sich im Allgemeinen von lebendem Material ableiten, das menschlichen oder tierischen Ursprungs sein kann oder aus Mikroorganismen stammt, und dazu dienen, Krankheiten beim Menschen vorzubeugen oder zu behandeln. (A3, 83)
- Regenerative Medizin, d. h. das breite Feld der Gewebezüchtung und Forschung zur Selbstheilung. Bei der Selbstheilung nutzt der Körper eigene Systeme, manchmal mit Hilfe von körperfremdem biologischem Material, um Zellen neu zu bilden und Gewebe sowie Organe wiederherzustellen. (A3, 85)
- Nutrigenomik als die Untersuchung der Fragestellung, in welcher Weise Lebensmittel unsere Gene beeinflussen und wie individuelle genetische Unterschiede die Art und Weise beeinflussen können, wie wir auf Nährstoffe (und andere natürlich vorkommende Stoffe) in unserer Nahrung reagieren. (A3, 91)
- Neuroregeneration von Bestandteilen des Gehirns. Neuroregeneration bezeichnet dabei das Nachwachsen oder die Reparatur von Nervengewebe, -zellen oder -zellprodukten. Mechanismen dieser Art können die Bildung neuer Neuronen, Glia, Axone, von Myelin oder Synapsen umfassen (A3, 48)

Mit dem Zeithorizont 2036 – 2050 wird die folgende Technologie mit Bezug zu Gesundheit, Lifestyle und Ernährung als Bestandteil der möglichen Zukunft eingeschätzt:

- Ultraschnelle, hochauflösende, tragbare Hochdurchsatzgeräte, die in kurzer Zeit eine Vielzahl von Patientendaten mit hoher Auflösung erfassen können. (A3, 62)

Von diesen sieben „neu aufkommenden Technologien“ wird die folgende als besonders „wirkungsvoll“ bewertet:

1. Neuroregeneration von Bestandteilen des Gehirns (bis 2035).

Die betrachtete Studie entwirft darüber hinaus ein umfassendes Zukunftsbild von Malaysia im Jahr 2050 (S. 90 f.). Dieses Zukunftsbild enthält die folgenden beiden Aspekte mit Bezug zum Themenfeld *Gesundheit*:

1. Regenerative Medizin: Haut-Spray zur Selbstheilung kleiner Verletzungen.
2. Intelligente Roboter: robotische Hilfen, um ältere Menschen zu unterstützen.

Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima

Mit dem Zeithorizont bis 2035 werden die folgenden Technologien mit Bezug zu Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima als Bestandteile der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Solare Desinfektion von Grauwasser: Wiederverwendung von Grauwasser (Abwasser aus Waschbecken, Badewannen, Duschen usw.) für nicht trinkbare Zwecke unter Verwendung von Solarenergie zur Desinfektion. (A3, 13)
- Intelligentes Wasser-Monitoring: Ein intelligentes Wasserversorgungsnetz ist ein integrierter Satz von Produkten, Lösungen und Systemen, die es Versorgungsunternehmen ermöglichen, Probleme kontinuierlich und aus der Ferne zu überwachen und zu diagnostizieren, nach Priorität zu ordnen und zu bewältigen sowie Daten zur Optimierung aller Aspekte des Wasserversorgungsnetzes zu nutzen. (A3, 14)

Mit dem Zeithorizont 2036 – 2050 wird die folgende Technologie mit Bezug zu Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima als Bestandteil der möglichen Zukunft eingeschätzt:

- Kohlendioxid-Sequestrierung in Baumaterialien – nutzt Baumaterialien wie Ziegel als physische Kohlenstoffsinken. (A3, 20)

Bauen und Wohnen

Wenn auch keine der 95 identifizierten Technologien dem Themenfeld *Bauen und Wohnen* zugeordnet werden kann, enthält das im Rahmen der Studie entwickelte Zukunftsbild den folgenden Aspekt mit Bezug zu diesem Thema:

1. Grünes Bauen: Kohlendioxid-Sequestrierung, Energieerzeugung, Anbau eigener Lebensmittel.

Verteidigung und Sicherheit

Mit dem Zeithorizont 2036 – 2050 wird die folgende Technologie mit Bezug zu Verteidigung und Sicherheit als Bestandteil der möglichen Zukunft eingeschätzt:

- Gedankenlesen für Sicherheitszwecke: auf Hirnaktivität basierende Interpretation menschlicher Gedanken oder Kognition unabhängig von Sprache oder Handlung. (A3, 74)

Das im Rahmen der Studie entworfene Zukunftsbild von Malaysia im Jahr 2050 enthält den folgenden Aspekt mit Bezug zu dem Themenfeld *Verteidigung und Sicherheit*:

1. KI-gesteuerte Videoüberwachung: KI-überwachte, prädiktive Verhaltensanalyse, um Sicherheit zu gewährleisten.

Mobilität und Verkehr

Mit dem Zeithorizont bis 2035 wird die folgende Technologie mit Bezug zu Mobilität und Verkehr als Bestandteil der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Fahrzeuge mit Ultrakondensatoren, die elektrische Energie in elektrischen Feldern anstatt in chemischen Zellen speichern. Kondensatoren sind aufgrund ihrer Energiespeichereigenschaften Batterien vorzuziehen. Mit der Verbesserung von Nanomaterialien ist es realistisch zu erwarten, dass die Batterien von Elektrofahrzeugen durch Ultrakondensatoren ersetzt werden könnten. (A3, 8)

Mit dem Zeithorizont 2036 – 2050 wird die folgende Technologie mit Bezug zu Mobilität und Verkehr als Bestandteil der möglichen Zukunft erwartet:

- Hyperloop-Massentransport-System: Transport-Modalität, bei der Güter und Personen schnell, sicher und direkt vom Start zum Fahrtziel befördert werden. Dafür wird in einer Niederdruckröhre ein Fahrzeug mittels magnetischer Levitation zum Schweben gebracht und mit einem elektrischen Antrieb allmählich beschleunigt. Aufgrund des extrem geringen Luftwiderstands gleitet das Fahrzeug über lange Strecken mit der Geschwindigkeit eines Flugzeugs. (A3, 21)

Die betrachtete Studie entwirft darüber hinaus ein umfassendes Zukunftsbild von Malaysia im Jahr 2050 (S. 90 f.). Dieses Zukunftsbild enthält die folgenden Aspekte mit Bezug zum Themenfeld *Mobilität und Verkehr*:

1. Fliegende Autos, die selbststeuernd sind und mit sauberer Energie betrieben werden.
2. Autonome Gondeln, die besonders sicher sind und weniger Unfälle verursachen, betrieben mit magnetischer Levitation.
3. Hyperloop-Züge: von Penang nach Kuala Lumpur (ca. 350 km) in nur 20 Minuten mit einer Geschwindigkeit von 1.100 km/h.

Luft- und Raumfahrt

Lediglich im Zusammenhang mit dem entwickelten Zukunftsbild für Malaysia im Jahr 2050 sind Bezüge zum Themenfeld *Luft- und Raumfahrt* zu finden:

1. Drohnen, die Essen und Lebensmittel ausliefern.
2. Weltraumreisen: erstes Mondhotel & Bergbau auf dem Mond.
3. Hyperschallflugzeuge: Reisen mit Überschallgeschwindigkeit (Mach 5) – von Malaysia nach London in weniger als zwei Stunden.
4. Raumstation: erster Mensch geboren in einer Weltraumkolonie.

Meerestechnik und Schifffahrt

Auf das Themenfeld *Meerestechnik und Schifffahrt* wird in der betrachteten Studie nicht näher eingegangen.

Digitalisierung

Mit dem Zeithorizont bis 2035 werden die folgenden Technologien mit Bezug zu Digitalisierung als Bestandteile der wahrscheinlichen Zukunft erwartet:

- Künstliche Intelligenz als ein Zweig der Informatik, der das intelligente Verhalten von Mensch und Natur in einer Computerumgebung nachahmt und automatisiert. (A3, 60)
- Blockchain: dezentral geführte Kontobuchtechnologie, die Softwarealgorithmen verwendet, um Transaktionen zuverlässig und anonym aufzuzeichnen und zu bestätigen. Die Aufzeichnung von Ereignissen wird von vielen Parteien gemeinsam genutzt und einmal eingegebene Informationen können nicht mehr geändert werden, da die nachgelagerte Kette die vorgelagerten Transaktionen bestätigt. (A3, 61)

- Deep Learning: ein Zweig des maschinellen Lernens, der künstliche neuronale Netze verwendet, die aus vielen Verarbeitungsschichten bestehen. (A3, 77)
- Algorithmen zur Entschlüsselung von Absichten: Durch das Scannen der Hirnaktivität bestimmter Areale können Wissenschaftler*innen möglicherweise die Gedanken, Träume und sogar Absichten von Menschen entschlüsseln. (A3, 78)

Von diesen vier „neu aufkommenden Technologien“ wird die folgende als besonders „wirkungsvoll“ bewertet:

1. Deep Learning (bis 2035).

Die betrachtete Studie entwirft darüber hinaus ein umfassendes Zukunftsbild von Malaysia im Jahr 2050 (S. 90 f.). Dieses Zukunftsbild enthält die folgenden Aspekte mit Bezug zum Themenfeld *Digitalisierung*:

1. Virtuelle Einkaufswand mit maßgeschneiderter Werbung.
2. Super-Smartphones: neue flexible und hauchdünne Nanomaterialien mit Akkus, die nicht aufgeladen werden müssen.
3. Hologramm-Unterhaltung: Holografische Simulatoren verbessern visuelle Erlebnisse.

Gesellschaft, Kultur und Bildung

Auf das Themenfeld *Gesellschaft, Kultur und Bildung* wird in der betrachteten Studie nicht systematisch eingegangen. Es wird auf eine Arbeitsgruppe verwiesen, die sich spezifisch mit dem Themenfeld *Gesellschaft und Kultur* befasst hat (S. 18), deren Ergebnisse aber nicht nachvollziehbar wiedergegeben werden.

In der Zusammenstellung von Entwicklungen, die als besonders „wirkungsvoll“ bewertet werden, ist auch folgender Eintrag enthalten:

1. Nano-basierte Lernmaterialien (bis 2035).

Unter der Überschrift „Demokratisierung des Wissens“ wird dieser Aspekt in ein Zukunftsbild der Bildung mit starkem Technologiebezug eingebettet (S. 98): Darin wird lebenslanges Lernen zur Norm, weil die technologische Entwicklung immer schneller voranschreiten und sich die Art und Weise, wie wir leben und arbeiten, grundlegend verändern wird. Das Lernen wird demnach durch technologiegestützte Lernmethoden verbessert werden, wie bspw. kontrollierte und immersive Lernumgebungen mittels VR und AR sowie Gamifizierung. Darunter werden Werkzeuge verstanden, die Spielelemente nutzen, um das Verständnis und das Behalten von Informationen zu verbessern, z. B. auf Nanomaterialien basierende Lernmaterialien und 3D-Druck. Ein personalisiertes Lernen wird durch die Datenanalyse des Lernprozesses auf Basis von Cloud Computing ermöglicht, wodurch kontinuierlich Daten während des Lernprozesses der Lernenden gesammelt und genutzt werden, um den Fortschritt dynamisch zu bewerten und Material, Tempo und Schwierigkeitsgrad anzupassen. Dies alles soll dem Zukunftsbild zufolge so weit gehen, dass der Lernprozess zu einer völlig immersiven Erfahrung wird: Die Lerninhalte soll man dabei stets "sehen und fühlen" können.

4.5 Japan

4.5.1 Nationales Innovationssystem

Japan zählt zu den wirtschaftlich stärksten Ländern der Welt und gehört auch zu den Ländern mit den höchsten FuE-Investitionen. Mit einer Höhe von 177 Mrd. USD (kaufkraftbereinigt) lag Japan im Jahr 2021 im weltweiten Vergleich auf Rang 3 hinter den USA und China und vor Deutschland.²¹⁰ Bei der FuE-Intensität (Anteil der gesamten FuE-Ausgaben am Bruttoinlandsprodukt) befindet sich Japan mit 3,3 % weltweit auf dem sechsten Rang hinter Israel, Südkorea, den USA, Schweden und Belgien.²¹¹ Der Anteil von Unternehmen macht bei den FuE-Investitionen mehr als drei Viertel aus. Die staatlichen Ausgaben liegen mit einem Anteil von 0,5 % am BIP unter dem OECD-Durchschnitt.²¹⁰

Bei wissenschaftlichen Publikationen nimmt Japan bezogen auf das Jahr 2022 weltweit Rang 7 ein; während das Land 1996 noch auf Rang 3 hinter den USA und Großbritannien lag, stammen inzwischen mehr Publikationen pro Jahr aus China, Deutschland, Indien und Italien.²¹²

Eine Übersicht des aktuellen japanischen Innovationssystems wird in Abbildung 4-9 wiedergegeben.

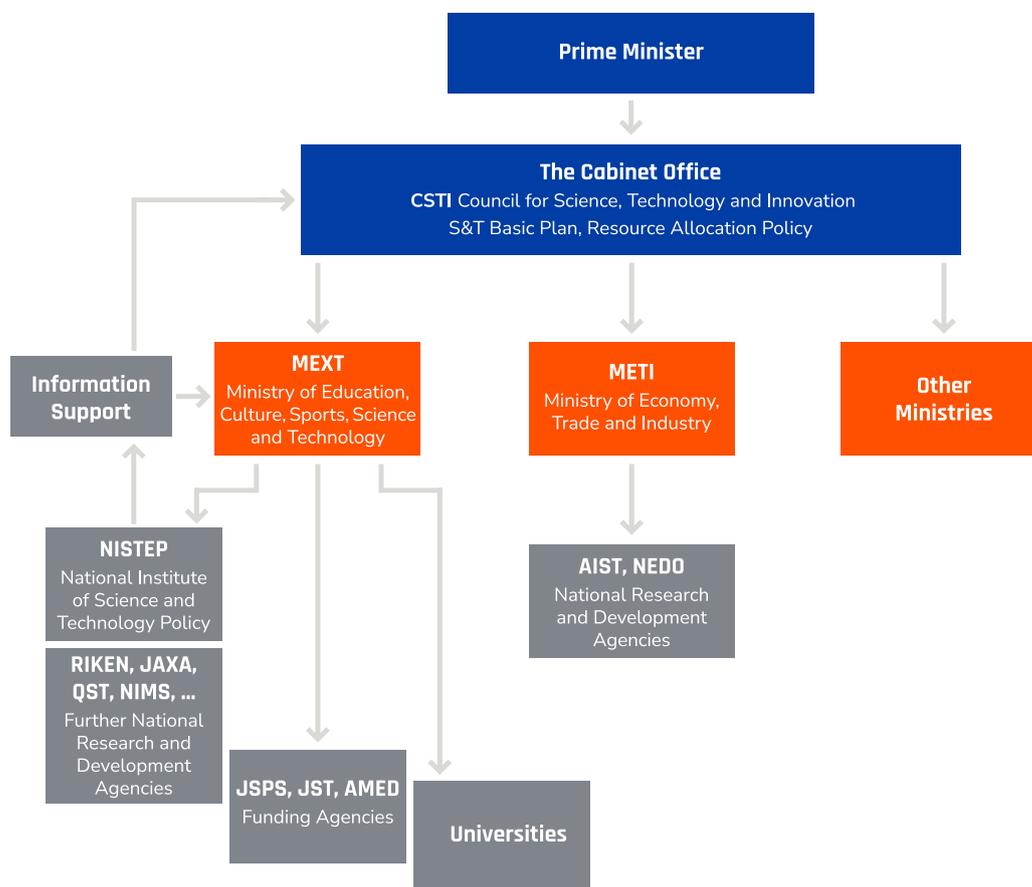


Abbildung 4-9: Ausschnitt des japanischen Innovationssystems mit Einordnung des „National Institute of Science and Technology Policy“ (NISTEP).

Quelle: NISTEP²¹³ und MEXT²¹⁴, Darstellung durch VDI TZ.

²¹⁰ Kooperation International, Länderbericht Japan (Abruf am 30.01.2024).

²¹¹ Kooperation International, Überblick zur Bildungs-, Forschungs- und Innovationslandschaft und -politik: Japan (Abruf am 30.01.2024).

²¹² SCImago. SJR, SCImago Country Rank 2022 (Abruf am 30.01.2024).

²¹³ NISTEP (2020a), S. 7 und S. 9.

²¹⁴ MEXT (2015).

Die zentrale Rolle für die Planung und Koordinierung der Politik liegt in Japan im Kabinettsbüro („**Cabinet Office**“, CAO) beim Ministerpräsidenten.²¹⁵ Diesem Kabinettsbüro sind vier Gremien zugeordnet, von denen das „**Council for Science, Technology and Innovation**“ (CSTI) für die Koordinierung der Wissenschafts-, Technologie- und Innovationspolitik zuständig ist. Ihm gehören unter dem Vorsitz des Premierministers sechs Kabinettsmitglieder an, darunter die Minister*innen des **Wissenschaftsministeriums MEXT**²¹⁶ („**Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology**“) und des **Wirtschaftsministeriums METI**²¹⁷ („**Ministry of Economics, Trade and Industry**“). Dazu kommen derzeit sieben hochrangige Vertreter*innen aus Wissenschaft und Wirtschaft sowie der Präsident des **Wissenschaftsrats („Science Council of Japan“)**.²¹⁸ Das CSTI prüft und diskutiert die Wissenschafts- und Technologiepolitik sowie die Allokation der zugehörigen Ressourcen und ist für die Evaluation zentraler FuE-Aktivitäten zuständig.²¹⁹

Das MEXT und das METI sind die beiden Ministerien mit den größten FuE-Budgets – bei einem staatlichen FuE-Budget von rund 27 Mrd. Euro im Jahr 2017 entfielen auf das MEXT etwa 65 % der Ausgaben und auf das METI etwa 16 %.²²⁰

Dem MEXT sind mehrere „**National Research and Development Agencies**“ unterstellt darunter das „**National Institute of Science and Technology Policy**“ (NISTEP)²²¹ sowie beispielsweise die folgenden: RIKEN²²², „Japan Aerospace Exploration Agency“ (JAXA), „National Institutes for Quantum Science and Technology“ (QST), „National Institute for Materials Science“ (NIMS). Zudem sind drei Förderagenturen für das MEXT tätig: „Japan Agency for Medical Research and Development“ (AMED)²²³, „Society for the Promotion of Science“ (JSPS)²²⁴ und die „Japan Science and Technology Agency“ (JST).²²⁵

In den Geschäftsbereich des METI fallen das „New Energy and Industrial Technology Development Organization“ (NEDO)²²⁶ und das „National Institute of Advanced Science and Technology“ (AIST)²²⁷ als zwei weitere „National Research and Development Agencies“.

²¹⁵ Kooperation International, Ministerien und Gremien: Japan (Abruf am 30.01.2024).

²¹⁶ <https://www.mext.go.jp/en/about/mext/index.htm> (Abruf am 30.01.2024).

²¹⁷ <https://www.meti.go.jp/english/index.html> (Abruf am 30.01.2024).

²¹⁸ Vgl. Selbstdarstellung des CSTI, <https://www8.cao.go.jp/cstp/english/policy/members.html> (Abruf am 30.01.2024).

²¹⁹ Vgl. Selbstdarstellung des Kabinettsbüros, <https://www.cao.go.jp/en/importantcouncil.html> (Abruf am 30.01.2024).

²²⁰ Kooperation International, Ministerien und Gremien: Japan (Abruf am 30.01.2024).

²²¹ <https://www.nistep.go.jp/en/>.

²²² RIKEN ist Japans größte Forschungseinrichtung für angewandte Forschung und Grundlagenforschung in verschiedenen Feldern, <https://www.riken.jp/en/about/overview/index.html> (Abruf am 30.01.2024).

²²³ <https://www.amed.go.jp/en/> (Abruf am 30.01.2024).

²²⁴ <https://www.jsps.go.jp/english/> (Abruf am 30.01.2024).

²²⁵ <https://www.jst.go.jp/EN/> (Abruf am 30.01.2024).

²²⁶ <https://www.nedo.go.jp/english/index.html> (Abruf am 30.01.2024).

²²⁷ https://www.aist.go.jp/index_en.html (Abruf am 30.01.2024).

4.5.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Nationale, öffentlich finanzierte Technologieprognosen haben in Japan eine lange Tradition. Zentraler Akteur ist heute das NISTEP, das alle fünf Jahre Foresight-Prozesse für die Bereiche Wissenschaft und Technologie durchführt. Eine Übersicht über die Entwicklung dieser Foresight-Prozesse gibt die folgende Abbildung 4-10.

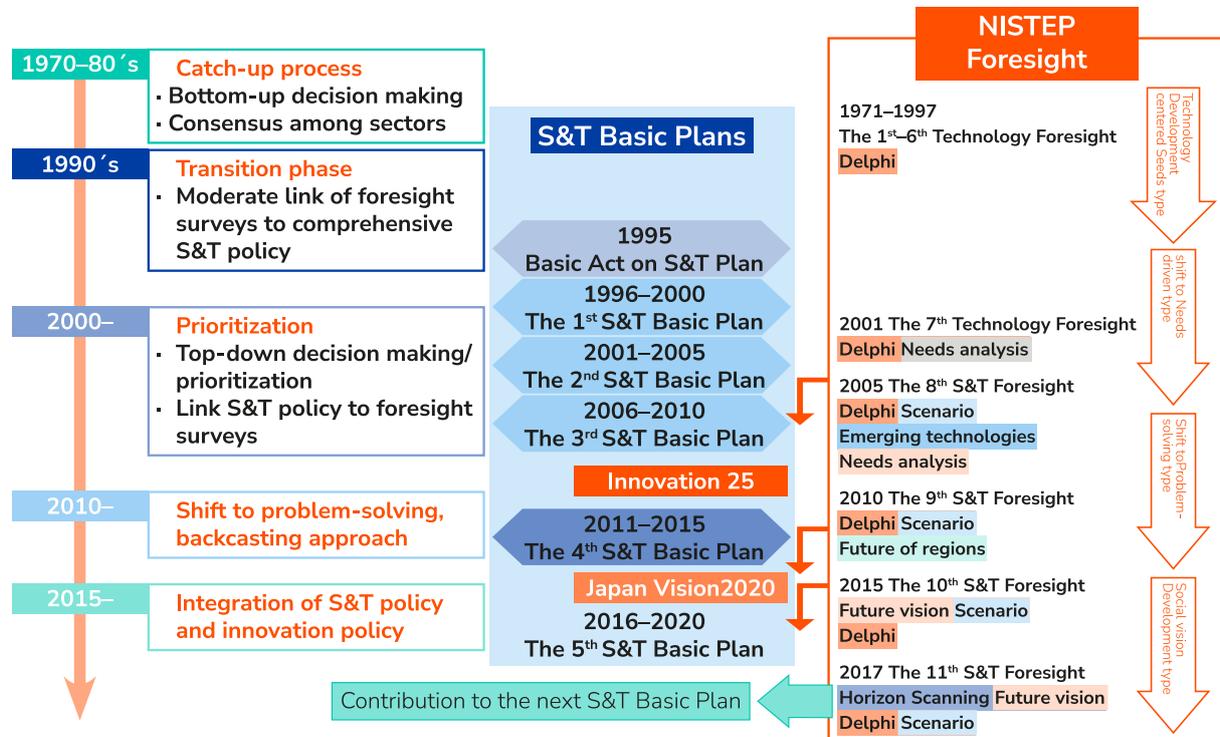


Abbildung 4-10: Entwicklungsgeschichte der NISTEP- Foresight-Prozesse.

Quelle: NISTEP (2020a), S. 32.

Delphi-Befragungen sind – wie Abbildung 4-10 zu entnehmen ist – eine Konstante der japanischen Foresight-Prozesse, die seit der Verabschiedung des Basisplans für Wissenschaft und Technologie im Jahr 1995 zeitlich passend zur Ausarbeitung der neuen Fassungen der Basispläne für Wissenschaft, Technologie und Innovation durchgeführt werden. Während die ersten Foresight-Studien ausschließlich zukünftige technologische Entwicklungen im Fokus hatten, hat sich ab der 7. Foresight-Studie das eingesetzte Methodenportfolio schrittweise ausgeweitet und gewandelt. So kam ab etwa dem Jahr 2000 die Suche nach Lösungen für gesellschaftliche Herausforderungen in den Blick und ist in der 10. und 11. Foresight-Studie von der Betrachtung gesellschaftlicher Visionen abgelöst worden. Hierbei wird zunächst die Frage nach Zukunftsvisionen für eine bessere Gesellschaft diskutiert, die dann als Hintergrund für die Beantwortung der für diese Vision relevanten wissenschaftlichen und technologischen Fragen dienen.

4.5.3 11. Foresight-Studie für Wissenschaft und Technologie

Die 11. Foresight-Studie für Wissenschaft und Technologie betrachtete sowohl die erwartete wissenschaftliche und technologische Entwicklung als auch die wünschenswerte Zukunft der japanischen Gesellschaft mit dem Ziel, grundlegende Informationen für die Diskussion und Formulierung des 6. Basisplans für Wissenschaft, Technologie und Innovation zu liefern.²²⁸

Der Aufbau der 11. Foresight-Studie ist in Abbildung 4-11 dargestellt. In Anbetracht der zunehmend komplexen Wechselbeziehung zwischen Technologie und Gesellschaft wurde die Studie ausgehend von einem „Horizon Scanning“ mit zwei komplementären Perspektiven auf die Zukunft der Gesellschaft einerseits und auf die Zukunft von Wissenschaft und Technologie andererseits angelegt. Diese Perspektiven wurden abschließend in der Diskussion über integrierte Zukunftsbilder zusammengeführt.

Außerdem bestand ein Bedarf für die Diskussion von Querschnittsthemen jenseits etablierter Felder in Wissenschaft und Technik. Diesem Bedarf wurde durch eine interdisziplinäre Betrachtung und Clusterung von sogenannten Wissenschafts- und Technologiebereichen für die Zukunft Rechnung getragen.²²⁹ Basis dieser Betrachtung war, grundlegende Informationen über die erwartete mittel- bis langfristige Entwicklung der einzelnen wissenschaftlichen und technologischen Themen (im Original „topics“ genannt) zu gewinnen, die Gegenstand der Delphi-Befragung waren und im Sinne einer Betrachtung von Technologieprognosen auch den Schwerpunkt der nachfolgenden Inhaltsanalyse bilden.

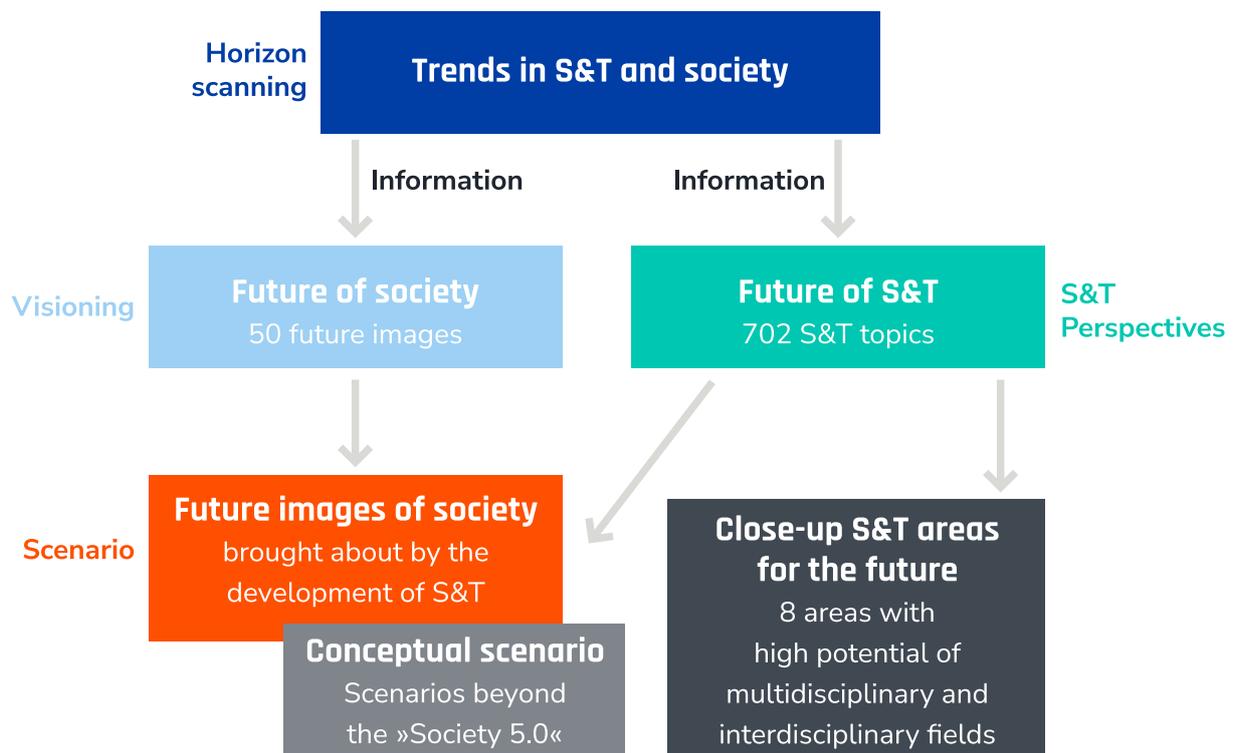


Abbildung 4-11: Struktur des japanischen 11. Foresight-Prozesses.

Quelle: NISTEP, 2020c, S. 2.

²²⁸ NISTEP (2020b), S. 1.

²²⁹ NISTEP (2020c).

4.5.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie	<i>The 11th S&T Foresight: S&T Foresight 2019</i> ²³⁰
Auftraggeber:	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), Japan ²³¹
Durchgeführt von:	Science and Technology Foresight Center, National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP) ²³²
Erscheinungsjahr:	2020 (für den ausgewerteten Ergebnisbericht in englischer Sprache)
Zeithorizont:	variabel bis über 2051 hinaus

Im hier betrachteten Delphi-Teil wurden 702 „Themen“ (“topics“) anhand der Kriterien:

- Wichtigkeit,
- Kompetenz in Japan,
- Zeithorizont für den wissenschaftlich-technischen Realisierungszeitraum weltweit,
- Zeithorizont für die soziale Realisierung in Japan nachfolgend zur wissenschaftlich-technischen Realisierung irgendwo auf der Welt

bewertet. Die Einschätzungen zur Bewertung wurden in zwei Runden im Jahr 2019 durch insgesamt mehrere Tausend Expert*innen in Japan abgegeben.

Dabei wurden die folgenden Bewertungsfragen und Antwortmöglichkeiten vorgegeben.

Relevanz

Gegenwärtige Relevanz des Themas für Japan, um in 30 Jahren eine wünschenswerte Gesellschaft zu realisieren.

Antwortmöglichkeiten: *sehr hoch, hoch, weder hoch noch niedrig, niedrig, sehr niedrig, ich bin nicht sicher.*

Internationale Wettbewerbsfähigkeit

Niveau der gegenwärtigen internationalen Wettbewerbsfähigkeit Japans in Bezug auf das Thema.

Antwortmöglichkeiten: *sehr hoch, hoch, weder hoch noch niedrig, niedrig, sehr niedrig, ich bin nicht sicher.*

Erwartung für die wissenschaftliche/technologische Realisierung

Zeithorizont, bis wann das Thema wissenschaftlich/technologisch irgendwo auf der Welt realisiert sein wird. (Dabei bedeutet „wissenschaftliche/technologische Realisierung“ die Etablierung einer entsprechenden technologischen Umgebung.)

Antwortmöglichkeiten: *bereits realisiert, bis 2025, 2026 bis 2030, 2031 bis 2035, 2036 bis 2040, 2041 bis 2045, 2046 bis 2050, 2051 oder später, wird nicht realisiert werden, ich bin nicht sicher.*

²³⁰ https://www.nistep.go.jp/en/?page_id=56 (Abruf am 04.12.2024).

²³¹ <https://www.mext.go.jp/en/about/mext/index.htm> (Abruf am 30.01.2024).

²³² <https://www.nistep.go.jp/en/> (Abruf am 05.12.2024).

Erwartung für die gesellschaftliche Realisierung

Zeithorizont, bis wann das Thema gesellschaftlich in Japan realisiert sein wird, auf die Realisierung irgendwo auf der Welt folgend. (Dabei bedeutet "gesellschaftliche Realisierung" eine Situation, in der die realisierte Technologie als Produkt oder Dienstleistung genutzt werden kann.)

Antwortmöglichkeiten: *bereits realisiert, bis 2025, 2026 bis 2030, 2031 bis 2035, 2036 bis 2040, 2041 bis 2045, 2046 bis 2050, 2051 oder später, wird nicht realisiert werden, ich bin nicht sicher.*

Relevanz-Bewertungen wurden anhand der folgenden Punkteverteilung berechnet:

sehr hoch (+2), hoch (+1), weder hoch noch niedrig (0), niedrig (-1), sehr niedrig (-2).

Die 702 Themen der 11. Foresight-Studie sind in die folgenden Kapitel und Teilkapitel gegliedert:

Gesundheit/Medizin/Lebenswissenschaften

- Pharmazeutika (Themen 1 – 20)
- Medizinische Ausrüstung (21 – 32)
- Vergreisung und nichtinfektiöse Erkrankungen (33 – 51)
- Hirnforschung (52 – 61)
- Management von Gesundheitskrisen (62 – 71)
- Informationstechnik für Gesundheit und Sozialmedizin (72 – 84)
- Grundlagentechnologien für die Lebenswissenschaften (85 – 96)

Land- und Forstwirtschaft/Fischerei/Lebensmittel/Biotechnologie

- Produktionsökosystem (97 – 115)
- Lebensmittel-Ökosystem (116 – 127)
- Ressourcen-Ökosystem (128 – 141)
- Systemplattformen (142 – 153)
- Biotechnologie der nächsten Generation (154 – 168)
- Biomasse (169 – 177)
- Sicherheit und Gesundheit (178 – 186)
- Gemeinschaft (187 – 193)

Umwelt/Ressourcen/Energie

- Energieumwandlung (194 – 218)
- Energiesysteme (219 – 230)
- Ressourcen und 3Rs (reduce, reuse, recycle) (231 – 258)
- Wasser (259 – 270)
- Erderwärmung (271 – 277)
- Umweltschutz (278 – 293)
- Risikomanagement (294 – 299)

Informations- und Kommunikationstechnologie

- Zukünftiges, soziales Design (300 – 304)
- Datenwissenschaft und KI (305 – 315)
- Computersystem (316 – 327)
- IoT und Robotik (328 – 336)
- Netzwerk-Infrastruktur (337 – 347)
- Sicherheit und Privatsphäre (348 – 357)
- Dienstleistungsforschung (358 – 369)
- IT-Anwendungen in Industrie und Wirtschaft (370 – 379)
- Unterstützung für die Gestaltung von Politik und Institutionen (380 – 387)
- Soziale Implementierung (388 – 397)
- Interaktion (398 – 406)

Materialien/Geräte/Prozesse

- Substanzen und Materialien (407 – 417)
- Prozesse und Fertigung (418 – 429)
- Rechnergestützte Wissenschaft und Datenwissenschaft (430 – 442)
- Fortgeschrittene Mess- und Analysemethoden (443 – 458)
- Angewandte Geräte und Systeme für IKT und Nanoelektronik (459 – 472)
- Angewandte Geräte und Systeme für Umwelt und Energie (473 – 481)
- Angewandte Geräte und Systeme für Infrastruktur und Mobilität (482 – 492)
- Angewandte Geräte und Systeme für Lebenswissenschaften und Biotechnologie (493 – 507)

Städte/Architektur/Bauwesen/Transport

- Landnutzung (508 – 518)
- Architektur (519 – 530)
- Einrichtungen der sozialen Infrastruktur (531 – 541)
- Städte und Umwelt (542 – 550)
- Produktionssystem im Bauwesen (551 – 559)
- Transportsystem (560 – 571)
- Zug, Schiff und Flug (572 – 584)
- Technologien zum Katastrophenschutz und zur Katastrophenbewältigung (585 – 593)
- IT zum Katastrophenschutz und zur Katastrophenbewältigung (594 – 602)

Weltraum/Ozean/Erde/Grundlagenforschung

- Weltraum (603 – 613)
- Ozean (614 – 623)

- Erde (624 – 636)
- Beobachtung und Vorhersage (637 – 646)
- Mathematik und Informationswissenschaften (647 – 657)
- Elementarteilchen, Kerne und Beschleuniger (658 – 666)
- Synchrotronstrahlung (667 – 678)
- Teilchenstrahlen: Neutronen, Myonen, geladene Teilchen (679 – 691)
- Optische Technologien und Quantentechnologien (692 – 702)

4.5.3.2 Inhaltsanalyse

Die nachfolgend wiedergegebenen Aussagen stammen aus dem Anhang „Ergebnisse der Befragung“ in NISTEP (2020b) auf den Seiten 26 – 61. Davon wurden hier solche Themen ausgewählt, die im Mittel von allen antwortenden Expert*innen mit einer hohen oder sehr hohen Relevanz bewertet wurden, d. h. deren Relevanz-Score größer oder gleich 1.00 ist.

Dabei wird die folgende tabellarische Darstellung verwendet: Die erste Spalte enthält eine stichwortartige Beschreibung des Themas. Dann folgen Spalten mit der Jahreszahl des erwarteten Realisierungszeithorizonts irgendwo auf der Welt und mit der Jahreszahl des erwarteten gesellschaftlichen Realisierungszeithorizonts in Japan. Die anschließenden Spalten enthalten den Wert des Relevanz-Scores sowie als Quellenangabe die Nummer des Themas zusammen mit dem Wert des Relevanz-Scores.

Energie

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Technologie zur dreidimensionalen Echtzeit-Visualisierung des Stoffaustauschs und der Stoffumwandlung in Batterien während des Lade- und Entladevorgangs.	2027	2028	1,06	444
Operando-Analyse (d. h. Analyse im Betrieb) der Struktur und Eigenschaften von Grenzflächen in Festkörpern – anwendbar auf u. a. wiederaufladbare Festkörperbatterien, Elemente der Leistungselektronik und Solarzellen.	2027	2028	1,05	447
Wasserstoffproduktion mit überschüssigem Strom aus Sonnen- und Windenergie.	2027	2031	1,18	229
Ultrahocheffiziente Wärmepumpe für Verbraucher (COP \geq 12 für Klimatisierung, COP \geq 8 für Warmwasserbereitung).	2028	2030	1,03	208
Technologie zur Steuerung der dezentralen Energieversorgung, einschließlich erneuerbarer Energien, um die Widerstandsfähigkeit des Energiesystems gegenüber Naturkatastrophen zu erhöhen.	2028	2031	1,24	299
Langlebige und kostengünstige wiederaufladbare Batterien für Elektroautos, die nicht ersetzt werden müssen (Lebensdauer: 15 Jahre, Kosten: \leq 30 €/kWh).	2029	2032	1,48	227

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Batterien hoher Kapazität und hoher Leistung mit einer Energiedichte von 1 kWh/kg oder mehr und einer Leistungsdichte von 1 kW/kg oder mehr (im Automobilbereich würde dies einer Reichweite von 500 km bei einer Batterie von derzeitiger Größe undzeitigem Gewicht entsprechen).	2030	2032	1,5	474
Langlebige und kostengünstige wiederaufladbare Batterie im MW-Maßstab, um Netzanschlüsse zu stabilisieren (Lebensdauer: 20+ Jahre, Kosten: ≤ 90 €/kWh).	2030	2033	1,32	226
Mit dem Ziel einer Wasserstoffgesellschaft, Entwicklung einer Brennstoffzelle, die nur noch ein Zehntel oder weniger der im Jahr 2018 verwendeten Menge an Edelmetallen unter Berücksichtigung der Alterung des Katalysators benötigt.	2032	2033	1,23	475
Technologie zur langfristigen Speicherung von Wasserstoff, die eine wirtschaftliche und stabile Versorgung im großen Maßstab ermöglicht.	2032	2034	1,1	217
Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von über 50 %.	2033	2036	1,31	473
Künstliche Photosynthese oder Katalysator zur Photoreduktion mit einer Energieeffizienz von 20 % oder mehr beim CO ₂ -Recycling (Synthese von Brennstoffen oder Chemierohstoffen).	2036	2039	1,07	479

Materialtechnik

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Technologie zur In-situ-Beobachtung, die dreidimensionale Spannungen und Dehnungen, Magnetfeldverteilungen usw. von Funktions- und Konstruktionswerkstoffen während des tatsächlichen Produktionsprozesses mittels Neutronen und Röntgenstrahlen sichtbar macht.	2026	2028	1,21	680
Dreidimensionale Visualisierung von Mikrostrukturen und Magnetfeldern in metallischen Werkstoffen durch Entwicklung einer verbesserten Bildgebung mit Neutronenstrahlen hoher Intensität.	2027	2028	1,04	685
Technologie zur Beobachtung der lokalen Struktur und des elektronischen Zustands mit einer räumlichen Auflösung im Nanometer-Bereich und einer zeitlichen Auflösung im Femtosekunden-Bereich, die für die Aufklärung von Funktionsmechanismen und die Kontrolle von Funktionsmaterialien erforderlich ist (elektronische Materialien, magnetische Materialien, Katalysatormaterialien, Batteriematerialien).	2027	2029	1,38	670
Konzertierte/verbundene Technik von Methoden der Informatik und Simulation wie Ab-Initio-Berechnungen und molekulardynamische Simulationen.	2027	2029	1,09	436
Technologie zur Materialverarbeitung und -kontrolle mit begleitender Analyse von Struktur und Funktion über große Skalen (nm bis mm) unter komplexer und komplementärer Verwendung mehrerer Strahlungstypen (Neutronen, Synchrotronstrahlung, Positronen, Laser, Ionen usw.).	2028	2029	1,23	683

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Multiskalen-Simulation zur ganzheitlichen Analyse und Vorhersage zeitabhängiger Veränderungen von der atomaren Ebene chemischer Reaktionen bis hin zu makroskopischen Eigenschaften und deren Verschlechterungen unter dem Einfluss externer Faktoren wie Reibung, mechanischer Beanspruchung, elektromagnetischer Felder, Wärme, Photonen, Bindemittel usw.	2029	2032	1,12	430
Kombination von numerischer Simulation und innovativer Messtechnik zur Aufklärung der Mikrostruktur mit Nanometerauflösung sowie der Dynamik einschließlich chemischer Reaktionen.	2029	2032	1,00	433
Technologie zur Abschätzung der Struktur, Komponenten und Prozesse von Werkstoffen mit den angestrebten Funktionen und Eigenschaften durch Anwendung von Simulationen mit verbesserten Vorhersagemodellen auf Basis von Datenanpassungen, statistischer Mechanik usw. auf inverse Probleme in der Materialwissenschaft.	2029	2032	1,13	439
Hybride Hochleistungsstrukturwerkstoffe (in Bezug auf strukturelle Leistungsmerkmale, Design, Korrosionsbeständigkeit usw.) aus Eisen und nichtmetallischen Werkstoffen (Holz, Beton, kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff usw.).	2029	2032	1,03	482
Technologie zur Multiphysik-Simulation von Werkstoffen, die elektronische und atomare Skala, mesoskopischen Strukturen, makroskopischen Strukturen und industriellen Bauteile umfassend.	2030	2033	1,13	432
Leichtbau-Strukturwerkstoffe auf Kohlenstoffbasis mit hoher Festigkeit, hoher Korrosionsbeständigkeit und langer Lebensdauer, die für Großstrukturen wie Superbrücken verwendet werden können, und damit verbundene Recyclingtechnologie.	2030	2034	1,04	411
Technologien, um die physiologische Sicherheit von Nanomaterialien zu bewerten.	2031	2032	1,05	449
Strukturmaterialien mit Selbstreparaturfunktionen, die altersbedingten Verfall und Beschädigungen verhindern und die Funktion von Strukturen wie z. B. Gebäuden aufrechterhalten können.	2033	2035	1,02	483

Basistechnologien der Digitalisierung

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
sEntwicklung und Nutzung von hochbrillanten Synchrotron-Strahlquellen für weiche Röntgenstrahlung in Japan.	2024	2024	1,43	667
Hochgeschwindigkeitsmessungen (mit einer Zeitauflösung von ps bis fs) <i>in operando</i> mit Synchrotronstrahlung zur direkten Visualisierung der Kinetik chemischer Reaktionen sowie der Dynamik in Materialien und elektronischen Geräten.	2026	2029	1,13	668

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Kohärente Beugungsbilder von aperiodischen Funktionsmaterialien wie (Batterie-/Solar-)Zellen, Glas, Polymeren, Oberflächen und Grenzflächen unter Verwendung hochkohärenter Synchrotronstrahlung.	2027	2028	1,17	672
Optische Kommunikationstechnologie mit großer Übertragungskapazität und hoher Verbindungsdichte, wie Mehrkernfasern und Silizium-Photonik.	2027	2028	1,07	344
Rentable Röntgenquelle von ultrahoher Brillanz auf Basis eines Speicherrings mit ultra-niedriger Emittanz.	2027	2029	1,21	669
Entwicklung von zweidimensionalen Hochgeschwindigkeitsröntgendetektoren mit hoher räumlicher Auflösung (< 10 µm) und hoher Empfindlichkeit (Quantenausbeute > 0,8) zur optimalen Nutzung von Freie-Elektronen-Lasern.	2028	2029	1,01	675
Röntgenmikroskop mit einem Sichtfeld in der Größenordnung von Mikrometern und einer räumlichen Auflösung im Sub-Nanometer-Bereich, das die elementspezifische Struktur und den elektronischen Zustand von Materialien dreidimensional abbilden kann.	2028	2030	1,22	671
Photonisches Netz mit 1 Pbit/s, das auf dem WDM-System basiert, mit einem Ultrahochgeschwindigkeitsübertragungssystem mit 1 Tbit/s pro Wellenlänge ausgestattet.	2028	2031	1,02	700
Quantensensoren wie supraleitende Qubits, NV-Zentren (Nitrogen-Vacancy) mit Kohärenzzeiten von mehr als 10 ms.	2028	2032	1,16	694
Nichtflüchtiger Speicher mit der Lese- und Schreibgeschwindigkeit von DRAMs und der hohen Kapazität von Flash-Speichern sowie einer Lebensdauer von über 50 Jahren.	2029	2030	1,21	462
Technologie, die in der Metrologie, den Materialwissenschaften usw. eingesetzt wird und die freie Steuerung und Kontrolle aller Parameter von Lichtwellen sowie die Erzeugung beliebiger Wellenformen je nach Bedarf ermöglicht, wie z. B. Erzeugung eines Superbreitbandspektrums, zeitliche Kontrolle von Phasenlagen, präzise Handhabung, Nutzung und Synthese von Moden usw.	2029	2031	1,02	693
Technologie zur Verbindung breitbandiger kohärenter Frequenzen von Radiowellen, Terahertz, Infrarot, sichtbarem Licht, ultraviolettem Licht bis hin zum Röntgenbereich.	2029	2032	1,05	692
Ultrakleines Gerät als Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) mit integrierten Funktionen der Sensorik, Informationsverarbeitung und Aktorik zur Beschleunigung und Unterstützung verschiedener geistiger und körperlicher Fähigkeiten des Menschen wie Bewegung, Gedächtnis, Informationsverarbeitung und natürlicher Heilung.	2029	2032	1,20	459
Hocheffiziente Leistungshalbleiter für elektrische Energie und Antriebe, die Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) übertreffen.	2029	2033	1,18	412
Quantenrelais-Technologie zur Ermöglichung eines Quantenkryptographie-Kommunikationsnetzwerks mit Aufrechterhaltung des Quantenzustands über Entfernungen von mehr als 1000 km.	2029	2034	1,17	695
Superparalleler KI-Chip mit niedrigem Energieverbrauch durch monolithische dreidimensionale Integration von steilen On-/Off-Transistoren und analogen Speichern.	2030	2032	1,06	465
Hybrides System aus herkömmlichen Computern, Quantenannealern und Quantencomputern auf Basis von Quantengattern, das die Effizienz von Arzneimittelentwicklung, Investitionen, Finanzentscheidungen usw. um drei Größenordnungen steigert.	2030	2035	1,08	696
Quantensimulator, der die Entwicklung von Medikamenten und Katalysatoren auf der Basis quantenchemischer Berechnungen ermöglicht.	2031	2033	1,09	469

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Innovativ sichere Quantenkommunikation unter Einsatz von Quantenkryptographie.	2033	2034	1,00	345
Informationsverarbeitung auf Basis von Einzelspin-Bauelementen mit hoher Geschwindigkeit und niedrigem Energieverbrauch jenseits der Grenzen von CMOS-Bauelementen.	2033	2035	1,10	463
Realisierung eines Quanteninternets zwischen Quantencomputern durch hocheffiziente Quantenkommunikationstechnologie.	2034	2038	1,00	468

Biotechnologie

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Analyse der Struktur und Dynamik von Proteinen unter biologisch aktiven Bedingungen.	2028	2030	1,00	674
Biokompatibler Werkstoff mit biomimetischer Oberfläche und/oder Struktur mit wesentlich verbesserter Haltbarkeit und Sicherheit.	2028	2031	1,07	499
Technologien zum Ersatz fossiler Ressourcen in Produkten durch forstwirtschaftliche Ressourcen (Straßenbeläge, Baustoffe, Bekleidung, Farben, Konsumgüter).	2029	2031	1,15	176
System und Biomaterial für die In-vitro-Kultivierung biologischer Gewebe.	2029	2033	1,26	501
Technologie für die praktische Anwendung von Geräten und Gebrauchsgegenständen, die ausschließlich aus biologisch abbaubaren Materialien bestehen (z. B. Gegenstände, die im Körper und in der Umwelt verbleiben können).	2030	2032	1,16	506
Produktion von regenerierten Geweben und Organen mittels 3D-Drucktechnologie (Biofabrikation).	2031	2034	1,06	502
Biologisch abbaubare Materialien oder Materialien mit biochemischen Funktionen, die CO ₂ binden und Abfallrecyclingprozesse ermöglichen.	2031	2034	1,06	507

Arbeit und Wertschöpfung

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Entwicklung eines Systems, das durch Messung und Modellierung der Fähigkeiten von Personen aus dem Handwerk (oder fachlich erfahrenen Expert*innen etc.) stilles Wissen automatisch archiviert.	2026	2029	1,16	422
Realisierung unbemannter Fabriken, unbemannter Geschäfte, unbemannter Logistikkäfer, unbemannter Hauszustellung durch die umfassende Verbreitung von Arbeitsrobotern in der Drei-Güter-Industrie (Lebensmittel, Kosmetik und Pharmazeutika), der Dienstleistungsindustrie und Logistikindustrie.	2026	2029	1,24	336
Ultrapräzise Bearbeitungstechnik mit einer Genauigkeit im Angström-Bereich (Bearbeitung, Analyse, Prüfung, In-situ-Überwachung) mit verbesserter Strahltechnik (Ionen, Elektronen, Laser usw.), Anlagensteuerungstechnik und Sensorik.	2027	2030	1,09	429
Der Umgang mit geistigem Eigentum, das auf offener Innovation beruht, wurde geklärt. Der Anteil neuer Produkte und Dienstleistungen aus offener Innovation macht mehr als 30 % des gesamten Neugeschäfts aus.	2027	2030	1,00	371
Übergang zu einer hochproduktiven Gesellschaft mit hochflexiblen Beschäftigungsverhältnissen, beruhend auf Mehrfachbeschäftigung und darauf, dass Anwesenheit im Büro nicht gefordert wird.	2027	2030	1,27	392
Technologie für die sinnvolle Sammlung und Nutzung von seltenen Metallen aus Elektrokleingeräten, Abfällen und Flugasche aus der Verbrennung von Klärschlamm.	2028	2031	1,27	242
Technologie zur Herstellung funktionaler Strukturen, die aus mehreren Materialien (Multi-Materialien) und Freiformen bestehen.	2028	2031	1,04	423
Bei der Unternehmensbewertung erreicht der Anteil der immateriellen Vermögenswerte durchschnittlich 70 % des Unternehmenswertes, weil die Bedeutung von geistigem Eigentum oder der Zahl von Kund*innen zugenommen hat.	2028	2032	1,01	370
Technologie für konsistente Simulationen des Syntheseprozesses, des Bearbeitungsprozesses und der Funktionsvorhersage unter realen Einsatzbedingungen.	2029	2032	1,18	431
Sortiersensorik, um die Selektions- und Sortiersysteme für Abfall weiter zu verbessern.	2030	2031	1,00	244
Technologie zur wirtschaftlichen Trennung und Rückgewinnung wertvoller Metalle aus Altprodukten wie z. B. Spezialstählen mit geringem Gehalt an seltenen Metallen.	2030	2032	1,14	241
Fortgeschrittene physikalische Trenn- und Anreicherungstechnologie, um das fortgeschrittene Metallrecycling zu fördern.	2032	2034	1,00	250
Bergbau- und Pumpentechnik für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe aus dem Meer.	2032	2035	1,05	232

Gesundheit und Lifestyle

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Gesundheitspolitik, die Big Data über den Lebensstil (anonymisierte Informationen) nutzt, die sich in unserem täglichen Leben ansammeln (Einkäufe, Mahlzeiten usw.).	2025	2028	1,03	72
Überwachungssystem, das Verhaltenssensoren verwendet, um die Sicherheit in medizinischen und Pflegeeinrichtungen sowie im häuslichen Bereich zu gewährleisten.	2025	2028	1,15	75
Miniaturisierung und Einführung von künstlicher Intelligenz (KI) in nichtinvasive Diagnosegeräte (Bildgebung usw.), welche eine schnelle Identifizierung und Früherkennung von Läsionen ermöglichen.	2026	2028	1,46	21
Einfache und preiswerte funktionelle Hilfsmittel für den Bewegungsapparat, der durch Krankheit oder Alterung geschwächt ist.	2026	2029	1,16	29
Blutbasierte Früherkennung und Pathologie-Monitoring von Krebs und Demenz.	2027	2029	1,46	33
Neue Technologie für Peptid-/Antikörper-Medikamente, die auf intrazelluläre Zielmoleküle wirken.	2027	2029	1,03	2
Große Kohortenstudie der Gesundheitsversorgung über den gesamten Lebensverlauf.	2027	2029	1,00	81
Technologie, die KI verwendet und zur Verbesserung der Gesundheit durch Nutzung von Big Data in Bezug auf Ernährung und Gesundheitsversorgung beiträgt.	2027	2029	1,15	182
Roboter-ausrüstung, die die kognitiven und motorischen Funktionen älterer und leicht behinderter Menschen unterstützt und ihnen ein unabhängiges Leben ermöglicht, sowie fahrerlose Technologien für Roboter-ausrüstungen und Roboter, die sich mit geringer Geschwindigkeit über kurze Strecken fortbewegen.	2028	2030	1,47	335
Technologien zur Bewertung der Wirksamkeit und Sicherheit basierend auf künstlichen Organen und Organoiden, die aus pluripotenten Stammzellen gewonnen werden und Funktionen im lebenden Körper reproduzieren können (Pharmazeutika).	2028	2030	1,10	5
Immuntherapie für solide Tumore durch Kontrollieren der zellulären Immunität mittels genetisch veränderter T-Zellen.	2028	2030	1,04	18
Verfügbarkeit eines einfachen, tragbaren Dialysegerätes, das die Belastung für die Patient*innen verringert und medizinische Ausgaben senkt.	2028	2030	1,07	23
Ultraweit verzweigtes Krankenhaussystem (regionales Netz von Heimen, Kliniken und Zentralkrankenhäusern), das die Behandlung und Pflege von Demenzkranken usw. aus der Ferne ermöglicht.	2028	2030	1,36	27
Ausscheidungshilfen, die keine fremde Hilfe erfordern, für Krebspatient*innen im Endstadium mit Darmfistel, die am Pflegeort anwendbar sind.	2028	2030	1,02	28
Methoden zur Vorbeugung und Behandlung altersbedingter motorischer Funktionsstörungen.	2028	2030	1,56	39
Am Körper zu tragende Geräte zur Überwachung von In-vivo-Daten (Pharmakokinetik, Krebsmarkern, Infektionen, anderen Blutbestandteilen).	2028	2031	1,32	497
Pharmakotherapie auf der Grundlage eines systematischen Verständnisses des pathologischen Zustands (Netzwerk von Genen) bei chronischen Erkrankungen.	2028	2032	1,10	1
Immuntherapien für Krebs, Autoimmun- und Allergierkrankungen und Vorhersage ihrer Auswirkungen.	2029	2030	1,24	34
Ultraleichte Sensoren, die in kontaminierten Gebieten und Flugzeugen eingesetzt werden können, zur schnellen Erkennung einer Infektion mit bestimmten Krankheitserregern sowie der Infektiosität für andere Personen und der Anfälligkeit nicht infizierter Personen.	2029	2031	1,00	62

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Ein System zur Kontrolle des Auftretens und der Ausbreitung arzneimittelresistenter Infektionen [Wissenschaft (Arzneimittel usw.) und gesellschaftliche Technik (neue Ansätze zur Infektionskontrolle usw.)].	2029	2032	1,27	67
Behandlung von Funktionsstörungen neuronaler Schaltkreise des zentralen Nervensystems (Parkinson, amyotrophe Lateralsklerose (ALS), Rückenmarksverletzungen usw.) durch Zelltransplantation oder Gentherapie.	2029	2032	1,18	9
Standardisierte Verfahren mit chirurgischen Robotern der nächsten Generation und künstlicher Intelligenz (KI), welche unabhängig von den Fertigkeiten des/der Chirurg*in sind.	2029	2032	1,01	30
Technologien zur Erkennung von Anzeichen des Ausbruchs einer Krankheit oder einer Verschlechterung des Gesundheitszustands als Beitrag zur präventiven und kurativen Medizin unter Verwendung dynamischer Biomarker-Netzwerke.	2029	2033	1,08	87
Technologien im Bereich der regenerativen Medizin zur Steuerung der Funktionen von körpereigenen oder transplantierten Stammzellen.	2030	2033	1,12	10
Medikamente zur Heilung von Diabetes auf der Grundlage einer Technologie zur Regeneration und Vermehrung von β -Zellen der Bauchspeicheldrüse.	2030	2033	1,10	14
Biomaterialien und Verarbeitungstechnologien für die langfristige Konservierung von Organen zur Transplantation.	2030	2034	1,21	500
Methode zum Durchbrechen des <i>circulus vitiosus</i> durch Aufdecken von Wechselwirkungen zwischen dem autonomen Nervensystem, psychischem Stress, Depressionen und lebensstilbedingten Krankheiten.	2030	2034	1,16	35
Medizintechnik zur Wiederherstellung der Hör- oder Sehfunktion durch Zelltherapie, Gentherapie usw.	2031	2034	1,01	12
Methoden zur Vorbeugung und Behandlung von Zivilisationskrankheiten und neurodegenerativen Erkrankungen, die auf die Stoffwechsellkommunikation zwischen Organen abzielen.	2031	2035	1,14	47
Therapien zur Modifikation des Krankheitsverlaufs zur wirksamen Prävention und Behandlung neurodegenerativer Erkrankungen wie Alzheimer auf der Grundlage präsymptomatischer Biomarker.	2032	2035	1,55	58
Implantierte Geräte für das Gesundheitsmanagement (Untersuchung, Diagnose, Behandlung), die semi-permanent durch Bioenergie betrieben werden.	2032	2037	1,11	498
Behandlungen und Interventionen für Autismus-Spektrum-Störungen, die auf hirnrorganischen Störungen beruhen, so dass ein geregeltes soziales Leben ermöglicht wird.	2034	2037	1,06	57
Aufklärung der Mechanismen (der Informationsverarbeitung) des neuronal-glialen Netzwerks hinsichtlich seiner Entwicklung, Aufrechterhaltung und Alterung.	2035	2039	1,09	52
Neue Therapiemethode mit sofortiger Wirkung und ohne Rückfälle basierend auf der Klassifikation der Hirnpathologie von Depression und bipolarer Störung auf zellulärer Ebene.	2036	2039	1,18	55
Klärung der Funktionen des Gehirns in Bezug auf Gedächtnis, Lernen, Kognition, Emotionen usw. sowie Verständnis der neuronalen Mechanismen höherer kognitiver Funktionen wie Bewusstsein, Sozialverhalten und Kreativität.	2037	2041	1,27	53

Ernährung

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Verbreitung der unbemannten Landwirtschaft mit fahrerlosen Traktoren und anderen solchen Geräten, Verbreitung der Präzisionslandwirtschaft mittels des Internets der Dinge und eines Umweltkontrollsystems auf der Grundlage von Umweltdaten, welche durch diese Technologien gewonnen werden.	2026	2027	1.35)	332
System zur zerstörungsfreien quantitativen Echtzeit-Analyse der Qualität (Inhaltsstoffe, Eigenschaften, Reifegrad) von land-, forst- und fischwirtschaftlichen Produkten am Produktionsort.	2026	2028	1.13)	119
Agrarroboter, die Menschen ersetzen.	2026	2029	1.35)	115
Technologie zur Überwachung und Analyse der Wertschöpfungskette von Lebensmitteln, um den Verlust von Lebensmitteln zu reduzieren.	2027	2028	1.16)	122
Verschiedene, funktionelle Lebensmittel auf Basis des Konzepts Foodomics mit Blick auf die alternde Gesellschaft.	2027	2029	1.10)	121
Verfügbarkeit eines Systems zur Echtzeit-Überwachung von ökologischen und biologischen Informationen, das die frühzeitige Erkennung von Anomalien an Standorten der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft ermöglicht.	2028	2030	1.02)	149
Technologie für die Vorhersage und das Management von Ressourcenschwankungen auf Grundlage einer Bewertung der Auswirkungen der globalen Erwärmung auf land-, forst- und fischereiwirtschaftliche Ressourcen.	2028	2031	1.20)	145
Wachstumsvorhersage- und Diagnosesystem für landwirtschaftliche Nutzpflanzen durch Integration von kurz- bis mittelfristigen Wettervorhersagen und einem hochpräzisen Nutzpflanzenmodell, das biologisches Wissen und KI kombiniert.	2028	2031	1.02)	108
Auf ökologischer Zirkulation basierende großformatige, geschlossene Aquakulturtechnik an Land für Fische wie bspw. Aale.	2029	2030	1.08)	100
Technologie zur Herstellung von Lebensmitteln, die keine Allergien auslösen, auf Basis einer Messtechnik für Allergene.	2029	2030	1.10)	120
Technologien wie KI, IoT und Robotik, die die Produktivität in der Landwirtschaft dramatisch steigern und den Arbeitskräfte- und Personalmangel beseitigen.	2029	2031	1.57)	389
Technologie zur hochpräzisen Bewertung von Fischereiresourcen mithilfe molekularbiologischer Ansätze.	2030	2032	1.20)	620
Prognosesystem für Nahrungsmittelangebot und -nachfrage auf der Grundlage von Trends bei dem Wachstum der Weltbevölkerung, der wirtschaftlichen Entwicklung und Pflanzenproduktion.	2032	2033	1.09)	188

Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Sensor zur In-situ-Detektion und Quantifizierung von Mikroplastik im Meer.	2027	2030	1,01	618
Integrierte Wasserbewirtschaftungstechnologie in dicht besiedelten Gebieten, einschließlich der Bewältigung von Überschwemmungen in Städten, Sturmfluten und Bodensenkungen verursacht durch lineare Regenbänder und Sturzregen.	2028	2029	1,36	261
Ozeanographisches Überwachungssystem, das weltweit in Echtzeit per Satellit Meeres-, Meeresoberflächentemperatur, Wellen, Meeresströmungen, Chlorophyll, Primärproduktion usw. erfasst.	2028	2029	1,06	641
Technologie zur Beobachtung globaler atmosphärischer Bedingungen wie Wasserdampf, Niederschlag und Aerosole durch den Einsatz von Satelliten usw. mit größerer Präzision und Empfindlichkeit als heute verfügbare Methoden.	2028	2030	1,31	637
Beobachtungs- und Datenverarbeitungssystem zur Entdeckung von Bodenschätzen, Meeresressourcen usw. unter Verwendung von Satelliten, Meeres- und Ozeansensoren sowie autonomen unbemannten Fahrzeugen (AUV) usw.	2028	2030	1,15	628
Echtzeitfähiges System mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zur meteorologischen Vorhersage und Bewertung des Katastrophenrisikos mittels Satelliten- und/oder meteorologischen Beobachtungsdaten.	2028	2030	1,33	146
Kostengünstiges System, das geeignet ist, die Ozeanversauerung auf globaler Skala automatisiert zu überwachen.	2028	2030	1,06	614
Ein System, das den Beitrag des langfristigen Klimawandels auf tatsächlich vorkommende Wetterextreme, wie Hitzewellen und Starkregen, rasch identifiziert.	2028	2030	1,01	645
Technologie, die es ermöglicht, die Auswirkungen des Klimawandels auf die Nahrungsmittelproduktion für jede Region und jedes Produkt vorherzusagen.	2029	2032	1,11	273
Technologie zur Erfassung des momentanen Stands und Bewertung der Auswirkungen von Kunststoffabfällen und -emissionen im Meer als System zur Emissionsminderung.	2029	2032	1,08	139
Technologie zur Dekontamination von radioaktiv verseuchtem Boden und Wasser, auf ein Niveau, das die Gesundheit nicht mehr gefährdet.	2030	2031	1,27	280
Technologie zum Umgang mit dem Risiko und dessen Reduzierung hinsichtlich gefährlicher Chemikalien, die langfristige Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, landwirtschaftliche Produktion und natürliche Ökosysteme haben.	2030	2032	1,13	295
Aufklärung über die Folgen der Versauerung des Meerwassers auf die Biodiversität, insbesondere auf Fischereiresourcen.	2030	2032	1,14	272
Aufklärung über die Mechanismen der Gesundheitsrisiken, die von Strahlung niedriger Dosis ausgehen, und Festlegung angemessener Sicherheitsstandards.	2030	2033	1,18	296
Forstwirtschaftliche Technologie, um Katastrophen durch Erdbeben zu vermeiden.	2031	2033	1,17	134
Methoden zur Risikobewertung seltener Naturkatastrophen.	2031	2034	1,20	298
Langfristige Vorhersage globaler Umweltveränderungen über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren unter Berücksichtigung der mit gesellschaftlichen Aktivitäten verbundenen Stoff- und Energiekreisläufe und basierend auf hochauflösenden atmosphärischen Zirkulationsmodellen, allgemeinen Modellen der Ozeanzirkulation und globalen Modellen zur Umweltprojektion.	2032	2035	1,07	277
Verbesserung der Schätzgenauigkeit der Klimasensitivität (durchschnittliche Erhöhung der globalen Oberflächentemperatur aufgrund einer Verdopplung der CO ₂ -Konzentration in der Erdatmosphäre nach Ablauf einer ausreichenden Zeitspanne) von 3 °C auf 1 °C.	2034	2036	1,13	275

Bauen und Wohnen

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Zerstörungsfreie Prüftechniken, die vor Ort eingesetzt werden können, um die Zuverlässigkeit der Inspektion und Diagnose von Infrastrukturen zu verbessern und den damit verbundenen Aufwand zu verringern.	2025	2026	1,53	541
Technologie der Roboterinspektion als Ersatz für die Inspektion von Gebäuden/Infrastruktur durch Menschen, die mit höheren Kosten und mehr Gefahren verbunden ist.	2025	2027	1,50	328
Technologie, die auf der Grundlage von Kamera- und biometrischen Sensordaten kontinuierlich die Arbeitsumgebung von Arbeitern erfasst (z. B. Höhenarbeit, Schwenkbereich von Kränen, Hitzestress) und automatisch Warnungen auslöst.	2026	2027	1,03	554
Plattform zum Teilen, Verknüpfen und Nutzen von Daten verschiedener Organisationen, um Stadt-bezogene Daten zu offenen Daten zu machen.	2026	2029	1,17	542
Numerische Simulation zur schnellen Bewertung der Anwendbarkeit und Haltbarkeit neuer Technologien und Materialien.	2027	2028	1,22	532
Technologie, die mittels Fernerkundung horizontal und vertikal versetzte Infrastruktur in einem weiten Bereich mit einer Genauigkeit im Millimeter-Bereich überwacht.	2027	2029	1,10	531
Aufbau einer Infrastrukturdatenplattform, die die automatische Sammlung und integrierte Nutzung von 4D-Daten (einschließlich Zeitreihen) für den gesamten Bauprozess von der Vermessung und Erkundung über die Planung und den Bau, der Überwachung und Inspektion bis zur Instandhaltung und Bewirtschaftung ermöglicht.	2027	2029	1,27	557
Auf BIM-Daten basierende Technologie mit Unterstützung durch Sensoren und Roboter zum Management von Bauprojekten von der Planung über den Bau bis zur Abnahme sowie Instandhaltung und Bewirtschaftung von Projekten.	2027	2029	1,14	558
Elektronische Landkarte, die zur nationalen Basiskarte wird, mit dynamischen Informationen und automatischer Aktualisierung.	2027	2030	1,12	552
Technologie zur Erkennung von Anomalien in Bauwerken des Hoch- und Tiefbaus und deren Fundamenten mittels eines auf einem schnell fahrenden Fahrzeug montierten Radars.	2028	2028	1,15	535
Technologie zur Echtzeitdiagnose des Alterungszustands im Inneren einer Infrastruktur.	2028	2029	1,29	489
Technologie zur Suche und Meldung von Auffälligkeiten, die Roboter und Sensoren basierend auf Konstruktions-, Bau- und früheren Inspektionsdaten automatisch und autonom erkennen und diagnostizieren.	2028	2029	1,29	551
Technologie zur Früherkennung von Deichbrüchen mittels einer Kombination von Vorhersage und Beobachtung.	2028	2030	1,22	512
Unbemannte Baumaschine, die anhand von Planungsdaten autonom bauen kann und dabei in der Lage ist, Veränderungen in den Arbeitsbedingungen und der Bauumgebung zu erkennen und zu berücksichtigen.	2028	2031	1,22	553
Technologie zur kontinuierlichen Erfassung und Analyse von Arbeitsfortschritten auf der Baustelle mittels KI, um die Prozesse angemessen zu steuern, zu optimieren und zu modifizieren.	2029	2030	1,03	555
Technologie, die mit Hilfe von Robotern, neuen Materialien und 3D-Druckern die Lebensdauer von Infrastruktureinrichtungen verlängert und ihre rasche Erneuerung ermöglicht.	2029	2030	1,16	537

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Infrastruktur mit hoher Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltschäden und äußeren Einflüssen.	2029	2030	1,27	538
Verbesserung und Normalisierung des Lebensumfelds für ältere Menschen, Menschen mit Behinderungen, Haushalte mit Kindern usw. durch den Einsatz von KI, IoT, Robotern usw., die in das Gebäude und seine Ausstattung integriert sind.	2029	2030	1,38	522
Neue Technologie, die IKT und KI in Wohngebäude und Mobilität integriert, um variable Anpassungen im Laufe der Zeit zu ermöglichen und damit die alltäglichen, ökologischen und energetischen Folgen und die Evakuierung im Notfall zu verbessern.	2029	2030	1,22	523
Ein System zur automatischen Dezentralisierung bestehender zentraler Infrastrukturen für die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung, die in dünn besiedelten Gebieten benötigt werden, aber nicht wirtschaftlich unterhalten werden können.	2029	2031	1,17	491
Technologien, um wenig genutzte oder aufgrund des Bevölkerungsrückgangs nicht mehr genutzte Flächen extensiv zu pflegen und zu bewirtschaften.	2029	2031	1,23	550
Konstruktionsmethoden und Bautechnik (Etablieren von "Krisentoleranz") zur Vermeidung schwerwiegender Schäden im Falle einer Störung oder Beschädigung des Bauwerks.	2029	2031	1,38	589
Weitere rationelle Technologien zur Generalüberholung und zum Rückbau bestehender Gebäude (Technologien, die eine schnelle Instandsetzung und einen schnellen Rückbau von Gebäuden, einschließlich Hochhäusern, ermöglichen).	2029	2033	1,33	530
Futuristische, rationalisierte Bauverfahren für Tragwerke, Ausbauten und Ausstattungen, unter anderem die Vor-Ort-Produktion von Teilen mithilfe eines 3D-Druckers, autonomer Transport von Baumaterialien durch Roboter und Drohnen.	2030	2033	1,07	559

Verteidigung und Sicherheit

In der ausgewerteten japanischen Delphi-Studie werden keine Verteidigungsthemen behandelt, der Fokus liegt ausschließlich auf der zivilen Sicherheit und dem Katastrophenschutz.

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
System für den Austausch von Katastropheninformationen und die Unterstützung bei der Katastrophenhilfe durch Verwendung erdbebensicherer Grund- und Mittelschulen als regionale Basen für den Katastrophenschutz.	2024	2026	1,12	600
Hochleistungsradar geeignet zur Ermittlung detaillierter Informationen über Niederschläge in linearen Regenbändern und Wolkenbrüche.	2025	2026	1,33	586
Technologie zur Notfallwiederherstellung von deformierten Deichen, die auch das schnelle Schließen von Damnbrüchen beinhaltet.	2025	2027	1,31	513
Navigationssystem für die Evakuierung im Katastrophenfall durch mehrsprachige/nonverbale Kommunikation unter Verwendung persönlicher mobiler Endgeräte.	2025	2028	1,20	597

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
System zur Echtzeit-Überwachung und zur verbesserten Vorhersage von Schäden bei schweren Erdbeben anhand von IoT-Geräten.	2026	2028	1,48	594
Überwachung der Reaktion von Hochhäusern und seismisch isolierten Gebäuden auf langanhaltende Bodenbewegungen mit langer Periode.	2026	2028	1,33	587
Technologie, die IKT einsetzt, um das Verhalten der einzelnen Bürger*innen im Hinblick auf die Katastrophenvorsorge anzuleiten.	2026	2029	1,32	599
Technologie zur Erstellung hochpräziser Landkarten der Katastrophenrisiken, um eine detaillierte Stadtplanung zu ermöglichen.	2027	2028	1,51	546
Echtzeit-Vorhersage von Schäden im Zusammenhang mit Hangstürzen und Erdstrukturen basierend auf präzisen Prognosen örtlich begrenzter Starkregenfälle in kurzer Zeit.	2027	2029	1,38	539
Technologie für die Vorhersage von lokalen Starkniederschlägen, Tornados, Hagel, Blitzschlag, Schneefall usw. für mehrere Stunden im Voraus mit einer räumlichen Auflösung von 100 m oder weniger unter Verwendung hochauflösender Simulation und Datenanpassung.	2027	2029	1,50	644
Aufbau eines Systems zur hochgenauen Wetterbeobachtung, das Frühwarnung, Evakuierung und Regulierung ermöglicht, sowie verfeinerte Methoden der Katastrophenvorhersage.	2027	2030	1,38	598
Numerische Analyse- und Visualisierungstechnologie, die in der Lage ist, Großkatastrophen verbunden mit stark nichtlinearem Verhalten zu simulieren.	2027	2031	1,06	601
Technologie zur Echtzeit-Quantifizierung von Veränderungen des Bodens und großer Strukturen sowie von Deformationen in Katastrophensituationen unter Verwendung von Positionsdaten des Quasi-Zenit-Satelliten-Systems.	2028	2029	1,26	517
Technologie zur Ermittlung von Erdbebenschäden in Echtzeit auf Grundlage digitaler Zwillinge von Gebäuden, Rohrleitungen und Reaktoren in Kernkraftwerken.	2028	2029	1,11	585
Ein integriertes soziales Katastrophenschutzsystem, das in der Lage ist, lokalen Behörden, Unternehmen und Personen umgehend Informationen zur Optimierung der Logistik von Hilfsgütern, Humanressourcen und Evakuierungsrouten sowie Informationen zur Wiederherstellung der städtischen Infrastruktur wie Strom, Wasser, Kommunikation usw. zur Verfügung zu stellen.	2029	2030	1,18	652
Eine Technologie zur Beobachtung von Vorzeichen und Eintreten von Katastrophen, die von Menschen übersehen werden können, mit Hilfe künstlicher Intelligenz, die auf große Datenmengen wie Bilder, Erdbeben- und Tsunami-Daten usw. zugreift.	2029	2032	1,08	635
Dringlichkeitsbewertung aller aktiven Vulkane in Japan, d. h. Identifikation derjenigen Vulkane, deren Ausbruch wahrscheinlich bzw. unwahrscheinlich ist.	2031	2033	1,51	629
Ein intelligenter Roboter zur Katastrophenreaktion, der in der Lage ist, sich autonom in einem räumlich nicht begrenzten Umfeld (unbekannte Umgebung) zu bewegen.	2031	2034	1,12	593
Vorhersagetechnologie basierend auf dem Verständnis des Mechanismus eines Bergsturzes.	2033	2035	1,08	630
Technologie zur Vorhersage des Auftretens großer Erdbeben mit einer Stärke von 8 oder mehr, indem die Verteilung der Dehnung der Erdkruste und die Erdbebengeschichte analysiert wird.	2034	2035	1,29	633
Technologie zur Vorhersage von Ort, Stärke, Zeitpunkt (innerhalb von 30 Jahren) und Schäden von Erdbeben mit einer Stärke von 7 oder mehr im Landesinneren.	2037	2036 ²³³	1,17	632

²³³ Sic! So im Original.

Mobilität und Verkehr

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Navigationssystem, das Informationen bereitstellt, damit ältere und sehbehinderte Menschen frei und sicher agieren können.	2025	2028	1,43	560
Mobiler Dienst mit automatischem Betrieb der Stufe 4 in urbanen Gebieten. (Das System führt alle Fahrmanöver aus, aber der/die Fahrer*in reagiert angemessen auf Aufforderungen zur Systemintervention, usw.)	2025	2029	1,42	566
Ein Transportsystem, das Zeit, Kosten und Umweltbelastungen an den Knotenpunkten zwischen Schiene und Straße, Straße und Hafen/Flughafen sowie Schiene und Hafen/Flughafen halbiert, um die Effizienz des Güterverkehrs zwischen Städten zu verbessern.	2027	2029	1,23	562
Ein System, das automatisch Umgebungsbedingungen erfasst wie Daten von Fahrzeugsensoren, das Fahrzeuggewicht oder Wetterbedingungen und genaue Vorhersagen zur Abnutzung der Straßeninfrastruktur trifft	2027	2029	1,00	569
Ein effizientes stadtweites System zur Verkehrssteuerung, das in Echtzeit Informationen über die Position aller Personen und Fahrzeuge (Schienefahrzeuge, Autos usw.) innerhalb eines Stadtgebiets liefert.	2027	2030	1,18	331
Verschiedene Transportmittel wie automatisiertes Fahren, Drohnen usw., um die Wartung der öffentlichen Verkehrsnetze zu erleichtern und den Logistikbereich umzugestalten, sowie Technologien zur Unterstützung der Steuerung und des Betriebs dieser Netze.	2027	2031	1,25	396
Ein mathematisch-wissenschaftliches Stauprognosemodell, das Staus auch in Ausnahmesituationen wie Naturkatastrophen und nach Unfällen zu vermeiden hilft, sowie ein Echtzeit-Navigationssystem integriert mit einem IoT-Erkennungssystem.	2028	2029	1,00	651
Ein Mobilitätsmanagementsystem, das für die Nutzung durch Hunderttausende von Menschen entwickelt wurde, um in Notfällen (Unterbrechungen der Verkehrsdienste aufgrund von Katastrophen, Störungen usw.) einen reibungslosen Personenverkehr zwischen den Städten zu gewährleisten.	2028	2029	1,34	563
Ein Mobilitätssystem, das automatisch die notwendige Infrastruktur wie Energieversorgung (Treibstoff und Gas) und Müllabfuhr betreibt für den Fall eines Arbeitskräftemangels aufgrund von Geburtenrückgang und Überalterung der Bevölkerung.	2028	2030	1,13	490
Ein nahtloses Verkehrssystem übergreifend vom Nah- bis zum Fernverkehr, das es älteren Menschen ermöglicht, sich in einer hochgradig gealterten Gesellschaft unabhängig und mit Zuversicht von Tür zu Tür zu bewegen.	2028	2031	1,42	561
Ein System, das Verkehrskonflikte, z. B. an Einmündungsstellen, reibungslos ausgleicht, eine optimale Routenführung bietet und zeit- und ortsabhängig Straßenbenutzungsgebühren erhebt, basierend auf dynamischen Karten, die Echtzeit-Positionsinformationen von sich bewegenden Objekten wie Autos, Fahrrädern und Fußgängern enthalten.	2028	2032	1,04	571
Automatikbetrieb auf Level 5 (System funktioniert in allen Aspekten ohne Standortbeschränkung).	2030	2034	1,24	568
Ein Wasserstoffträger hoher Dichte mit einer Wasserstoffspeicherdichte von 100 kg/m ³ oder mehr und einer Massenspeicherdichte von zehn Gewichtsprozent für Brennstoffzellenfahrzeuge.	2031	2035	1,05	485

Luft- und Raumfahrt

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Hochpräzise Positionsbestimmungstechnologie, die mit Hilfe künstlicher Satelliten genaue Positionsinformationen mit einer Fehlergrenze von wenigen Zentimetern liefert, um das automatisierte Fahren von Kraftfahrzeugen sowie die unbemannte und automatisierte Landwirtschaft zu ermöglichen (einschließlich der Verbesserung der Leistung von Atomuhren).	2026	2027	1,32	609
Hochpräzises 24-Stunden-Überwachungssystem des Staatsgebiets mit Hilfe von Satelliten usw. zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und für industrielle Anwendungen.	2027	2029	1,14	608
Ein wiederverwendbares Transportsystem (teilweise wiederverwendbare Trägersysteme, vollständig wiederverwendbare Trägersysteme, wiederverwendbare Inter-Orbit-Trägersysteme usw.) für kostengünstige Raumfahrtanwendungen.	2029	2032	1,07	603

Meerestechnik und Schifffahrt

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Technologie zum Korrosionsschutz (einschließlich Beschichtungen), die eine ultralange Lebensdauer (mehr als 50 Jahre) von Strukturen in mariner atmosphärischer Umgebung ermöglichen kann.	2030	2032	1,16	488
Autonomes Beobachtungssystem mit Aufklärungsfähigkeiten, die heutigen bemannten Schiffen entspricht.	2030	2033	1,11	616
Vollautomatisierte Anlagen für die Aquakultur im Meer.	2030	2033	1,05	621
Umweltfreundliche und wirtschaftlich tragfähige Technologie zur Sammlung von mineralischen Rohstoffen vom Meeresboden.	2032	2036	1,18	622

Digitalisierung

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Bildverarbeitungstechnologie, die in der Lage ist, gewünschte Informationen aus natürlichen Bildern zu extrahieren.	2025	2028	1,12	312
Natürliche Sprachverarbeitung zur Extraktion gewünschter Informationen aus untypischen Sätzen/Gesprächen.	2026	2029	1,28	305
Kabelgebundene und drahtlose mobile Kommunikationstechnologie, die gleichzeitig eine große Kapazität, eine hohe Zuverlässigkeit, eine extrem niedrige Latenzzeit und eine Super-Multi-Endgeräte-Kommunikation ermöglicht.	2027	2028	1,47	337
Mobile Kommunikationstechnologie, die eine Kommunikation mit hoher Kapazität mittels eines hochdichten Multiplexverfahrens ermöglicht, die die Bewegung des Endgeräts vorhersagen und nachverfolgen kann, selektiv Kommunikation hoher Kapazität ausführen kann und Kommunikation von Endgerät-zu-Endgerät ermöglicht.	2027	2028	1,13	340
Technologie, die schnelles und präzises maschinelles Lernen aus umfangreichen nichtstrukturierten Daten ermöglicht, die Informationsverlust, Rauschen und statistische Nicht-Stationarität aufweisen.	2027	2029	1,16	308
Flexible Informations- und Kommunikationstechnologie, die zur Minderung von Netzwerküberlastung und Verbesserung der Fehlertoleranz in normalen Zeiten beiträgt und die im Katastrophenfall eine bevorzugte Serviceabwicklung für Notfallkommunikation ermöglicht oder die schnell von Grund auf eingerichtet werden kann.	2027	2029	1,42	343
Technologie (einschließlich maschineller Übersetzungstechnologie und digitaler Bildbewertungstechnologie), die die Authentizität und Zuverlässigkeit von Informationen analysiert, die durch das Mining von Informationen aus dem Internet gewonnen wurden, wie z. B. von Nachrichtenüberblicksseiten und webbasierten sozialen Medien, je nach den Merkmalen des betreffenden Bereichs (Politik, Wirtschaft, Wissenschaft usw.).	2027	2029	1,04	351
Installation und Wartung von Funktionen zur Erkennung und Beseitigung von Schadsoftware in Netzwerken, deren Leistung durch KI-Technologie autonom verbessert und gewartet werden kann.	2027	2029	1,14	357
Technologie zur Digitalisierung aller wirtschaftlichen Transaktionen (alles Bargeld wird zu elektronischem Geld und Bargeld verschwindet, was den Mechanismus der Geldwirtschaft grundlegend ändern wird).	2027	2032	1,02	300
Realisierung einer öffentlichen Verwaltung auf Knopfdruck, die mit 100 % Digitalisierung der Verwaltungsdienstleistungen und 100 % Offenheit der von den Verwaltungsorganisationen gehaltenen Daten gekennzeichnet ist und so eine Minimierung der Antragsverfahren und anderer in den Behörden anfallender Arbeiten ermöglicht.	2027	2032	1,16	390
Technologie der Kommunikationsinfrastruktur mit optimaler Verfügbarkeit, die Cloud- und Edge-Endgeräte verbindet und verteilte Rechen-, Speicher- und Kommunikationsressourcen organisch kombiniert.	2028	2029	1,02	341
Ein Supercomputer (ein Großrechner, der auf Parallelisierung beruht) mit einer deutlich verbesserten Leistungsfähigkeit (ca. 100-mal) im Vergleich zu Computern, die derzeit in Gebrauch sind.	2028	2029	1,33	316
Ein Supercomputer (ein Großrechner, der auf Parallelisierung basiert) mit einer stark verbesserten Skalierbarkeit (ca. 100-mal höher) im Vergleich zu Computern, die derzeit in Gebrauch sind.	2028	2029	1,09	317

Thema/Technologie/Entwicklung	Jahr der ersten Realisierung weltweit	Jahr der gesellschaftlichen Realisierung in Japan	Relevanz-Score	Quelle: Nummer des Themas
Technologie zur Verhinderung des unbefugten Eindringens in kritische Infrastrukturen, Automobile, persönliche IoT-Geräte/-Dienste (Technologie, die die Wahrscheinlichkeit betrügerischer Kommunikation auf ein nahezu vernachlässigbares Niveau reduziert).	2028	2029	1,56	350
Technologie, die sensible personenbezogene Daten nutzt, ohne Preisgabe von Informationen zum Schutz der Privatsphäre, um die sichere elektronische Stimmabgabe und den Austausch elektronischer Patientenakten zu erleichtern unter gleichzeitigem Schutz personenbezogener Daten (einschließlich der Standardisierung von Sicherheitsniveaus).	2028	2029	1,39	353
Individuelles Authentifizierungssystem, das sicher verwendet werden kann, die Privatsphäre schützt sowie eine einfache und kostengünstige Nutzung ermöglicht, auch beim Zugriff auf viele Websites im Internet über einen längeren Zeitraum und von verschiedenen Umgebungen aus, wie z. B. während des Fahrens, zusätzlich zum Zugriff von PCs und persönlichen IoT-Geräten aus.	2028	2030	1,35	349
Technologie für Kommunikationsnetzwerke/Kommunikationsknoten, die den Energieverbrauch je übertragener Datenmenge dramatisch reduziert.	2028	2030	1,12	338
Vorhersage von Phänomenen und Steuerung von Systemen unter Realbedingungen durch Integration von Simulation und maschinellem Lernen.	2028	2030	1,20	309
Technologie für IoT-Sicherheit und Datenschutzmanagement, die flexibel die Balance zwischen Datenschutz und Bequemlichkeit einstellen kann, indem sie Nutzende in die Lage versetzt, zu verstehen, wie und von wem Verhaltensdaten (Sensorinformationen, Kaufhistorie usw.) über alle Sensoren erfasst und genutzt werden können, wobei Nutzende gleichzeitig die Möglichkeit haben, proaktiv mit den Informationen umzugehen (einschließlich des Löschsens von Daten).	2028	2030	1,25	352
Technologie zur Prävention von internen Straftaten durch Personen, die Zugang zu Informations- und Steuerungssystemen haben (einschließlich Techniken auf Basis von Verhaltenswissenschaften, die die Häufigkeit interner Kriminalität auf ein vernachlässigbares Maß reduzieren können).	2028	2031	1,29	348
Technologie zur Unterstützung der politischen Planung, die neben herkömmlichen statistischen Daten auch Big Data und KI nutzt.	2028	2032	1,22	384
Realisierung einer inklusiven Gesellschaft, in der alle von den Vorteilen der Digitalisierung profitieren, indem alle Bürger*innen IT-Kompetenzen erwerben und der Mangel an IT-Fachkräften beseitigt wird.	2028	2032	1,13	397
Automatische Code-Generierung, automatische Fehlerbeseitigung, automatische Verifikation und automatisches Testen sind mithilfe von Software möglich, die KI-Technologie usw. nutzt. Dies steigert die Produktivität bei der Programmierung erheblich und ermöglicht es, dass Open-Source-Softwaremodule aus der ganzen Welt zur Suche und zum Download sofort verfügbar sind.	2029	2032	1,12	325
Kleine, tragbare Geräte, die auf natürliche Weise die physischen und intellektuellen Fähigkeiten des Menschen erweitern, wie z. B. Sehvermögen, Geruchs- und Tastsinn, Gedächtnisleistungen und körperliche Kraft (Einsatz dieser Fähigkeiten in Situationen, in denen übermenschliche Fähigkeiten erforderlich sind, wie z. B. bei der Brandbekämpfung und bei Rettungseinsätzen).	2030	2032	1,03	400

Gesellschaft, Kultur und Bildung

Wie in Abbildung 4-11 dargestellt, wurde der 11. Foresight Prozess in Japan in zwei zunächst parallelen Säulen organisiert, mit der ersten Säule zur Zukunft der Gesellschaft²³⁴ und der zweiten Säule Zukunft von Wissenschaft und Technik. Diese beiden Säulen wurden in einem zweiten Schritt verschränkt und zielten in Fortsetzung der Säule Gesellschaft auf Szenarien zur Erfüllung der japanischen Vision einer „Gesellschaft 5.0“. Darunter wird eine menschen-zentrierte Gesellschaft verstanden, die den wirtschaftlichen Fortschritt und die Lösung gesellschaftlicher Probleme durch ein System der hochgradigen Integration des Cyberraums mit der physischen Welt ausbalanciert.

In einem Visioning-Prozess wurden fünfzig Zielbilder für eine wünschenswerte japanische Gesellschaft im Jahr 2040 entwickelt, die sich um vier zentrale Werte gruppieren: Menschlichkeit, Inklusion, Nachhaltigkeit und Neugier.²³⁵

4.6 EU

4.6.1 Innovationssystem

Die im Oktober 2020 veröffentlichte *Forschungs- und Innovationsstrategie 2020-2024* der EU unterstreicht die Rolle der Förderung von Forschung und Innovation als „eine der wirkungsvollsten europäischen Politiken“, um die Wirtschaft und globale Wettbewerbsfähigkeit der EU zu stärken.²³⁶ Die Forschungs- und Innovationspolitik ist zudem ein Motor des grünen und digitalen Wandels in Europa und soll zur Erreichung der sechs politischen Ziele²³⁷ der Leyen-Kommission beitragen.²³⁸

Tatsächlich weist die Europäische Union eine starke Innovationsfähigkeit auf: Laut dem Europäischen Innovationsanzeiger 2022 ist die Innovationsleistung der EU seit 2015 um mehr als 10 % gestiegen. In diesem Zeitraum hat die EU Japan überholt und ihre relative Position zu fast allen Mitbewerber-Ländern verbessert. Lediglich im Vergleich zu China hat sich die relative Position der EU verschlechtert und der EU-Leistungsvorsprung gegenüber China im Zeitraum 2015 – 2022 verringert. Im weltweiten Vergleich der Innovationsfähigkeit weist die Europäische Union noch immer einen Leistungsrückstand gegenüber Australien, Kanada, Südkorea und den USA auf – wenn auch einen kleineren als 2015 (s. Abbildung 4-12). Bemerkenswert ist allerdings, dass im Zeitraum 2021 – 2022, also unter dem Einfluss der Covid-19-Pandemie, die EU zusammen mit Chile und Südafrika zu den wenigen Ländern/Regionen gehörte, bei denen die Innovationsleistung gestiegen ist.²³⁹

²³⁴ NISTEP (2019).

²³⁵ Ibid., Abbildung 3, Seite 7.

²³⁶ EU, [Innovationsleistung der EU verbessert sich weiter, Deutschland gehört zu den starken Innovatoren](#) (Abruf am 15.06.2023).

²³⁷ Die sechs politischen Ziele der Leyen-Kommission sind folgende: European Green Deal zum Schutz von Umwelt und Klima, Gestaltung der digitalen Zukunft Europas, Stärkung von Wirtschaftswachstum und Förderung von Kreislaufwirtschaft, grüner Industrie sowie hochwertigen Arbeitsplätzen, Schutz von Bürger*innen und Werten in der EU, Stärkung von Stimme und Stellung der EU in der Welt, Verteidigung (der Widerstandsfähigkeit) von Demokratie und demokratischen Prozessen bei gleichzeitigem Schutz der Rechte aller Bürger*innen. Mehr Information unter: [Strategy 2020-2024](#) (Abruf am 27.10.2022).

²³⁸ [Strategy 2020-2024](#) (Abruf am 15.06.2023).

²³⁹ EC (2022a).

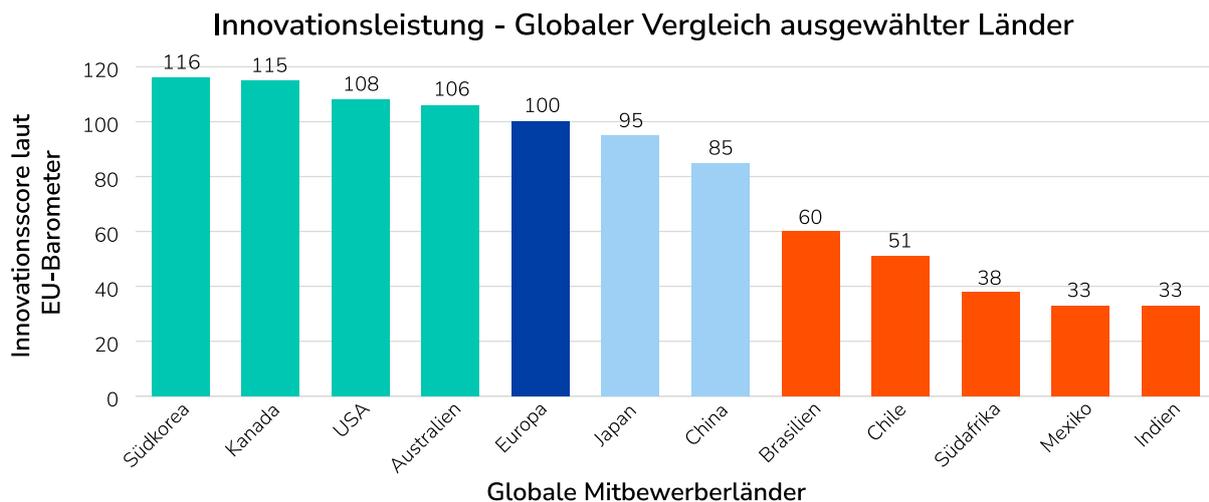


Abbildung 4-12: Globaler Vergleich der Innovationsfähigkeit laut dem EU Innovationsanzeiger 2022.

Quelle: Überarbeitung von EC (2022a).

Wenn auch fast alle EU-Länder ihre Innovationsleistung im Zeitraum 2015 – 2022 gesteigert haben, so bleibt die Kluft groß zwischen den sogenannten *Innovationsführern* wie Schweden, Finnland, Dänemark, den Niederlanden und Belgien und den *aufkommenden Innovationsländern* wie u. a. Ungarn, der Slowakei oder Bulgarien und Rumänien. In diesem Ranking befindet sich Deutschland – zusammen u. a. mit Frankreich, Österreich oder Luxemburg – mit einer überdurchschnittlichen Innovationsfähigkeit unter den *starken Innovationsländern*.²⁴⁰

Diese Kluft bei der Innovationsfähigkeit der diversen EU-Länder zu überwinden, ist einer der Schwerpunkte der Neuen Europäischen Innovationsagenda²⁴¹, die im Juli 2022 von der Europäischen Kommission verabschiedet wurde. Ziel der Agenda ist es darüber hinaus, Europas Innovationsstärken im Bereich Deep-Tech und Start-up-Gründung zu stärken und mit neuen Technologien eine Antwort auf die wichtigsten gesellschaftlichen Herausforderungen zu entwickeln.²⁴² Fünf Leitinitiativen wurden definiert:²⁴³

1. Finanzierung von Deep-Tech-Scale-ups,
2. tiefgreifende technologische Innovation durch Experimentierräume und öffentliches Beschaffungswesen ermöglichen,
3. Beschleunigung und Stärkung der Innovation in europäischen Innovationsökosystemen in der gesamten EU und Beseitigung der Innovationskluft,
4. Förderung, Gewinnung und Bindung von Deep-Tech-Talenten,
5. Verbesserung der Politikgestaltung.

Forschungs- und Innovationsaktivitäten der EU sollen laut dieser Agenda zur Umsetzung der Vision beitragen, eine nachhaltige, sichere, gerechte und wohlhabende Zukunft für die Menschen und den Planeten zu ermöglichen, die zudem auf Solidarität und der Achtung der gemeinsamen europäischen Werte beruht.²⁴⁴

²⁴⁰ EC (2022a).

²⁴¹ EC (2022b).

²⁴² [The New European Innovation Agenda](#) (Abruf am 15.06.2023).

²⁴³ [New European Innovation Agenda roadmap](#) (Abruf am 15.06.2023).

²⁴⁴ EC (2022b).

Der Europäische Forschungsraum bildet den Rahmen für die gemeinsame Forschung in Europa. Gefördert und umgesetzt werden Forschungs- und Innovationsaktivitäten im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms der EU, aktuell **Horizont Europa (2021-2027)**. Ziel von Horizont Europa ist es, Wachstum, Handel und Investitionen anzukurbeln und eine bedeutende soziale und ökologische Wirkung zu erzielen. Das Programm ist für den Zeitraum 2021 – 2027 mit Mitteln in Höhe von ca. 95,5 Mrd. EUR ausgestattet.²⁴⁵ Fünf sogenannte Missionen wurden für das Programm definiert, die helfen sollen, konkreter und fokussierter Lösungen für die größten weltweiten Herausforderungen zu identifizieren und zu entwickeln:²⁴⁶

- Mission 1: Anpassung an den Klimawandel,
- Mission 2: Krebsbekämpfung,
- Mission 3: Ozeane und Gewässer (wieder-)beleben,
- Mission 4: Klimaneutralität – Umstellung von 100 europäischen Städten auf Klimaneutralität bis 2030,
- Mission 5: Förderung gesunder Böden in Europa/„Boden-Deal“ bis 2030.

4.6.2 Aktivitäten im Bereich Technologieprognosen

Foresight-Aktivitäten und Technologieprognosen werden auf EU-Ebene seit den 1970er Jahren durchgeführt.²⁴⁷ Unter der Leyen-Präsidentschaft wird der strategischen Vorausschau in den letzten Jahren eine steigende Bedeutung beigemessen: So ist mit Vizepräsident Maroš Šefčovič zum ersten Mal ein Kommissionsmitglied für die strategische Vorausschau zuständig; er soll „für die Einbettung der strategischen Vorausschau in das Programm der Kommission [...] sorgen“²⁴⁸. Vorausschau-Aktivitäten und die Auseinandersetzung mit Zukunftsszenarien sollen helfen, Trends, Risiken und Chancen rechtzeitig zu identifizieren, und somit die Grundlage für eine wissens- und faktenbasierte vorausschauende Politik bilden, die den „Übergang zu einem grünen, digitalen und fairen Europa“ ermöglicht.²⁴⁹

Folgende Hauptakteure und Aktivitäten sind auf EU-Ebene für Vorausschau-Aktivitäten relevant:²⁵⁰

- Das **Kompetenzzentrum Foresight** (*Competence Centre on Foresight*)²⁵¹ des Joint Research Centre (JRC), das dem Vizepräsidenten der Europäischen Kommission Maroš Šefčovič zugeordnet ist, wurde 2018 eingerichtet. Es unterstützt die Politikgestaltung der EU durch:
 - kontinuierliche Informationsgewinnung und -analyse in Zukunftsfragen,
 - Durchführung vertiefter Foresight-Prozesse für die verschiedenen Direktionen der Europäischen Kommission,
 - Durchführung des jährlichen Strategic-Foresight-Prozesses, der zur Veröffentlichung der Strategic-Foresight-Berichte führt,²⁵²

²⁴⁵ [Horizon Europe, the EU research and innovation programme \(2021-27\)](#) (Abruf am 15.06.2023).

²⁴⁶ [Forschung & Innovation](#) (Abruf am 15.06.2023).

²⁴⁷ [RFTE \(2021\)](#).

²⁴⁸ [Strategische Vorausschau](#) (Abruf am 26.04.2023).

²⁴⁹ [Strategische Vorausschau](#) (Abruf am 26.04.2023).

²⁵⁰ [RFTE \(2021\)](#); [Strategische Vorausschau](#) (Abruf am 26.04.2023).

²⁵¹ [Foresight](#) (Abruf am 26.04.2023).

²⁵² [Strategische Vorausschau](#) (Abruf am 16.06.2023).

- Unterstützung des Vizepräsidenten der Europäischen Kommission in seinen Vorausschau-Aktivitäten,
- Etablierung auf EU-Ebene einer „Community of Practice“ zu Vorausschau und Foresight.
- Die **Generaldirektion Forschung und Entwicklung** (EC-DG RTD), die innerhalb der Europäischen Kommission für Forschungs-, Wissenschafts- und Innovationspolitik zuständig ist, führt regelmäßige Foresight-Prozesse durch, die insbesondere folgende Ziele haben:
 - Foresight-Erkenntnisse in die Planung von Forschungsförderprogrammen der EU, insbesondere des Forschungsrahmenprogramms, einfließen zu lassen,
 - Foresight-Erkenntnisse zwecks Verbesserung der europäischen Innovationspolitik zu nutzen,
 - Entscheidungsträger der Politik über Zukunftstrends zu informieren,
 - die Öffentlichkeit über Zukunftsentwicklungen zu informieren.

Darüber hinaus wird mit dem Rahmenvertrag zu *Foresight-On-Demand*, den die Europäische Kommission mit einem europäischen Forschungskonsortium abgeschlossen hat, die Möglichkeit geschaffen, punktuell Forschungsaktivitäten zu beliebigen Themen und im Auftrag jeder beliebigen Stelle der Europäischen Kommission anzustoßen.

- Die **Strategic Foresight and Capabilities Unit** des European Parliament Research Service²⁵³ widmet sich der Förderung von Foresight als Unterstützung für das Europäische Parlament und erstellt und koordiniert hierfür Foresight-Studien.
- Das **ESPAS-Netzwerk**²⁵⁴ (European Strategy and Policy Analysis System) bringt neun EU-Institutionen und -Gremien zusammen²⁵⁵, mit dem Ziel, Vorausschau und vorausschauendes Regieren zu fördern. Das Netzwerk widmet sich langfristigen Herausforderungen und Chancen für Europa und setzt sich zum Ziel, politische Entscheidungsträger durch Vorausschau bei deren Entscheidungsfindung zu unterstützen. Das ESPAS-Netzwerk ist aktuell in verschiedene Foresight-Aktivitäten involviert, darunter einen Horizon-Scanning-Prozess, um schwache Signale für zukünftige Veränderungen zu identifizieren, oder auch eine Untersuchung globaler Trends, die zur Veröffentlichung im Jahr 2024 eines *Global Trends Report* führen soll. Darüber hinaus bietet die jährliche Foresight-Konferenz des ESPAS-Netzwerkes die Gelegenheit, Entscheidungsträger aus der Politik und Foresight-Expert*innen aus aller Welt zusammenzubringen.

In Abbildung 4-13 wird die thematische Schwerpunktsetzung der für den Zeitraum 2016 – 2022 identifizierten Technologieprognosen dargestellt.

²⁵³ [EPRS Strategic Foresight and Capabilities Unit – Epthinktank](#) (Abruf am 16.06.2023).

²⁵⁴ [ESPAS | Homepage](#) (Abruf am 16.06.2023).

²⁵⁵ Folgende Institutionen und Gremien sind Teil des ESPAS-Netzwerkes: Europäisches Parlament, Rat der EU, Europäische Kommission, der Europäische Auswärtige Dienst, der Europäische Ausschuss der Regionen, der Europäischer Wirtschafts- und Sozialausschuss, die Europäische Investitionsbank, das Institut der Europäischen Union für Sicherheitsstudien sowie der Europäische Rechnungshof. Quelle: [About | ESPAS](#) (Abruf am 16.06.2023).

Thematische Schwerpunktsetzung in Technologieprognosen der EU (EC, EP,...)

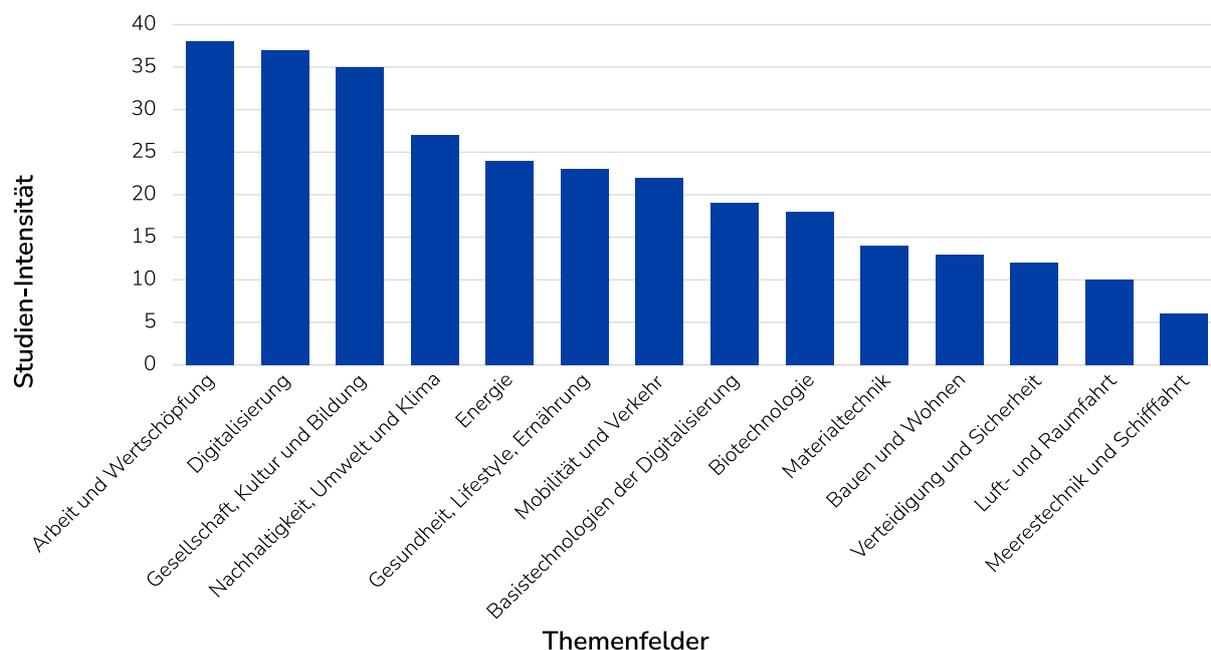


Abbildung 4-13: Thematische Schwerpunktsetzung in Technologieprognosen-Studien der EU (EC, EP, ...) (Studienintensität über alle betrachteten EU-Technologieprognosen).

Jede der identifizierten Studien wird dahingehend bewertet, ob die betrachteten Themenfelder eingehend behandelt werden (entspricht einer Wertung „2“), weniger eingehend (entspricht einer Wertung „1“) oder ob ein Themenfeld gar nicht, bzw. nur marginal in der Studie Erwähnung findet (entspricht einer Wertung „0“). Die Balken stellen für jedes Themenfeld die Summe dieser einzelnen Wertungen über alle Studien aus der EU dar.

Quelle: eigene Erhebung und Darstellung.

Die im Folgenden analysierte Studie ist eine Studie der **Generaldirektion Forschung und Entwicklung** der Europäischen Kommission (EC-DG RTD).

4.6.3 Studie „100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future“

4.6.3.1 Kurzbeschreibung der Studie

Name der Studie: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future²⁵⁶

Auftraggeber: European Commission, DG RTD

Durchgeführt von: Internationales Autorenteam aus Fraunhofer ISI (Deutschland) / Institutul de Prospectiva (Rumänien) / Universität Turku (Finnland)

Erscheinungsjahr: 2019

Zeithorizont: 2038

Die 2019 veröffentlichte und von der Generaldirektion Forschung und Innovation der Europäischen Kommission in Auftrag gegebene Studie „100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future“ sollte

²⁵⁶ [100 radical innovation breakthroughs for the future](#) - Publications Office of the EU (Abruf am 04.12.2024).

einen Beitrag zur Vorbereitung der Umsetzung des inzwischen laufenden europäischen Forschungsrahmenprogramms Horizont Europa liefern.

Ziel der Studie war die Identifizierung sogenannter „radikaler Innovationsdurchbrüche“, d. h. potenziell wichtiger und bereichsübergreifender disruptiver Innovationen, die für die Gestaltung zukünftiger EU-Politiken, insbesondere für die zukünftige Forschungs- und Innovationspolitik der EU, sowie für wichtige nationale oder regionale Strategien (darunter die *Smart Specialisation*²⁵⁷ Strategie) relevant sind.

Als *radikale Innovationsdurchbrüche* werden Entwicklungen definiert, die eine ungewöhnlich große Wirkung entfalten sowie dazu beitragen können, bestehende Strukturen in Technik, Wirtschaft und Gesellschaft aufzubrechen und zu verändern. Insbesondere könnten diese *radikalen Innovationsdurchbrüche* Auswirkungen auf globale Wertschöpfungsketten der Zukunft haben.

Inspiriert wurde die vorliegende EU-Studie durch die 2014 veröffentlichte Studie „*Radical Technology Inquirer*“²⁵⁸ RTI des Ausschusses für die Zukunft des finnischen Parlaments²⁵⁹, mit der die Auswirkungen radikaler technologischer Durchbrüche vorausgesagt und bewertet werden sollten. Der finnische Ansatz wurde weiterentwickelt und auf Europa erweitert.²⁶⁰

In einem ersten Schritt wurden Interviews mit Expert*innen aus 22 europäischen Ländern geführt, mit dem Ziel, sogenannte globale Wertschöpfungsnetzwerke („*Global Value Networks*“ GVN) mit großer Bedeutung für die EU in den nächsten 20 Jahren zu definieren und zu beschreiben. Die identifizierten GVN wurden anschließend in einem Workshop mit Expert*innen und Entscheidungsträger*innen der EU diskutiert und verfeinert. Tabelle 4-3: stellt die identifizierten 23 globalen Wertschöpfungsnetzwerke für das Jahr 2038 dar, die als mögliche Zukunftsszenarien für globale Wertschöpfungsstrukturen angesehen werden können. Trotz der unterschiedlichen Ausprägung der einzelnen Szenarien spielen Nachhaltigkeitsanforderungen sowie die Digitalisierung und hier insbesondere die digitalen (Daten-)Netzwerke sowie KI in den meisten Szenarien eine wichtige Rolle.

Tabelle 4-3: Liste der in der Studie identifizierten globalen Wertschöpfungsnetzwerke.

Planung und Infrastruktur für gute Lebensräume und Städte
Nachhaltige Energielösungen
CO ₂ zur Abschwächung/Eindämmung des Klimawandels
Nachhaltige Nutzung von Wassersystemen und -ressourcen
Nachhaltige Nutzung von Materialien
Intelligenter Transport
Individualisierte Fertigung in Kundennähe
Ferninteraktion mit Menschen und Maschinen
Nachhaltiges Wohnen
Gültigkeit und Zuverlässigkeit von Informationen und gemeinsame Schaffung von Wissen
Selbstgesteuertes und individualisiertes Lernen

²⁵⁷ [What is Smart Specialisation - Smart Specialisation Platform](#) (Abruf am 13.03.2023).

²⁵⁸ [tuvj_11+2014.pdf \(eduskunta.fi\)](#) (Abruf am 13.03.2023).

²⁵⁹ [Committee for the Future](#) (Abruf am 13.03.2023).

²⁶⁰ Parallel wurde der finnische Ansatz des RTI weiterentwickelt, was zu einer Aktualisierung im Jahr 2018 führte. Startpunkt der hier analysierten Studie ist allerdings der ursprüngliche Ansatz. Dazu s.: Linturi, R. et al. (2022).

Proaktive Gesundheits- und Selbstversorgungskonzepte

Daten als Ware: Märkte für Nutzerdaten

Peer-to-Peer-Empfehlungen und Peer-to-Peer-basierte Konsumententscheidungen

Nachhaltige Ernährung/Lebensmittel für alle

Virtuelle Bürgerinteraktion für/bei Unterhaltung, Kunst und Kultur

Mechanismen für die Selbstorganisation von Gemeinschaften

Nachhaltiger Tourismus

Sicherheitsnetzwerke gegen militärische und kriminelle Angriffe

Menschliche und soziale Sicherheit

Ein würdiges und sinnhaftes Leben für ältere Menschen

Globale Kapazität für soziale Innovation

Der Weltraum als globales Gemeingut

Quelle: EC (2019), eigene Übersetzung.

In einem zweiten Schritt wurde nach potenziellen technologischen und sozialen Durchbrüchen gesucht: Ausgehend von ca. 460.000 technologiebezogenen Nachrichten aus dem Zeitraum Januar 2016 – Dezember 2017 sowie einer Meta-Analyse ausgewählter abgeschlossener Vorausschau-Projekte wurden in einem iterativen Prozess, der sowohl die Nutzung von Methoden des maschinellen Lernens (*Natural Language Processing* NLP) beinhaltete als auch Fachexpert*innen involvierte, potenziell relevante Entwicklungen aus den Bereichen technologischer und sozialer Innovation identifiziert und geclustert. Dieser Prozess führte zur Identifikation von insgesamt 100 „radikalen Innovationsdurchbrüchen“ – 87 aus dem technologischen Bereich und 13 aus dem Bereich sozialer Innovation, wobei die 87 identifizierten technologischen Innovationen in der Studie den acht folgenden Kategorien zugeordnet werden:

- KI und Robotik,
- Mensch-Maschine-Interaktion und Biomimetik,
- Elektronik & Computing,
- Biohybride Technologien,
- Biomedizin,
- Druck- und Materialtechnologien,
- Technologien zur Überwindung von Ressourcengrenzen,
- Energietechnologien.

Diese 100 technologischen und sozialen Innovationen wurden anschließend im Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit ihrer Verbreitung bis 2038 sowie ihre aktuelle Reife (auf Basis existierender Patente und Veröffentlichungen auf dem Gebiet) bewertet. Ein dritter Indikator als Maß für die europäische Position im Hinblick auf vorhandene F&I-Kapazitäten in Europa (auf Basis von Experteneinschätzungen sowie des Anteils der EU an weltweiten Patenten und Veröffentlichungen zu dem Thema) rundet das Bild bei den 87 technologischen Innovationen ab. Anzumerken ist, dass die identifizierten technologischen Innovationen keine homogene Menge darstellen: Mal steht der

identifizierte Innovationsdurchbruch für die Technologie selbst, z. B. „Graphen-basierte Transistoren“, mal bezeichnet der Innovationsdurchbruch den Anwendungsbereich, für den technologische Entwicklungen neue Perspektiven bieten, z. B. „Verabreichung von Medikamenten“. Auch die Granularität der dargestellten technologischen Entwicklungen unterscheidet sich stark je nach identifiziertem Innovationsdurchbruch.

In einem dritten Schritt wurden die Auswirkungen der 100 identifizierten Innovationsdurchbrüche auf die globalen Wertschöpfungsnetzwerke untersucht. Abhängig von dem Reifegrad der verschiedenen Technologien, der Breite deren zu erwartenden Anwendungen sowie den vorhandenen Forschungs- und Innovationskapazitäten in Europa werden strategische politische Empfehlungen abgeleitet:

1. Strategische Positionierung Europas für die bevorstehende KI-Welle und Stärkung der dazugehörigen Technologien, u. a. neuromorpher Chip, Chatbots, Technologie für Sprach- und Emotion-Erkennung etc.,
2. Beobachtung von Technologien, deren Reifegrad zwar aktuell noch gering ist, die aber in den nächsten 20 Jahren schnell zu wichtigen Anwendungen führen könnten, darunter u. a.: biologisch abbaubare Sensoren, hyperspektrale Bildgebung oder der 4D-Druck,
3. Stärkung der europäischen Forschungs- und Innovationskapazitäten auf Gebieten, die zwar aus heutiger Sicht als „hochspekulativ“ bezeichnet werden können, die aber zu radikalen Innovationen führen könnten; hierzu gehören z. B die Bioelektronik oder die künstliche Photosynthese,
4. Überprüfung und Stärkung der Rahmenbedingungen, u. a. Untersuchung und Identifizierung notwendiger industriepolitischer Entscheidungen, für die weitere Entwicklung und insbesondere breitere Nutzung bei Technologien, die schon weit ausgereift sind und bereits zu erfolgreichen FuE-Projekten und Patenten geführt haben, deren Wachstumspotenzial aber nicht ausgenutzt wird. Dazu zählen u. a. einige Nanotechnologien (Nano-LEDs, Kohlenstoff-Nanoröhre etc.) oder auch Hydrogele oder Hologramme.

Wie Abbildung 4-14 zu entnehmen ist, deckt die untersuchte EU-Studie alle 14 Themenfelder ab, die für die Meta-Analyse genutzt werden, und dies fast für alle Themenfelder gleich umfangreich. Lediglich die Themenfelder *Verteidigung und Sicherheit* und *Meerestechnik und Schifffahrt* werden weniger bzw. gar nicht angesprochen. Im nächsten Kapitel werden die technologischen Inhalte der Studie entlang dem für diese Meta-Analyse gewählten Analyseraster dargestellt.

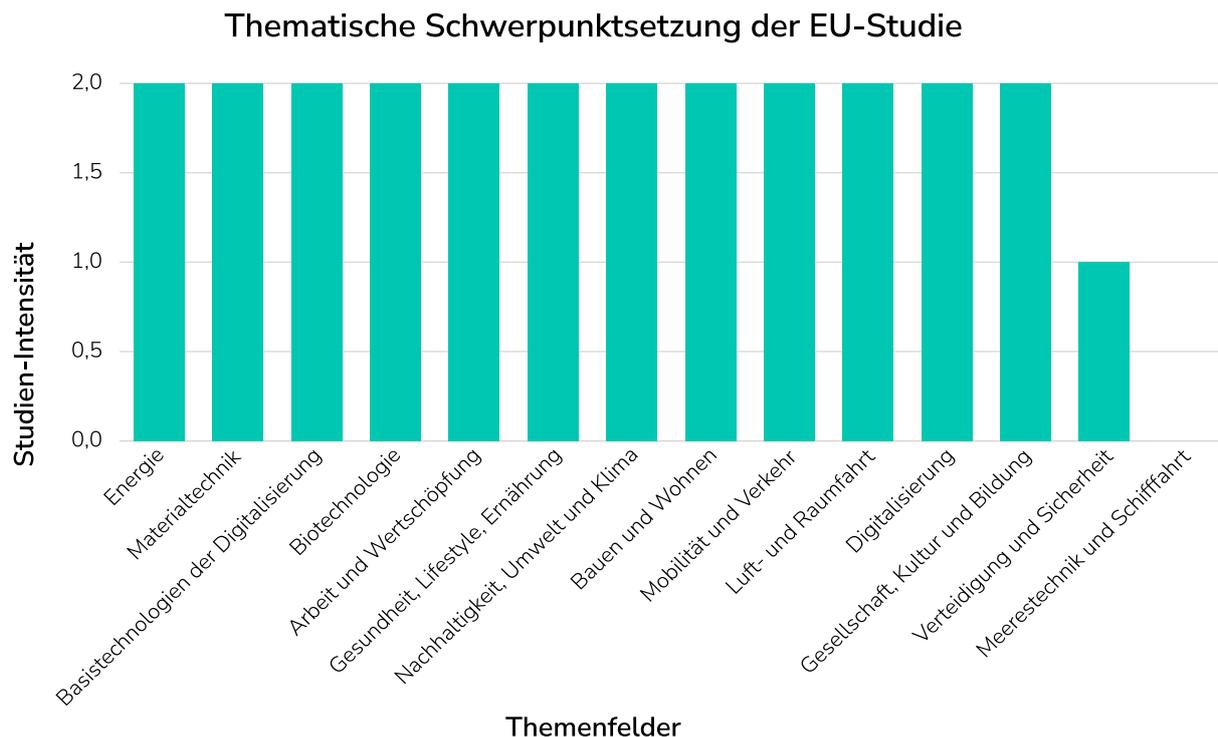


Abbildung 4-14: Thematische Schwerpunktsetzung der EU-Studie „100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future“.

Die Studie wurde dahingehend bewertet, ob die einzelnen Themenfelder eingehend behandelt werden (entspricht einer „2“), weniger eingehend (entspricht einer „1“) oder ob ein Themenfeld gar nicht, bzw. marginal in der Studie Erwähnung findet (entspricht einer „0“). Die Balken stellen für jedes Themenfeld das Ergebnis dieser Bewertung dar.

Quelle: Eigene Darstellung.

4.6.3.2 Inhaltsanalyse

Energie

Die Energieversorgung wird als wichtiger Aspekt der Wirtschaftspolitik angesehen. Dabei werden der Klimawandel und die Notwendigkeit seiner Eindämmung, u. a. durch Reduzierung des Energieverbrauchs bzw. Steigerung der Energieeffizienz, sowie die weltweit steigende Energienachfrage als große Herausforderungen dargestellt. Es wird davon ausgegangen, dass bis 2038 ein Energiemix aus erschwinglichen und CO₂-armen Energiequellen (u. a. Sonnen- und Windenergie, Wasserkraft und Biomasse) fossile Brennstoffe immer weiter verdrängt, wenn auch nicht komplett ersetzt. Gleichzeitig könnte die Erschließung neuer Energiequellen bzw. neuer Technologien zur Energieumwandlung zu einer Diversifizierung der genutzten Energiequellen beitragen. Fortschritte bei Speicherlösungen und Brennstoffzellen werden als entscheidender Faktor auf dem Weg zu einer kohlenstoffarmen und stabilen Energieversorgung angesehen.

Intelligente Netze werden laut der Studie die Integration der verschiedenen Quellen der Energieerzeugung ermöglichen und für einen gleichberechtigten Zugang zu ausreichender Energie sorgen. Dabei werden kleine, vielfältige und dezentrale Lösungen die Widerstandsfähigkeit des gesamten Energiesystems steigern.

Konkret wird die Nutzung folgender Technologien bis 2038 als wahrscheinlich bis sehr wahrscheinlich erachtet:

Erneuerbare Energien:

- Energiegewinnung aus dem Meer – Strom aus Wellen und Gezeiten, wobei die Gewinnung von Strom aus der Wellenenergie als der vielversprechendere Ansatz für die Gewinnung großer Energiemengen dargestellt wird. Obwohl die Technologie noch nicht reif sei und zahlreiche Hürden noch zu überwinden seien (in technologischer Hinsicht, aber auch bezogen auf die hohen Kosten der Technologie), weise dieser Innovationsbereich eine hohe Dynamik auf und die Technologie entwickle sich schnell – zudem sei die Position Europas im weltweiten Vergleich als sehr gut einzustufen.
- Gewinnung von Sonnenenergie aus „intelligentem Glas“ (s. Abschnitt *Materialtechnik*).
- Steigerung der Effizienz von Photovoltaikzellen: Nutzung von 4D-Druck, um Photovoltaik-Paneele zu erstellen, die sich selbstständig in die Sonneneinstrahlrichtung drehen, Nutzung von Metamaterialien für Thermophotovoltaikzellen, die Energie aus Infrarotstrahlung gewinnen können, Nutzung von Kohlenstoffnanoröhren für effizientere photovoltaische Systeme, langfristig biegsame Solarzellen dank flexibler Elektronik.

Erschließung neuer Energiequellen:

- Die Gewinnung von Methanhydrat aus unterirdischen Lagerstätten oder aus marinen Vorkommen in Küstennähe zur Nutzung als Energiequelle – was insbesondere für Länder relevant sein könnte, die auf Gas-, Kohle- und Erdölimporte zur Deckung ihres Energiebedarfs angewiesen sind. Die Studie hebt aktuelle Schätzungen hervor, nach denen die potenziell verfügbare Menge an fossilen Brennstoffen aus Methanhydrat diejenige aus Erdöl, Kohle und klassisch gefördertem Erdgas übersteigt. Technologische Hürden sowie Risiken im Zusammenhang mit dieser Technologie scheinen aus heutiger Sicht noch sehr hoch: Einerseits seien Bohrplattformen und Tiefseebohrschiffe notwendig, um an die sich weit unter der Meeresfläche befindenden Methanhydratvorkommen zu gelangen, andererseits erschwere die Instabilität des Methans noch eine industrielle Nutzung im großen Maßstab. Fortschritte auf dem Gebiet würden aber laut der Studie sehr schnell erzielt werden, was die Nutzung der Technologie – trotz der mit ihr verbundenen Umweltrisiken – bis 2038 sehr wahrscheinlich macht. Zudem weise die EU eine starke Position auf.
- Flüssigsalzreaktoren (engl. „Molten Salt Reactor“), beispielsweise auf Thorium-Basis, d. h. Kernreaktoren, bei denen der Brennstoff als geschmolzenes Salz vorliegt, werden als vielversprechende, sich schnell entwickelnde Technologie bezeichnet, bei der die EU allerdings Schwächen aufweise. Diese Technologie wird von manchen Expert*innen als sichere, nachhaltige und effiziente Kernenergietechnologie benannt, da keine unkontrollierte, gefährliche Kernschmelze des ohnehin geschmolzenen Brennstoffs stattfinden könne und die thermische Verbrennung der radioaktiven Abfälle möglich sei – allerdings sehen die Studienautor*innen diese Technologie im starken Wettbewerb mit erneuerbaren Energien einerseits sowie mit weiteren neuen Kerntechnologien andererseits.
- Identifizierung und Nutzung neuer Quellen der Lichterzeugung auf Basis der Biolumineszenz, um den weltweiten Energieverbrauch zu senken. Allerdings weise die EU schwache Kapazitäten auf dem Gebiet auf.
- Gewinnung kleiner Mengen an elektrischer Energie aus der direkten Umgebung (engl. „Energy Harvesting“), beispielsweise Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie bei Vibrationen oder Verformung oder von thermischer in elektrische Energie bei Temperaturschwankungen in der näheren Umgebung. Diese Technologie könnte kleine Geräte oder drahtlose Anwendungen wie

Wearables, RFIDs etc. mit Strom versorgen und somit deren Batterielebensdauer verlängern. Langfristig verspricht *Energy Harvesting*, dass Sensornetzwerke beispielsweise für Monitoring-Anwendungen im Bereich Umweltschutz oder auch bei Wearables, mit praktisch unbegrenzter Lebensdauer, möglich werden. Denkbar sei ebenso, dass *Energy Harvesting* hilft, den Energieverbrauch von IoT-Anwendungen zu senken. Bei dieser Technologie weist die EU allerdings Kapazitätsschwächen auf.

- Gewinnung von Wasserstoff bzw. grünem Wasserstoff durch Wasserelektrolyse. Jüngste Fortschritte deuten laut der Studie auf Fortschritte bei den für die Elektrolyse von Wasser erforderlichen Katalysatoren hin. Diese Technologie entwickle sich schnell und könnte langfristig zu einer besseren CO₂-Bilanz beitragen. Sollte zudem die Gewinnung von grünem Wasserstoff im großen Maßstab, d. h. die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien, beispielsweise aus Sonnenkollektoren oder Windenergie, für die Elektrolyse gelingen, so könnte diese Technologie Fragen der Energieversorgung grundlegend verändern – und gleichzeitig, da Wasserstoff speicherbar ist, das Problem der eingeschränkten Speicherbarkeit erneuerbarer Energien lösen. Allerdings weist die EU auf diesem Gebiet Schwächen auf.
- Nutzung thermoelektrischer Farbe, d. h. einer flüssigen und klebrigen Substanz, die, aufgetragen auf eine beliebige Oberfläche, ihr thermoelektrische Eigenschaften verleiht, um jede beliebige Wärmequelle in einen potenziellen Stromgenerator zu verwandeln – mit zahlreichen Anwendungen, z. B. im Baubereich (s. Abschnitt *Bauen und Wohnen*). Diese Technologie wird zwar als hochspekulativ angesehen, gleichwohl sei mit schnellen Fortschritten zu rechnen. Angesichts der potenziell bahnbrechenden Anwendungen sollten F&I-Kapazitäten in dem Bereich nicht vernachlässigt werden.
- Nutzung von Verfahren zur CO₂-Spaltung, z. B. nach CO₂-Abscheidung, und anschließender Herstellung synthetischer Kraftstoffe (Kohlenstoff-Abscheidung und -Nutzung). Dank Fortschritten bei den Katalysatoren könnte diese Technologie bis 2038 im industriellen Maßstab umsetzbar werden.

Fortschritte bei Speichertechnologien:

- Nutzung von selbstheilenden Polymeren bei Batterien (s. auch *Materialtechnik*), um ihre Lebensdauer zu verlängern.

Fortschritte bei Brennstoffzellen:

- Wasserstoff-Brennstoffzellen werden – trotz aktuell geringer Technologiereife – als vielversprechende Alternative zu fossilen, kohlenstoffbasierten Energiequellen dargestellt. Sie könnten helfen, den CO₂-Ausstoß im Transport- oder Industriebereich erheblich zu senken – bei gleichzeitiger Minimierung der Kosten. Bis die Technologie eine breite Anwendung findet und die Wasserstoffgewinnung aus lokalen bzw. einheimischen Quellen gelingt, seien allerdings noch zahlreiche technische Hürden zu meistern. Die Position der EU wird im weltweiten Vergleich als durchschnittlich eingeschätzt.
- Mikrobielle Brennstoffzellen, bei denen die beim Bakterienstoffwechsel entstehenden Elektronen auf eine Elektrode übertragen werden, was die elektrische Energiezeugung ermöglicht. Dies könnte langfristig zu sauberen Brennstoffzellen führen, die Technologie sei allerdings noch sehr weit von der Reife entfernt.

Folgende Technologien haben laut der Studie einen hochspekulativen Charakter und sind noch weit von der technologischen Reife entfernt, so dass ihre Nutzung – insbesondere eine marktfähige – bis 2038 als deutlich weniger wahrscheinlich angesehen wird. Dennoch sollten sie von der EU nicht

vernachlässigt und Kapazitäten entsprechend aufgebaut werden. Es handelt sich dabei um: Flugwindkraftwerke („*airborne wind energy system*“ AWES), die die Windenergie in großer Höhe nutzen, Aluminium-Ionen-Batterien und/oder Aluminium-Luft-Batterien als Alternative zu Lithium-Ionen-Batterien sowie Künstliche Photosynthese.

Materialtechnik

Der Trend gehe zu neuen Lösungen und Materialien, die das Potenzial haben, die Ökobilanz von Materialkreisläufen zu verbessern. Der Fokus liege entweder auf dem Ersatz oder der Optimierung von Materialien und Techniken, die bisher einen negativen ökologischen Fußabdruck aufweisen. Vorausgesetzt werde, dass in Zukunft die Auswahl von Materialien und Materialtechnologien im Sinne einer Kreislaufwirtschaft vorrangig unter dem Aspekt ihrer Effizienz bzw. der Möglichkeit der Wiederverwendung und -verwertung geschehen werde. In diesem Zusammenhang würden laut der Studie biologisch abbaubare Materialien eine wichtige Rolle spielen, genau wie solche Materialien und Materialtechnologien, die zur Steigerung von Effizienz und/oder Langlebigkeit von (bestehenden) technologischen Anwendungen beitragen.

Besonders hervorgehoben werden biobasierte Kunststoffe, d. h. solche Kunststoffe, die z. T. aus Biomasse (z. B. Reis, Kartoffeln, Soja, Palm- oder Weizenfasern, Mais oder auch Holzzellulose) erzeugt werden. Laut der Studie entwickeln sich biobasierte Kunststoffe derart schnell, dass deren Nutzung bis 2038 als sehr wahrscheinlich angesehen wird. Anwendungen für biobasierte Kunststoffe seien in zahlreichen Bereichen möglich, darunter in der Lebensmittelbranche, in der Gesundheitsbranche (s. Abschnitt *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*), in der Elektronik (s. Abschnitt *Basistechnologien der Digitalisierung*) oder auch in der Landwirtschaft (s. Abschnitt *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*). Der Vorteil von biobasierten Kunststoffen liege darin, dass sie zumindest in Teilen biologisch abbaubar sind (entsprechend dem Anteil der Biomasse am gesamten Biokunststoff) und somit einen z. T. deutlich geringeren ökologischen Fußabdruck aufweisen (s. auch Abschnitt *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*). Es handle sich bei biobasierten Kunststoffen um eine Technologie, die sich sehr schnell entwickle und bei der die EU eine starke Position aufweise. Die Fortsetzung aktueller Forschungsaktivitäten in der Kunststoffindustrie könnte zu biobasierten Kunststoffen führen, die aus den Neben- oder Abfallprodukten anderer Industriezweige oder der Landwirtschaft erzeugt werden.

Die verbreitete Nutzung folgender Technologien wird bis 2038 als wahrscheinlich angesehen:

- Intelligentes oder auch „schaltbares“ Glas, deren Lichtdurchlässigkeitseigenschaften sich in Abhängigkeit einer angelegten elektrischen Spannung, veränderter Lichtverhältnisse oder einer Temperaturänderung modifizieren. Genutzt für Fensterscheiben kann intelligentes Glas zur Gestaltung eines „intelligenten Hauses“ (s. „*Bauen und Wohnen*“) beitragen oder auch helfen, einfallende Sonnenenergie in Strom umzuwandeln (s. Abschnitt *Energie*). Eine weitere Anwendung könnten Displays darstellen. Verschiedene technologische Ansätze würden aktuell verfolgt: elektrochrome Materialien, die in Folge einer angelegten elektrischen Spannung Farbe und Transparenz ändern, thermochrome Verglasungen dank Nanomaterialien, *Liquid Crystal*, ein intelligentes Glas, dessen Eigenschaften sich aufgrund einer enthaltenen polymeren Flüssigkeit verändern, bis hin zur Ausnutzung von Nah-UV-Licht durch aus dünnen Halbleitermolekülen bestehende Solarzellenschichten zur Stromerzeugung. Zwar befänden sich die aktuell erforschten Ansätze noch im Prototypstadium, die Studienautor*innen erwarten aber, dass bis 2038 eine Massenproduktion von intelligentem Glas möglich wird.

- Weitere Fortschritte sind bei den 2D-Materialien zu erwarten, d. h. bei solchen kristallinen Materialien, die aus einer Schicht von Atomen oder Molekülen bzw. bei Heterostrukturen aus mehrfach gestapelten Schichten verschiedener 2D-Materialien bestehen. Die Studie rechnet damit, dass daraus neue Halbleiterstrukturen und hocheffiziente Nano-Schaltkreise hervorgehen. Dies könnte zu verschiedenen neuen Anwendungen in der Photovoltaik (Lichtsensoren auf Basis von 2D-Materialien) und in der Elektronik (flexible Elektronik) führen. Langfristig seien dank 2D-Magneten ultraschlanke Computer für neue Anwendungen in der Sensorik und Datenspeicherung denkbar.
- Fortschritte beim 3D-Druck mittels additiver Fertigung werden laut der Studie verschiedene Entwicklungen möglich machen: 3D-Druck von Glas (u. a. Schmelzschichtung oder Stereolithografie) für Anwendungen in der Optik, Photonik und Datenübertragung; 3D-Druck großer Gegenstände oder Bauteile sowie auch 3D-Druck von Lebensmitteln (s. Abschnitt *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*).
- Hydrogele, d. h., Gele aus natürlichen oder synthetischen Polymeren, die in der Lage sind, Wasser zu binden und dadurch eine Formflexibilität aufweisen, die mit derjenigen von natürlichem Gewebe vergleichbar ist, werden zu zahlreichen Anwendungen in der (Bio-)Medizin sowie in der Robotik (Softroboter) führen (s. Abschnitte *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* sowie *Arbeit und Wertschöpfung*).
- 4D-Druck: Damit gemeint ist die Kombination von 3D-Druck mit der Fähigkeit einer Transformation über die Zeit. 4D-gedruckte Objekte sind in der Lage, ihre Form über die Zeit zu verändern oder sich anders zusammenzusetzen, wenn sie einem bestimmten äußeren Reiz (Licht, Wasser, Wärme, einem Magnetfeld, o. Ä.) ausgesetzt werden. Dieser Veränderungsprozess kann reversibel oder irreversibel sein. Als Material für den 4D-Druck könnten sich – aufbauend auf aktuellen Forschungen – beispielsweise Verbundwerkstoffe mit Formgedächtnis-Polymeren oder ebenfalls Hydrogele eignen. Auch wenn der 4D-Druck noch sehr weit von der Technologiereife entfernt sei und mögliche Anwendungen bisher spekulativen Charakter hätten, entwickle sich diese Technologie laut der Studie besonders schnell. Angesichts aktueller Schwächen der EU auf dem Gebiet sollte der Ausbau von Forschungs- und Innovationskapazitäten zum 4D-Druck nicht vernachlässigt werden. Langfristig seien vielfältige Anwendungen denkbar: in der Medizin (s. Abschnitt *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*), im Energiebereich (s. Abschnitt *Energie*) oder auch in der Baubranche (s. Abschnitt *Bauen und Wohnen*).
- Fortschritte sind bei Metamaterialien zu erwarten, d. h. bei solchen vor allem mit Nanotechnologien künstlich hergestellten Materialien, die besondere, nicht in der Natur vorkommende elektrische, optische oder magnetische Eigenschaften aufweisen. Metamaterialien könnten in Zukunft insbesondere zu neuen Anwendungen in der Sensorik, Satellitentechnik sowie bei Photovoltaikzellen führen (s. Abschnitt *Basistechnologien der Digitalisierung*). Erhofft werden zudem einzelne Anwendungen von Metamaterialien bei Alltagsgegenständen, um sie resistenter gegenüber Schäden zu machen – genannt werden Fahrradreifen, die sich selbstständig an die Beschaffenheit des Untergrunds anpassen, oder Kleidungsstücke, deren Oberfläche sich bei Schäden anpasst, um den Träger zu schützen.
- Selbstheilende Materialien, d. h. solche Werkstoffe, die in der Lage sind, Materialschäden, Schnitte oder Brüche zu „identifizieren“ und die ursprüngliche Form und Funktion entsprechend wiederherzustellen. Im Fokus stehen insbesondere selbstheilende Funktionspolymere. Selbstheilende Materialien könnten laut der Studie in Zukunft überall dort zum Einsatz kommen, wo Austausch bzw. Reparatur eines Bauteils nach einem erlittenen Schaden zu aufwändig bzw. zu

kostspielig ist. Als Beispiele werden genannt: Bauteile von Offshore-Windturbinen oder möglicherweise sogar von Flugzeugen und Satelliten während des Flugs. Selbstheilende Materialien seien auch wichtig, um die Widerstandsfähigkeit von Softrobotern zu erhöhen (s. Abschnitt *Arbeit und Wertschöpfung*) oder auch allgemein von Textilien (insbesondere Schutzkleidung) sowie um die Lebensdauer von Batterien zu verlängern (s. Abschnitt *Energie*).

Basistechnologien der Digitalisierung

Informations- und Kommunikationstechnologien, insbesondere künstliche Intelligenz (KI) und die durch KI ermöglichten Anwendungen, werden aufgrund derer zahlreich erwarteten Auswirkungen auf alle Lebens- und Arbeitsbereiche als die wichtigste technologische Welle dargestellt, auf die sich Europa rechtzeitig strategisch vorbereiten sollte. Entsprechend werden alle Basistechnologien der Digitalisierung und insbesondere solche, die für zukünftige KI-Anwendungen den Grundstein liefern, als sehr relevant angesehen. Auf deren Anwendungen und die daraus z. T. neu entstehenden digitalen Lösungen wird u. a. insbesondere im Abschnitt *Digitalisierung*, aber auch im Abschnitt *Arbeit und Wertschöpfung* eingegangen.

Neben der traditionellen siliziumbasierten Elektronik, die weiterhin eine große Rolle spielen werde, könnten neue Materialien und neue Ansätze für Computerarchitekturen die Entwicklung von Rechnern und Speichern ermöglichen, die sowohl eine höhere Geschwindigkeit der Datenverarbeitung als auch eine bessere Energieeffizienz versprechen. Vor dem Hintergrund der sehr schnell wachsenden Datenmengen, die im Zuge der steigenden Automatisierung, Digitalisierung und Ausweitung von KI-Anwendungen verarbeitet, gespeichert und übertragen werden müssen, komme laut der Studie diesen alternativen Ansätzen eine zunehmende Bedeutung zu. Folgende Technologien werden hier genannt:

- In-Memory-Computing, bei dem der Arbeitsspeicher auch zur Datenverarbeitung genutzt wird, was eine flexiblere und skalierbare Rechenarchitektur ermögliche. Hier werden insbesondere Phase-Change RAMs (PCRAM) hervorgehoben, d. h. ein nichtflüchtiger elektronischer Speichertyp, der den Phasenzustand eines spezifischen Materials nutzt, um Daten zu speichern. Ein solcher Phase-Change RAM basiert typischerweise auf einem Material, dessen Widerstand variiert, je nachdem, ob sich das Material in einem amorphen oder einem kristallinen Zustand befindet. Dieser sich zwischen zwei Werten ändernde Widerstand ermöglicht die binäre Kodierung.
- Graphen-basierte Elektronik (u. a. Graphen-Transistoren für Niederspannungselektronik, auf Graphen basierende neuromorphe Chips, die Informationen ähnlich verarbeiten sollen wie das Gehirn, Graphen als Baustein für flexible Elektronik).
- Optische Datenübertragung und Optoelektronik: On-Chips-Lichtquellen mit Kohlenstoffnanoröhren, photonische Chips, optische 5D-Speicher. Es wird erwartet, dass photonische Chips in einigen Jahren bereits in Rechenzentren zum Einsatz kommen könnten.
- Spezialchips und neuronale Netzwerke für die automatische Spracherkennung und -verarbeitung.
- Quantencomputer, wobei zum Zeitpunkt der Studie der noch zu beschreitende Weg zu einem universellen Quantencomputer als sehr lang angesehen wurde. Es wird geschätzt, dass zuerst Quantenhardware für die Lösung spezifischer Probleme entwickelt wird. Parallel werde daran gearbeitet, Quantencomputer effizienter, stabiler und erschwinglicher zu machen.
- Neuromorphe Chips und neuromorphe Silizium-basierte Elektronik, die nach dem Beispiel natürlicher Nervennetze aufgebaut ist. Auf diesem Gebiet sei aufgrund schneller Entwicklungen mit

wichtigen Anwendungen in den nächsten 20 Jahren zu rechnen. Es wird erwartet, dass neuromorphe Chips die Entwicklung von KI-Anwendungen zur Erkennung von Objekten, Sprache, Gesten oder Emotionen vorantreiben. Vorausgesetzt, dass der Stromverbrauch neuromorpher Elektronik beherrschbar bleibt, könnte sie Schlüsselkomponenten für zahlreiche interaktive Geräte sowie für humanoide Roboter zur Verfügung stellen.

Bei Displays werden folgende Neuerungen erwartet: holografische 3D-Displays zur Erweiterung der Bildschirmgröße alltäglicher Geräte, Nutzung von Hydrogelen bei Displays (sowie Robotern, s. Abschnitt *Arbeit und Wertschöpfung*), um die Mensch-Maschine-Interaktion und -Kommunikation zu unterstützen, Nutzung von Nano-LEDs für bessere Farbwiedergabe und vor allem flexible Displays in Folge von Fortschritten bei der flexiblen Elektronik. Hier wird mit einer sehr schnellen Entwicklungsdynamik gerechnet, die zu zahlreichen neuen Anwendungen wie u. a. intelligenten Stoffen, dehnbaren und flexiblen Displays, biegsamen Smartphones oder Tablets mit variabler Bildschirmgröße führen könnten. Potenziell günstige Lösungen für flexible Elektronik könnten durch den 3D-Druck elektronischer Schaltungen ermöglicht werden. Zu einem breiten Einsatz flexibler Elektronik könnte es in den verschiedensten Bereichen kommen – im Energiebereich, Umweltmonitoring, Gesundheitsmonitoring bis hin zur Mensch-Maschine-Interaktion.

Im Bereich der Sensorik seien zahlreiche Entwicklungen zu erwarten, nicht zuletzt in Folge der Kombination von Sensorik mit Nano- und Biotechnologien sowie Elektronik:

- Fortschritte und weitere Miniaturisierung bei Sensoren für KI-Anwendungen in zahlreichen Bereichen: von Nanosensoren zur Überwachung von Biomarkern in der Medizin, Sensoren für die Präzisionslandwirtschaft bis hin zu IoT-Anwendungen in Smartphones, Wearables etc. und LIDAR-Scannern und -Sensoren für das autonome Fahren.
- Biologisch abbaubare Sensoren, d. h. elektronische Bauteile, die, weil sie sich beispielsweise durch Hydrolyse oder biochemische Reaktionen abbauen lassen, eine begrenzte Lebensdauer haben. Biologisch abbaubare Sensoren könnten beispielsweise bei der Überwachung von Prozessen und Produkten in zahlreichen Bereichen helfen (s. Abschnitte *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung und Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*) und gleichzeitig helfen, die Menge an Elektronik-Müll zu reduzieren. Diese Technologie ist eine sich laut der Studie besonders schnell entwickelnde Technologie, bei der die EU Stärken aufweist, wenn sie auch nicht international führend ist.
- Integration von Sensoren in eine sogenannte elektronische Haut oder auch intelligente Tattoos, die zur Unterstützung von Prävention und Telemedizin (Überwachung von Biomarkern) oder auch von VR-Anwendungen (Simulation von Bewegung) eingesetzt werden.
- Neue optoelektronische Schaltkreise und ultraschlanke Computer für Sensorik und Datenspeicherung auf Basis von 2D-Materialien (s. Abschnitt *Materialtechnik*).
- Nutzung von Metamaterialien zur Herstellung leichter Sensoren sowie effizienter Radartechnologien. Sollte die Technologie erschwinglich werden, sei es laut der Studie denkbar, dass leichtere Antennen hergestellt werden können, mittels derer sich einzelne Personen mit Satelliten verbinden könnten – unabhängig von der Verfügbarkeit einer lokalen, kabelgebundenen Internetinfrastruktur.

Darüber hinaus werden folgende Technologien, deren Verbreitung bis 2038 als wahrscheinlich bis sehr wahrscheinlich angesehen wird, besonders hervorgehoben:

- Hardware für AR: Fortschritte werden bei den Geräten erwartet, die AR-Anwendungen unterstützen: z. B. AR-Brillen und AR-Kontaktlinsen. Künftig denkbar sei nicht nur die Erzeugung eines virtuellen Bildes in unmittelbarer Nähe zum Auge, sondern auch die Kopplung mit einem

Lautsprecher, um die Wiedergabe von Audiohinweisen in Abhängigkeit der Blickrichtung auszulösen. Sogar möglich erscheint langfristig die Entwicklung von Implantaten (*Cyber-Physical-Systems*) zur direkten Übertragung einer virtuellen Welt auf die Nervenbahnen. Sollten aktuelle Forschungsaktivitäten in dieser Richtung langfristig erfolgreich werden, hätte das zahlreiche Auswirkungen insbesondere auf die Arbeitswelt (s. Abschnitt *Arbeit und Wertschöpfung*).

- **Hyperspektrale Bildgebung:** Bei der hyperspektralen Bildgebung wird im Unterschied zu traditionellen Bildgebungsverfahren pro Pixel des untersuchten Objekts ein ganzes Spektrum statt eines einzelnen Farbwerts ermittelt. Die hyperspektrale Bildgebung wird als sich sehr schnell entwickelnde Technologie dargestellt, bei der die EU eine starke – wenn auch nicht international führende – Position aufweise. Laut der Studie verspreche die hyperspektrale Bildgebung die Ermittlung deutlich präziserer Informationen zu der Zusammensetzung und den chemischen Eigenschaften untersuchter Objekte, stelle aber auch hohe Anforderungen an die Datenverarbeitung, somit ebenfalls an die Geschwindigkeit der Technologie. Allerdings deuten aktuelle Forschungserfolge sowie die Fortschritte bei Algorithmen des maschinellen Lernens darauf hin, dass bis 2038 zahlreiche Anwendungen der hyperspektralen Bildgebung in der Medizin, im Lebensmittelbereich, bei der Rohstoffbeschaffung oder auch im Sicherheitsbereich möglich werden.
- **Hologramme** – bei denen Entwicklungen im Zuge von Fortschritten insbesondere bei Nano- und Metamaterialien zu erwarten sind, vor allem holografische 3D-Displays zur Erweiterung der Bildschirmgröße alltäglicher Geräte, akustische Hologramme oder berührbare Hologramme als Schnittstelle für die Interaktion mit Geräten oder für VR-Anwendungen.
- Die Fortsetzung aktueller Forschungsaktivitäten könnte zur Entwicklung von Elektronik-Bestandteilen führen, die biobasierte Kunststoffe mit Nanotechnologie verbinden.

Schließlich werden neue hochpräzise Uhren angekündigt – entweder optische Uhren oder neue Atomuhren –, die eine höhere Präzision ermöglichen und somit für Anwendungen in der Industrie, Präzisionslandwirtschaft sowie IT von hoher Relevanz sein könnten.

Spintronik wird als hochspekulativer Bereich angesehen, der dennoch nicht vollkommen vernachlässigt werden sollte.

Biotechnologie

Es wird mit zahlreichen Fortschritten bei allen Technologien gerechnet, die unter Gentechnologien subsummiert werden können, so dass deren Verbreitung bis 2038 als wahrscheinlich bis sehr wahrscheinlich erwartet wird:

- Insbesondere hervorgehoben wird dabei Genome Editing, u. a. mit der CRISPR/Cas9-Methode, das als sich sehr schnell entwickelnde Technologie dargestellt wird, bei der die EU eine starke Position aufweist. Genome Editing könnte zu zahlreichen Anwendungen in Medizin und Landwirtschaft führen.
- Ebenfalls als sehr wahrscheinlich bis zum Zeithorizont 2038 erachtet wird die Nutzung der Gentherapie entweder zur Behandlung oder zur Vorbeugung genetisch bedingter Krankheiten, bei der defekte Gene durch „therapeutische“ Gene ersetzt werden. Trotz der vielversprechenden langfristigen Potenziale seien allerdings noch zahlreiche Hürden zu überwinden – sowohl in technisch-wissenschaftlicher als auch in finanzieller und ethischer Hinsicht.
- mRNA-basierte Impfstoffe und mRNA-basierte Immuntherapien gegen Viren- oder Krebserkrankungen: Das bessere Verständnis hinsichtlich der Wege der Genexpression,

insbesondere der Transkription der DNA in mRNA, könnte langfristig zur Identifizierung von genetischen Fingerabdrücken bzw. genetischen Profilen führen, die helfen, eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer Krankheit oder des potenziellen Versagens von Organen zu treffen. Fortschritte auf diesem Gebiet würden einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung einer personalisierten Medizin liefern.

- Das bessere Verständnis der Epigenetik, d. h. der Mechanismen, die bestimmen, unter welchen Umständen welches Gen aktiviert oder stummgeschaltet wird, wird die Entwicklung neuer Biomarker für Diagnosen und Therapien ermöglichen. Zahlreiche Anwendungen werden diesbezüglich im Gesundheits- oder landwirtschaftlichen Bereich erwartet. Denkbar seien neue Ansätze gegen durch epigenetische Mechanismen ausgelöste Krankheiten wie Atemwegs-, Herz-Kreislauf-, neurologische oder Autoimmunerkrankungen.

Als sehr wahrscheinlich im Jahre 2038 wird darüber hinaus die Nutzung folgender Technologien angesehen:

- Biolumineszenz: Das Phänomen der Biolumineszenz, d. h. die Fähigkeit mancher Organismen, wie von Insekten, Pilzen oder Bakterien, Licht zu erzeugen, könnte, soweit beherrscht, auf andere Organismen, wie Pflanzen, Bakterien und Säugetiere, übertragen werden, so dass damit neue Techniken für Bildgebung und Forschung möglich werden. Einen Biosensor würde beispielsweise eine Bakterie darstellen, die, sobald sie auf ein bestimmtes Molekül trifft, Licht emittiert. Ein solcher Biosensor könnte in der Landwirtschaft bei der Pflanzenuntersuchung zum Einsatz kommen (s. auch Abschnitt *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*). Allerdings weist die EU in diesem technologischen Bereich Schwächen auf.
- Lab-on-a-Chips sind mikrofluidische Systeme, die eine kleine Menge Flüssigkeit rasch analysieren und auswerten können, so dass schnelle Reaktionen auf das Analyseergebnis möglich sind. Laut der Studie stellen sie eine sich sehr schnell entwickelnde Technologie dar, bei der die EU eine international führende Position einnehme. Jüngste Entwicklungen deuten auf die Möglichkeit einer preiswerte(re)n Entwicklung und Fertigung von Lab-on-a-Chips hin, so dass bis 2038 mit zahlreichen Anwendungen im Bereich Medizin zu rechnen sei (s. Abschnitt *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*).

Die verbreitete Nutzung folgender Technologien wird bis 2038 als wahrscheinlich angesehen:

- Fortschritte sind bei der Erkennung und Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Molekülen (molekulare Erkennung) zu erwarten. Von besonderer Relevanz ist die Kombination von Nano- und Biomaterialien für Biosensoren bei unterschiedlichen medizinischen Anwendungen (s. Abschnitt *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*).

Neutraler – sowohl was die Wahrscheinlichkeit der Verbreitung bis 2038 als auch die Stellung Europas im internationalen Vergleich anbelangt – äußert sich die Studie über biohybride Roboter, die künstliche Technologien mit (mindestens einer) biologischen Komponente(n) verbinden. Solche biohybriden Roboter können beispielsweise zur gezielten Verabreichung von Medikamenten oder zum gezielten Aufspüren von Chemikalien in Gewässern eingesetzt werden.

Folgende Technologien haben laut der Studie einen hochspekulativen Charakter und sind noch weit von der technologischen Reife entfernt, so dass ihre Nutzung – insbesondere eine marktfähige – bis 2038 als deutlich weniger wahrscheinlich angesehen wird. Dennoch sollten sie von der EU nicht vernachlässigt und Kapazitäten entsprechend aufgebaut werden. Es handelt sich dabei um:

- Bioelektronik, d. h. die Nutzung biologischer Materialien oder das Nachahmen eines biologischen Systems, um elektronische Strukturen und Geräte zu bauen. Beispiele hierfür seien bioinspirierte

Hardware wie DNA-Speicher, DNA-Schalter oder Bioschnittstellen für Bio-Computer-Systeme. Einsatzgebiete für bioelektronische Systeme könnten im Bereich Prothetik oder Mensch-Maschine-Schnittstelle liegen.

- Nutzung der Pflanzenkommunikation, d. h. der Kommunikationsmechanismen zwischen Pflanzen bzw. zwischen Pflanzen und Insekten oder anderen Lebewesen. Die Forschung befinde sich aktuell erst am Anfang, allerdings könnte sie laut der Studie zu überraschenden Ergebnissen führen, aus denen möglicherweise langfristig Pflanzen-Sensoren oder Pflanzen-Roboter-Hybride hervorgehen könnten.
- Entwicklung einer künstlichen Synapse.

Arbeit und Wertschöpfung

Das Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung* wird laut der Studie in Folge von Digitalisierung, Automatisierung, Robotik sowie dem Einzug von KI in zahlreiche Anwendungen grundlegend verändert. Die kombinierten Auswirkungen von allgegenwärtigen (Daten-)Netzen und KI dürften in allen Arbeitsbereichen zu spüren sein und gleichzeitig grundlegende Merkmale zukünftiger Arbeitswelten darstellen. Darüber hinaus dürften die Ziele für nachhaltige Entwicklung, insbesondere die Anforderung der Kreislaufwirtschaft sowie die Notwendigkeit, den ökologischen Fußabdruck von Wertschöpfungsprozessen zu minimieren, eine wichtige Rolle bei zukünftigen Wertschöpfungsnetzwerken spielen.

Bis 2038 könnten Anwendungen der Erweiterten Realität (*Augmented Reality*) tagtäglich in der Arbeitswelt zum Einsatz kommen: z. B. in Form von AR-Anweisungen in Echtzeit bei der Bedienung einer Maschine, von interaktiven AR-Formaten zur Aus- und Weiterbildung oder auch von immersiven Erlebnissen im Online-Handel. Es wird erwartet, dass intelligente Chatbots und virtuelle Assistenten eine zunehmende Rolle im Arbeitsleben, und hier insbesondere im Dienstleistungsbereich, spielen werden. Durch eine KI-Integration könnten neue Möglichkeiten der Kooperation mit Kund*innen sowie mit Partner*innen der Wertschöpfungskette eröffnet werden.

Neue Displayformate, neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion, werden Arbeitsschritte intuitiver machen. Die möglich gemachte Ferninteraktion mit Menschen und Maschinen wird laut der Studie dazu führen, dass Arbeitsprozesse und Maschinen gesteuert werden können, ohne dass der sie steuernde Mensch physikalisch anwesend sein muss. Telearbeit wird als ein wichtiger Trend angesehen, der die Globalisierung sowohl fördern als auch nutzen könnte und mit neuen Arbeitsmodellen einhergehen dürfte.²⁶¹

Vor dem Hintergrund der demografischen Entwicklung in Europa werden ältere Menschen als wertvolle Ressourcen für die Gesellschaft und insbesondere im Arbeitsleben angesehen. Neue Altersmanagement-Konzepte, generationsübergreifende Umgebungen sowie Digitalisierungsanwendungen könnten helfen, ältere Arbeitnehmende zu ermutigen, ggf. trotz körperlicher Einschränkungen länger im Job zu bleiben. Roboter werden laut der Studie eine zunehmende Rolle spielen und Exoskelette, d. h. eine künstliche externe Struktur, die angelegt/getragen wird, um körperliche Einschränkungen zu kompensieren, könnten helfen, die Belastung bei körperlich sehr anstrengenden Tätigkeiten und die Gefahr von Verletzungen zu reduzieren.

²⁶¹ Bei den Aussagen zu Telearbeit ist zu beachten, dass die untersuchte Studie vor der Covid-19-Pandemie veröffentlicht wurde, die Auswirkungen der Pandemie auf die Arbeitswelt deshalb nicht berücksichtigt wurden.

Die verbreitete Nutzung von Softrobotern wird bis 2038 als wahrscheinlich erachtet. Damit gemeint sind Roboter, die – zumindest in Teilen – aus weichen Materialien wie Hydrogelen, Latex oder Silikon bestehen und somit im Vergleich zu herkömmlichen starren Robotern deutlich flexibler und anpassungsfähiger agieren können. Softroboter seien allerdings anfälliger für Schäden und Verletzungen, weshalb neue Entwicklungen im Bereich selbstheilende Materialien und Hydrogele als vielversprechend dargestellt werden (s. Abschnitt *Materialtechnik*). Denkbar sei beispielsweise ein Roboter, dessen Hand aus einem gelee- und gummiähnlichen Polymer besteht, die nach einem Materialschaden unter Wärmezufuhr die ursprüngliche Form und Funktion wiedererlangen kann. Neben der Industrie seien vor allem Anwendungen von Softrobotern in der Medizin zu erwarten (s. Abschnitt *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*).

Humanoide Roboter könnten langfristig, sobald deren Herstellung erschwinglich werde und ihre Leistung ein gewisses Niveau erreicht habe, mehr Akzeptanz in der Bevölkerung genießen und in zahlreiche Arbeitsumgebungen integriert werden – von der Industrie über den Kulturbereich bis hin zum Bereich Pflege- und Haushaltsdienstleistungen.

Der 3D-Druck sowie neue Methoden der Bildgebung könnten helfen, Waren und Geräte lokal zu produzieren, und somit eine kundenspezifische und maßgeschneiderte Produktion in Kundennähe ermöglichen. Dies könnte zu einer Neu-Organisation von Wertschöpfungsketten führen sowie Kund*innen zunehmend zu „Prosument*innen“ werden lassen, und gleichzeitig dazu beitragen, die Abhängigkeit von Rohstoffen sowie die finanziellen und umweltbezogenen Kosten des Transports von Waren und Geräten zu minimieren. In dieselbe Richtung geht auch der Trend zu mehr Makerspaces, die stellvertretend für neue Räume der kollaborativen Zusammenarbeit und Innovation sind. Zusammen mit Technologien wie dem 3D-Druck oder der Diversifizierung der Wege der Wissensvermittlung könnten sie zu einer Demokratisierung von Fertigung und Technik führen und – damit verbundenen – zu einer dezentralen Verteilung von Produktions- und Fertigungsstätten. Verfügbarkeit und Transparenz von Online-Angeboten und Dienstleistungs- und Produktinformationen könnten bewirken, dass Online-Empfehlungen und Online-Bewertungen eine größere Bedeutung bekommen und zukünftige Konsumententscheidungen vermehrt peer-to-peer-basiert werden.

Es wird erwartet, dass die Digitalisierung und insbesondere digitale Plattformen zur Entstehung neuer (internetbasierter) Formen der Wertschöpfung und zu neuen Arbeits- und Geschäftsmodellen führen werden, u. a. zu zugangs- und nutzungsbasierten Geschäftsmodellen oder auch Online-Plattformen für Schulungen und Weiterbildungen. Für viele Menschen könnte die plattformbasierte Arbeit zur wichtigsten Arbeitsform werden – mit den verbundenen Risiken hinsichtlich Arbeitsschutzes. In Kombination mit der zunehmenden Nutzung von sozialen Netzwerken könnten digitale Plattformen der Sharing Economy einen weiteren Schub geben. Der Stellenwert, den Daten im 21. Jahrhundert erlangen werden, wird mit demjenigen verglichen, den Öl für das 20. Jahrhundert hatte. Es wird erwartet, dass neue Märkte und Geschäftsmodelle auf Basis von Nutzerdaten entstehen.

Zusammen mit der durchdringenden Digitalisierung der Arbeitswelt könnte das Risiko einer zunehmenden digitalen Überwachung von Arbeitnehmenden einhergehen.

Gesundheit, Lifestyle, Ernährung

Gesundheit wird laut der Studie eine immer wichtiger werdende Bedeutung zugesprochen. Mit dem steigenden Bewusstsein für Gesundheitsfragen und gesundheitsfördernde Faktoren werden Vorsorge, die Vermeidung von Krankheiten und die proaktive Förderung von gesundheitsförderndem Verhalten immer relevanter. In technologischer Hinsicht werden zahlreiche Entwicklungen und neue Anwendungen im Gesundheits- und Pflegebereich in Folge des Einzugs bzw. der weiteren Durchdringung des Gesundheitsbereichs durch Digitalisierung, KI, Robotik, Nano- und Biotechnologien erwartet.

Durch digitale Anwendungen und KI-Anwendungen könnte die kontinuierliche Überwachung von physiologischen Daten und Symptomen möglich werden – sowohl auf individueller Basis als auch im Rahmen telemedizinischer Gesundheitsdienstleistungen. Gesundheitsdaten der Menschen und Akteure des Gesundheitssystems könnten zunehmend vernetzt und zueinander in Verbindung gebracht werden, um eine personalisierte, effiziente Medizinversorgung zu ermöglichen.

Medizinische Innovationen könnten zu einem längeren und besseren Leben führen. Altersgerechte und intelligente Technologien könnten das Wohlbefinden sowie das selbstständige und sichere Wohnen von Menschen im hohen Alter zu steigern helfen.

Von einem besseren Verständnis der Mechanismen, die zahlreichen Krankheiten – beispielsweise Krebs, neurodegenerativen Krankheiten, Diabetes, aber auch psychischen Krankheiten – zugrunde liegen sowie der Identifizierung passender Biomarker und der Entwicklung geeigneter Sensortechniken werden neue Diagnose- und Behandlungsansätze erwartet. Es wird mit zahlreichen neuen Ansätzen der Prädiktion, Vorbeugung und Behandlung von Krankheiten in Folge von Fortschritten bei Gentechnologien im Allgemeinen gerechnet – von Gentherapien, mRNA-Impfstoffen und mRNA-basierten Immuntherapien bis hin zu epigenetischen Biomarkern (s. Abschnitt *Biotechnologie*). Insbesondere könnten Fortschritte auf dem Gebiet der Epigenetik und der Genexpression einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung einer personalisierten Medizin auf Basis genetischer Fingerabdrücke eines Menschen leisten.

Es werden insbesondere folgende Technologien und Innovationen hervorgehoben:

Digitale und KI-Anwendungen für Diagnose und Behandlung:

- AR-Unterstützung im Gesundheitsbereich: für Ärzteschaft und Pflegepersonal, z. B. AR-Unterstützungen bei Operationen, aber auch für Patient*innen, z. B. virtuelle Modelle zur Unterstützung der richtigen Position bei empfohlenen körperlichen Übungen. AR-Anwendungen könnten auch künftig zur Optimierung körperlicher Fähigkeiten eingesetzt werden, z. B. zur Unterstützung von Menschen mit fehlenden sensorischen Wahrnehmungen.
- Neue bildgebende Verfahren – beispielsweise zur Untersuchung von neuronalen Netzen oder auch von Tumoren und Therapiefortschritten in der Krebsbehandlung – könnten durch Nutzung der Biolumineszenz möglich werden. (s. auch Abschnitt *Biotechnologie*).
- Nutzung der hyperspektralen Bildgebung im medizinischen Diagnose- und Behandlungsprozess, z. B. bei Krebserkrankungen (s. auch Abschnitt *Basistechnologien der Digitalisierung*).
- Nutzung von akustischen Hologrammen zur Unterstützung von Ultraschall-Bildgebung und medizinischen Behandlungsmöglichkeiten.

Biotechnologische und Sensorik-Anwendungen für Diagnose und Behandlung:

- Biologisch abbaubare Sensoren für verschiedene Anwendungen in Medizin und Lebensmittelindustrie – beispielsweise eingebaut in medizinischen Implantaten für zeitlich begrenzte Messungen im Körper oder zur Überwachung des Produktlebenszyklus in der Lebensmittelindustrie (Frische, Temperatur von Lebensmitteln) oder auch von Medikamenten in der pharmazeutischen Industrie (s. auch Abschnitt *Basistechnologien der Digitalisierung*).
- *Lab-on-a-Chips* (z. B. Flüssigbiopsie-Chips etc.), die zu einer schnelleren Diagnose zahlreicher Krankheiten sowie einer besseren Überwachung therapeutischer Behandlungen führen und somit eine deutliche Verbesserung der Gesundheitsversorgung ermöglichen könnten.
- Fortschritte bei der molekularen Erkennung (s. Abschnitt *Biotechnologie*) werden laut der Studie Biosensoranwendungen ermöglichen, die Nanomaterialien und eine zur Erkennung biologischer Vorgänge geeignete Komponente wie Enzyme, DNR, mRNA oder andere Biomoleküle zu kombinieren. Dies könnte für bessere tragbare Diagnosegeräte bzw. zur Früherkennung eines drohenden/beginnenden Herzinfarktes genutzt werden. Auch seien Verbesserungen bei der Vorsorge zu erwarten, wenn solche Biosensoren helfen, die Sensitivität und Spezifität von Screeningmethoden zu verbessern.
- Es wird mit einer Verbesserung der Methoden zur Verabreichung von Arzneimitteln gerechnet – u. a. aufgrund der Nutzung von Nanomaterialien und/oder Hydrogelen als Trägermaterialien sowie von Biosensoren, die helfen, eine ziel- und bedarfsgenaue Freisetzung der Therapeutika zu ermöglichen. Dies könnte zu einer deutlichen Verbesserung bei der Behandlung von Krebserkrankungen sowie chronischen Erkrankungen führen – bei gleichzeitiger Senkung der Therapiekosten, insbesondere durch die Verkürzung stationärer Behandlungen.
- Fortschritte bei der Antibiotika-Resistenzbestimmung, d. h. bei der Überprüfung der Empfindlichkeit bzw. Widerstandsfähigkeit von Bakterien gegenüber verschiedenen Antibiotika. Dies könnte zur Vermeidung unnötiger Antibiotika-Behandlungen und somit zu einer Reduzierung der steigenden Antibiotika-Resistenz beitragen.

Materialinnovationen und Robotik für medizinische Behandlungen, Bionik:

- biobasierte und biokompatible Kunststoffe für medizinische Produkte, beispielsweise für die Wundbehandlung (Pflaster, Desinfektionsprodukte), für biomedizinische Implantate oder medizintechnische Geräte,
- Nutzung des 4D-Drucks z. B. für Arzneimittel, deren Wirkstoff entsprechend der Temperaturveränderung oder nach Erkennung einer bestimmten Substanz im Körper verabreicht wird, Gewebezüchtung (*tissue engineering*) mit Polymeren mit Formgedächtnis,
- die Nutzung von Hydrogelen, d. h. von Gelen aus natürlichen oder synthetischen Polymeren, die in der Lage sind, Wasser zu binden und dadurch eine Formflexibilität aufweisen, die mit natürlichem Gewebe vergleichbar ist. In der regenerativen Medizin könnten sie als Basis zur Herstellung künstlicher Bänder oder 3D-gedruckter Organe genutzt werden, da sie es ermöglichen könnten, sowohl Flexibilität als auch Steifigkeit menschlichen Gewebes nachzuahmen. Hydrogele könnten auch für Verbände genutzt werden. In der Krebsforschung könnten Hydrogele helfen, das Abbild eines Tumors nachzustellen und potenzielle Behandlungsansätze an diesem Abbild auszuprobieren – darin sieht die Studie großes Potenzial, einen weiteren Schritt in Richtung personalisierter Krebstherapie zu ermöglichen. Ferner könnten Hydrogele in der pharmazeutischen Industrie als Trägermaterial für Therapeutika genutzt werden. Darüber hinaus wird erwartet, dass Hydrogele zur Herstellung von Softrobotern führen, die für Behandlung bzw. Operationen

eingesetzt werden. Mit Hydrogelen könnte laut der Studie je nach Stimmung, Vorhandensein einer Krankheit etc. eine Veränderung eines Softroboters herbeigeführt werden – perspektivisch könnte es zu einer besseren Mensch-Roboter-Kommunikation beitragen,

- Softroboter für medizinische Anwendungen (s. auch Abschnitt *Arbeit und Wertschöpfung*).

Es wird mit Fortschritten auf dem Gebiet der regenerativen Medizin und des Tissue Engineering gerechnet, insbesondere was die Entwicklung zuverlässiger und kostengünstiger Methoden zur Zelldifferenzierung und -kultur sowie zur Gewebezüchtung angeht. Bis 2038 könnten Ansätze der Züchtung von Organen und Geweben erfolgreich sein, die ohne externe Stützmatrizen auskommen. Eine besondere Form des Tissue Engineering stelle das sogenannte Bioprinting dar, d. h. die Nutzung des Prinzips des 3D-Drucks, um aus Polymeren oder gentechnisch hergestellten Biomaterialien menschliches Gewebe oder Organe herzustellen, die anschließend in den menschlichen Körper implantiert werden können. Bioprinting biete den Vorteil einer individuellen Anpassung bei gleichzeitiger Minimierung der Nebenwirkungen, insbesondere des Risikos einer Abstoßung des implantierten Materials. Genannt werden 3D-gedruckte Knochen aus keramischen Verbundwerkstoffen zur Reparatur von Frakturen und Knochendefekten, 3D-gedrucktes Hautgewebe und Blutgefäße zur Transplantation nach Unfällen und Verbrennungen oder 3D-gedruckte künstliche Nieren für Dialyse-Patient*innen.

Body-Enhancement und Mensch-Maschine-Interaktion:

- Nutzung von bionischen Ansätzen zur Optimierung der biologischen und körperlichen Funktionen.
- Exoskeletten, d. h. externen, künstlichen Strukturen, die angelegt bzw. getragen werden, um eingeschränkte natürliche körperliche Fähigkeiten wieder zu verbessern oder zu steigern, wird eine große Bedeutung beigemessen. Die Entwicklung von Exoskeletten aus der Kombination von Robotik und Bio-Mechatronik wird als sich sehr schnell entwickelnde Technologie dargestellt, bei der die EU eine starke – wenn auch nicht international führende – Position aufweise. Exoskelette könnten in Zukunft mit einer Hirn-Computer-Schnittstelle verbunden sein und somit gelähmten Patient*innen oder Patient*innen mit degenerativen Erkrankungen des Bewegungsapparats bzw. des Nervensystems helfen, einen Teil der verlorenen Funktionalitäten zurückzuerlangen.
- Fortschritte beim Verständnis der Gehirn-Funktionen und -Mechanismen, der Gedächtnisbildung sowie kognitiver Funktionen könnten zu neuen Diagnose- und Behandlungsansätzen, z. B. bei psychischen und neurodegenerativen Erkrankungen, sowie zur Entwicklung von Gehirn-Maschine-Schnittstellen führen.

Auf dem Gebiet der Ernährung werden laut der Studie Nachhaltigkeitsaspekte (u. a. lokale bzw. regionale Lebensmittel in Bio-Qualität) eine immer größer werdende Rolle spielen. Dank des weiteren Einzugs von Robotik und Automatisierung, fortgeschrittener Sensorik sowie intelligenter energie- und wassereffizienter Systeme in die Landwirtschaft könnten sich Präzisionslandwirtschaft, Indoor- und/oder teil- oder vollautomatisiertes Farming verbreiten. Auch Landwirtschaft unter extremen klimatischen Bedingungen könnte aufgrund neuer Technologien möglich werden.

Die Nutzung von Methoden der Genom-Editierung, insbesondere die CRISPR-Methode, könnte zu neuen Möglichkeiten sowohl in der Landwirtschaft als auch in der Tierzucht führen, aber ebenso ethische Fragen aufwerfen.

Der 3D-Druck könnte die Herstellung von immer mehr unterschiedlichen Lebensmitteln und Zutaten aus einem Grundpulver ermöglichen. Der 3D-Druck von Lebensmitteln sei eine sich besonders schnell entwickelnde Technologie und ermögliche die direkte Verwendung an Ort und Stelle, unabhängig von

der Verfügbarkeit einzelner Zutaten, und bei immer gleichbleibendem Geschmack und konstanter Qualität (s. Abschnitt *Materialtechnik*).

Methoden der hyperspektralen Bildgebung könnten zur Untersuchung der Lebensmittelqualität im Lebensmittelbereich eingesetzt werden.

Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima

Die Studie geht davon aus, dass nach der ICT- und KI-Welle die zweite relevante Welle im Hinblick auf Innovationen und sozio-technische Entwicklungen durch die Erfüllung der politischen, sozialen, ökonomischen und umweltbezogenen Ziele der Vereinten Nationen (SDGs) bestimmt wird. Die Verflechtung von Umwelttechnologien mit den Digitalisierungs- und KI-Technologien könnte Synergien bringen. Allein sieben der 23 identifizierten globalen Wertschöpfungsnetze stehen in direktem Zusammenhang mit Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima. Konzepte und Technologien für eine nachhaltige und effiziente Energie-, Wasser- und Rohstoffnutzung stehen im Vordergrund, genauso wie solche, die den Anforderungen einer Kreislaufwirtschaft (insbesondere Wiederverwertung und Recycling) genügen. Hervorgehoben werden Ansätze, die es ermöglichen, Technologien, Produkte, Materialien oder Bauteile mit solchen zu substituieren, die einen kleineren ökologischen Fußabdruck aufweisen. Darüber hinaus wird Technologien, die helfen, den Klimawandel einzudämmen bzw. seine Auswirkungen zu minimieren, eine große Bedeutung zugesprochen.

Insbesondere mit der Verbreitung folgender Technologien wird zum Zeithorizont 2038 gerechnet:

- Zu nachhaltigen Energietechnologien und Energieeffizienzkonzepten (s. Abschnitt *Energie*).
- Nutzung von biologisch abbaubaren Sensoren im Bereich Umweltmonitoring, beispielsweise zur Überwachung von Chemikalien oder dem Lebenszyklus von Geräten – bei gleichzeitiger Vermeidung der Entstehung von Elektronik-Altgeräten und -Bestandteilen, da sich die Sensoren nach einiger Zeit selbst auflösen.
- Nutzung von biobasierten Kunststoffen (s. Abschnitt *Materialtechnik*) für Produkte der Lebensmittel-, Gesundheits- oder Lifestyle-Industrie.
- Nutzung der hyperspektralen Bildgebung zur Ermittlung von Rohstoffvorkommen oder auch zur Unterstützung des Recycling-Prozesses und Überprüfung von Materialzusammensetzung und -qualität (s. auch Abschnitt *Basistechnologien der Digitalisierung*).
- Auch wenn entsprechende Ansätze aktuell noch weit von der Technologiereife entfernt seien, hält es die Studie für wahrscheinlich, dass bis 2038 Verfahren entdeckt, beherrscht und in großem Maßstab angewandt werden könnten, bei denen PET von Bakterien, Pilzen oder Hefekulturen zu biologisch abbaubarem Abfall (möglicherweise zu natürlichem Dünger) umgewandelt wird.
- Weitere Fortschritte sind laut der Studie bei den Methoden zur Rückgewinnung von Nährstoffen wie Stickstoff oder Phosphor aus Abwasser zu erwarten. Die konsequente Nutzung von Abwasser als Quelle für ansonsten seltene Rohstoffe wird als potenzieller Durchbruch dargestellt.
- Der Einsatz von Nanotechnologien – u. a. Graphenoxid und Kohlenstoffnanoröhren – für Filter und Membranen wird wahrscheinlich bis 2038 Entsalzungs- und Wasseraufbereitungsmethoden energieeffizienter und kostengünstiger machen. In Industrieländern könnte dies zu einer energieeffizienteren und weit(er) verbreiteten Abwasserfiltration im Industriebereich und deshalb zu einer Minimierung des ökologischen Fußabdrucks führen. In Schwellenländern, Regionen, die unter Dürre leiden, oder solchen, die vom steigenden Meeresspiegel direkt bedroht sind, könnten

effiziente und kostengünstigere Entsalzungstechnologien helfen, den Zugang zu Trinkwasser zu ermöglichen bzw. zu vereinfachen.

- Die verbreitete Nutzung von Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung bzw. CO₂-Abscheidung und -Nutzung (s. Abschnitt *Energie*) wird bis 2038 als wahrscheinlich erachtet, sollten die Kosten des Klimawandels und somit die Anreize, seine Auswirkungen einzudämmen, weiter steigen.
- Es wird zwar als wahrscheinlich angesehen, dass Methoden des Geoengineering bzw. Climate Engineering bis 2038 eingesetzt werden, um mögliche Auswirkungen des Klimawandels teilweise zu kompensieren. Allerdings wird betont, dass angesichts der technischen Risiken sowie der geopolitischen Konflikte, die im Zuge von Geoengineering entstehen können, eine globale Steuerung und Regulierung der Verfahren erforderlich seien.
- Technologien, die langfristig ein Leben unter Wasser ermöglichen könnten (z. B. Technologien zur Druckregulierung und Sauerstoffzirkulation), könnten laut der Studie bis 2038 zu ersten Unterwassergärten führen, in denen ausgebildete Fachkräfte zwecks Pflanzenanbau bzw. Abbaus von Unterwasserressourcen vor Ort wären. Auch wenn sich die für ein Leben unter Wasser benötigten Technologien sehr schnell entwickeln würden und Europa eine gute Position auf dem Gebiet aufweise, werden groß angelegte Lebensräume unter Wasser lediglich als sehr langfristige Option angesehen, die vor dem Hintergrund des Klimawandels und schwindender Lebensräume in Küstennähe an Bedeutung gewinnen könnte.

Folgende Technologien haben laut der Studie einen hochspekulativen Charakter und sind noch weit von der technologischen Reife entfernt, so dass ihre Nutzung – insbesondere eine marktfähige – bis 2038 als deutlich weniger wahrscheinlich angesehen wird. Dennoch sollten sie von der EU nicht vernachlässigt und Kapazitäten entsprechend aufgebaut werden. Es handelt sich dabei um:

- künstliche Photosynthese,
- Asteroiden-Bergbau, d. h. den Abbau der in Asteroiden vorhandenen Rohstoffe.

Bauen und Wohnen

Bedingt durch die Urbanisierung als Megatrend sowie die Auswirkungen des Klimawandels erhöht sich die Bedeutung des ökologischen Fußabdrucks von Gebäuden und Städten. Die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden sowie die Erneuerung und Modernisierung des vorhandenen Wohn- und Bürobestands dürften laut der Studie zukünftig eine wichtige Rolle in Europa spielen. Bei den eingesetzten Baumaterialien und -verfahren wird der Grundsatz der Kreislaufwirtschaft wichtig; smarte, nachhaltige und neue Materialien dürften zunehmend eingesetzt werden (s. Abschnitt *Materialtechnik*). Bei der Planung und dem Bau von Gebäuden werden digitale Modelle und Daten, KI, der 3D-Druck sowie Roboter wichtig und effizient eingesetzt. Die Digitalisierung und das Internet der Dinge (IoT) werden in allen Phasen des Nutzungszyklus eines Gebäudes (Planung, Nutzung, Wartung, Modernisierung etc.) eine wichtige Rolle spielen.

Vor dem Hintergrund, dass bis 2038 mit einem breiten Einsatz autonomer Fahrzeuge gerechnet wird, erwartet die Studie große Auswirkungen auf das Stadtbild und die städtische Infrastruktur (beispielsweise Verkehrswege in der Stadt, die für autonome Fahrzeuge reserviert sind). Darüber hinaus könnte die – ehemals als sinnlos empfundene – Pendelzeit zur Arbeitsstätte dank autonomer Fahrzeuge sinnvoll genutzt werden und Wohnorte im Speckgürtel von Städten bzw. ländliche Wohnorte attraktiver werden (s. Abschnitt *Mobilität und Transport*). Darüber hinaus könnte das

Konzept der autofreien Stadt einen radikalen Umbruch für Infrastruktur, Stadtbild und Stadtgestaltung darstellen.

Die verbreitete Nutzung folgender Technologien wird bis 2038 als wahrscheinlich angesehen:

- Fenster aus intelligentem Glas, d. h. aus Glas, dessen Lichtdurchlässigkeitseigenschaften sich in Abhängigkeit einer angelegten elektrischen Spannung, veränderter Lichtverhältnisse oder einer Temperaturänderung verändern (s. Abschnitt *Materialtechnik*). Solche Fenster könnten zur Verdunkelung von Wohnräumen oder auch zur Regulierung des Wärme- oder Klimatisierungsbedarfs eines Gebäudes beitragen. Bis 2038 wird mit einem breiten Einsatz solcher „intelligenter Fenster“ gerechnet, was einen Beitrag zur Senkung des Energieverbrauchs bei Wohn- und Bürogebäuden leisten könnte.
- Thermoelektrische Farbe, die beispielsweise einfallende Sonnenwärme in Strom umwandeln könnte, der zur Kühlung von Innenräumen genutzt würde (s. Abschnitt *Energie*).
- „Intelligente“ Baubestandteile, Rohre etc. die dank 4D-Druck entsprechend der Nutzung bzw. nach Schäden zur ursprünglichen Form zurückkehren können: z. B. Rohre, deren Durchmesser sich an die Durchflussmenge anpasst, Brücken, Anlagen, die sich nach Wetterschäden „selbst reparieren“ (s. Abschnitt *Materialtechnik*).

Verteidigung und Sicherheit

Dem Themenfeld *Verteidigung und Sicherheit* wird in der Studie weniger Gewicht verliehen als anderen Themen. Es finden sich allerdings einzelne Bezüge zu diesem Themenfeld:

Für sehr wahrscheinlich wird in der Studie die Verbreitung von Drohnen für die Kriegsführung bis 2038 gehalten, was eine weitere Anpassung der Interventionspolitik großer Regierungen zur Folge haben könnte. Es ist zu erwarten, dass weitere Fortschritte bei der Erfassung der Sensordaten von Drohnen, bei der Miniaturisierung von Sensoren und Drohnen sowie bei den Algorithmen zur Drohnensteuerung erreicht werden können. Dies könnte die Zielsicherheit und Präzision von Drohnenangriffen erheblich steigern. Möglich erscheint zudem, dass in Zukunft leichtere Brennstoffzellen, z. B. Wasserstoff-Brennstoffzellen, zur Verfügung stehen, die die Energieautonomie und somit die Reichweite von Drohnen zu erhöhen helfen. Hoffnung wird in aktuelle Forschungsarbeiten gelegt, bei denen es darum geht, Drohnen zu entwickeln, die sich eigenständig aus Biomasse, die sie auf dem Kriegsfeld vorfinden, mit Energie versorgen.

Langfristig erscheint eine gegenseitige Zerstörung durch autonome Kriegsdrohnen nicht unmöglich – wenn auch Kosten und der aktuelle Technologiestand dieser hypothetischen Entwicklung entgegenstehen.

In Reaktion auf die Bedrohung durch Drohnen wird mit weiteren Entwicklungen bei der Drohnenabwehrtechnologie gerechnet. Näher wird allerdings in der Studie nicht darauf eingegangen.

Trotz der als sehr hoch eingeschätzten Nutzungswahrscheinlichkeit von Exoskeletten im Allgemeinen im Jahr 2038 (s. Abschnitte *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* sowie *Arbeit und Wertschöpfung*), wird nicht damit gerechnet, dass diese Technologie große Anwendung im militärischen Bereich findet. Exoskelette, die Ganzkörperpanzern ähneln würden, würden vermutlich einen zu hohen Energiebedarf aufweisen; höchstens leichtere Exoanzüge für den militärischen Bereich werden als mittelfristig möglich dargestellt.

Technologien für den Katastrophenschutz werden laut der Studie bis 2038 weit verbreitet sein: Früherkennungssysteme für Naturkatastrophen, die Sensordaten auswerten und entsprechend eine Warnung ausgeben, geeignete Informationssysteme, um die Bevölkerung rechtzeitig zu warnen und zu informieren, Roboter für den Einsatz in Katastrophengebieten, Drohnen.

Hyperspektrale Bildgebungsverfahren könnten bis 2038 eingesetzt werden, um gefährliche Chemikalien, Sprengstoffe oder auch Betäubungsmitteln aufzuspüren.

Schwarmintelligenz und Schwarmrobotik könnten langfristig im Militärbereich zu neuen Anwendungen führen.

Mobilität und Verkehr

Automatisierung, Digitalisierung und die Steigerung der Energieeffizienz – somit die Minimierung der Umweltauswirkungen des Transportbereichs – stellen wesentliche Trends im Transportbereich dar. Zukünftige Mobilitätssysteme – sowohl für Menschen als auch für Waren – werden laut der Studie effiziente, intelligente, weitgehend automatisierte und multimodale Verkehrssysteme sein. Optimierte und intelligente Transport- und Logistiksysteme ermöglichen individualisierte und bedarfsorientierte Mobilitätsdienstleistungen und minimieren gleichzeitig Stau-Probleme, z. B. in Städten.

Autonomes Fahren durchlebt laut der Studie eine solch rapide Entwicklung, dass dessen Verbreitung bis 2038 als sehr wahrscheinlich angesehen wird – wenn auch geschätzt wird, dass die Einführung der Technologie nicht so schnell geschieht, wie vor wenigen Jahren erhofft. Unterstützt wird das Vorantreiben von autonomem Fahren durch bereits erzielte sowie erwartete Fortschritte bei den hierfür benötigten Technologien: Sensorsysteme, LIDAR-Technik, Kameratechnik sowie zugrundeliegende Algorithmen. Unterstrichen wird, dass Europa auf dem Gebiet des autonomen Fahrens eine starke Position aufweise. Zudem würde eine strategische Schwerpunktsetzung der EU auf KI und deren Anwendungen – so wie sie in der Studie empfohlen wird – dazu beitragen, dem KI-Anwendungsfeld des autonomen Fahrens einen Schub zu geben.

Kurz- bis mittelfristig wird mit der Entwicklung von *nahezu* autonomen Fahrzeugen gerechnet, die in unvorhergesehenen Situationen die Kontrolle an den Menschen abgeben können, bei denen also der Mensch als Fahrer*in weiterhin eine wichtige Rolle spielt.

Von einer langfristigen Verbreitung *vollständig autonomer* Fahrzeuge erwartet die Studie einen Paradigmenwechsel im Mobilitäts- und Transportbereich, der zahlreiche – noch nicht komplett absehbare – gesellschaftliche Folgen haben könnte. Folgende Beispiele für mögliche Konsequenzen eines breiten Einsatzes autonomer Fahrzeuge in Wirtschaft und Privatleben werden genannt:

- Arbeitnehmende könnten die Fahr- oder Pendelzeit zu ihrem Arbeitsplatz für dienstliche oder private Tätigkeiten nutzen.
- Die letzte Meile, d. h. der letzte Teil des Transports von Waren an die Kund*innen, könnte sich grundlegend verändern: Einkäufe jedweder Art könnten an die Menschen in autonomen Fahrzeugen geliefert werden, ohne dass sie sich selbst bewegen müssen.
- Der Besitz eines eigenen PKW könnte für viele Menschen nicht mehr attraktiv sein.
- Der Warentransport würde selbst zu einer Dienstleistung werden, die von Logistikanbieter*innen je nach Anforderungen aus der Kombination autonomer Transportmittel auf dem Land-, Luft- oder Seeweg erfolgt.

- Das Stadtbild und die städtische Infrastruktur könnten sich sehr verändern: Denkbar seien Straßen oder möglicherweise unterirdische Tunnel, die ausschließlich für autonome Fahrzeuge zur Verfügung ständen.

Als wahrscheinlich wird die Verbreitung der Hyperloop-Technologie bis 2038 angesehen. Bei der Hyperloop-Technologie werden Transport-Druckkapseln, die Menschen und/oder Waren transportieren können, mithilfe von Magnetfeldern durch einen Vakuum-Tunnel fortbewegt. Aufgrund des fehlenden Luftwiderstands sind sehr hohe Transportgeschwindigkeiten möglich. Die Hyperloop-Technologie entwickle sich laut der Studie schnell – allerdings weise die Europäische Union Schwächen auf dem Gebiet auf. Langfristig wird erwartet, dass die Hyperloop-Technologie helfen werde, Herausforderungen im Transport- und Infrastrukturbereich zu meistern. Sie wird als eine schnelle, innovative, leise, sichere und nachhaltige Transporttechnologie mit hoher Relevanz für Mobilität und Verkehr der Zukunft dargestellt. Insbesondere könnte die Hyperloop-Technologie helfen, Verkehrsstaus in Ballungsräumen zu reduzieren.

Flugautos stellen eine weitere vielversprechende Technologie dar – wenn auch noch weit von einer Marktreife und Verbreitung entfernt; Flugautos werden im Abschnitt *Luft- und Raumfahrt* behandelt.

Luft- und Raumfahrt

Es ist zu erwarten, dass weitere Fortschritte bei der Erfassung der Sensordaten von Drohnen, bei der Miniaturisierung von Sensoren und Drohnen sowie bei den Algorithmen zur Drohnensteuerung erreicht werden können. Dies könnte die Präzision von Drohnenflügen erheblich steigern. Möglich erscheint zudem, dass in Zukunft leichtere Brennstoffzellen, z. B. Wasserstoff-Brennstoffzellen, zur Verfügung stehen, die die Energieautonomie, somit die Reichweite von Drohnen, zu erhöhen helfen. Als sehr wahrscheinlich wird der verbreitete Einsatz bis 2038 von Drohnen im Militärbereich für die Kriegsführung angesehen (s. Abschnitt *Verteidigung und Sicherheit*). Im zivilen Bereich wird der verbreitete Einsatz von Drohnen für die *letzte Meile* als sehr wahrscheinlich betrachtet.

Biohybride Mikro-Drohnen in der Größe von Insekten seien denkbar; sie könnten in Schwärmen eingesetzt und beispielsweise zur Erkundung und Überprüfung von Innenräumen (nach Chemikalien z. B.) dienen. Perspektivisch wird daran gearbeitet, biohybride Drohnen zu entwickeln, die sich nach Beendigung ihres Einsatzes unschädlich in der Umwelt abbauen.

Autonome Flugautos stellen laut der Studie eine Technologie mit hochspekulativem Charakter dar, die noch weit von der technologischen Reife entfernt sei, so dass die Verbreitung von Flugautos bzw. ihre Nutzung – insbesondere eine marktfähige – bis 2038 als weniger wahrscheinlich angesehen wird. Dennoch sollte diese Technologie von der EU nicht vernachlässigt werden und es sollten entsprechend Kapazitäten aufgebaut werden. Flugautos könnten laut den Studienautor*innen aus der Weiterentwicklung der Drohnentechnologie und deren Erweiterung zu Eine-Person-Flugautos oder zu einem Nutzfahrzeug kleinerer Dimension hervorgehen. Gefördert würde die Entwicklung durch den Einstieg am Markt seitens traditioneller Auto- bzw. Flugzeughersteller*innen. Unterstützung wird die Entwicklung von Flugautos durch Fortschritte bei der Miniaturisierung von Sensoren, bei der Drohnentechnologie, bei Energiespeichern sowie E-Motoren und künstlicher Intelligenz (KI) finden. Als erste Anwendung denkbar seien fliegende Nutzfahrzeuge für Brandschutz und Notfalltransporte. Eine weitere Entwicklung könnten koordinierte fliegende Flugtaxis sein, die in Ballungsräumen einen Beitrag zum Umgang mit dem hohen Verkehrsaufkommen leisten oder Gebiete in topografisch schwierigen Umgebungen einfacher erreichbar machen. Sollten sich Flugautos verbreiten, hätte das

Konsequenzen für die Mobilitäts- und Verkehrskonzepte insbesondere in Städten und würde zum Umdenken bezogen auf die Stadtinfrastruktur führen (s. auch Abschnitt *Mobilität und Verkehr*).

Ebenfalls spekulativen Charakter hätten zum Zeitpunkt der Studie persönliche Raketen, die Superreiche in höchstens einer Stunde an jeden beliebigen Ort der Erde bringen könnten. Zudem stünden dem aktuelle Anforderungen der Luftsicherheit entgegen.

Meerestechnik und Schifffahrt

Das Themenfeld *Meerestechnik und Schifffahrt* wird in der Studie nicht eingehend behandelt. Bei der Beschreibung möglicher zukünftiger Entwicklungen im Transportbereich wird lediglich die Möglichkeit autonomen Fahrens auf dem Seeweg erwähnt (s. Abschnitt *Mobilität und Transport*). Im Rahmen des globalen Wertschöpfungsnetzwerks „Nachhaltige Nutzung von Wassersystemen und -ressourcen“ werden Aspekte wie die Verschmutzung und Versauerung der Meere erwähnt, detailliert wird aber nicht auf technologische Aspekte eingegangen.

Digitalisierung

Die Bedeutung, die Digitalisierung und künstliche Intelligenz und deren Anwendungen in zahlreichen Bereichen auf die Zukunft von Weltwirtschaft und Gesellschaften haben werden, wird in der Studie hervorgehoben und an zahlreichen Stellen unterstrichen. Es wird als sehr wichtig angesehen, dass die EU sich im Hinblick auf entsprechende Innovationen strategisch positioniert. Entsprechend sollten alle Technologien, die entweder neue Hardware-Komponenten oder Software-Anwendungen bereitstellen oder die für spezifische KI-Anwendungen von Relevanz sind, besonders gefördert werden.

Die Bedeutung, die in der Studie dem Bereich *Digitalisierung* beigemessen wird, zeigt sich unter anderem darin, dass sich digitale Bezüge in nahezu allen anderen Bereichen wiederfinden, allen voran in den Bereichen *Arbeit und Wertschöpfung* sowie *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*, aber auch *Energie, Biotechnologie* und *Mobilität und Verkehr*. Auf die spezifischen Aspekte in diesen Bereichen wird in den entsprechenden Abschnitten detailliert eingegangen.

AR-, VR- und XR-Technologien sowie deren Anwendungen stellen einen Hauptschwerpunkt der Studie dar. Die Auswirkungen der Verbreitung dieser Technologien werden laut der Studie in allen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft erheblich sein. Erwartet wird, dass virtuelle und physische Welten zunehmend synchronisiert werden könnten. Während das Smartphone gegenwärtig als das Tor zu virtuellen, internetbasierten Anwendungen angesehen wird, könnte es in ferner Zukunft ein unauffälliges Gerät ermöglichen, die virtuelle und physische Welt nahtlos miteinander zu verbinden. Ein solches Gerät könnte laut der Studie beispielsweise eine Brille, Kontaktlinsen oder sogar ein Implantat (Cyber-Physical-System) sein, das dem Nervensystem die virtuelle Welt erleb- und erfahrbar macht – mit wichtigen Auswirkungen auf Mensch und Gesellschaft (s. Abschnitt *Gesellschaft, Kultur und Bildung*).

Hervorgehoben werden darüber hinaus Fortschritte im Bereich *Machine Learning, neuronale Netzwerke, Deep-Learning*, die zukünftig zu Algorithmen für Bild-, Stimm- und Emotionen-Erkennung führen könnten. Darüber hinaus könnte die Entwicklung von „superintelligenten“ KI-Systemen möglich werden, die sich selbst verbessern und den Menschen bei spezifischen Anwendungen (z. B. autonomem Fahren) übertreffen könnten, aber auch in der Lage wären, neuartige und Ad-hoc-Probleme zu lösen.

(Intelligente) Chatbots werden als sehr wichtige Technologie angesehen, die zu neuen Anwendungen im Arbeitsbereich führen werde (s. Abschnitt *Arbeit und Wertschöpfung*) und bei der Europa im internationalen Vergleich eine starke Position einnehme. Ein universeller, dem Menschen ebenbürtiger Chatbot werde in absehbarer Zeit nicht für realistisch gehalten. Allerdings werde mit Weiterentwicklungen gerechnet, die Chatbots immer mehr in die Lage versetzen könnten, Fragen und Befehle von Menschen zu verstehen und adäquat darauf zu reagieren. Ermöglicht durch Fortschritte bei KI-Algorithmen und Natural-Language-Processing-Algorithmen könnten KI-gestützte Chatbots entwickelt werden, die in der Lage sind, Absicht und Motivation hinter der gestellten Frage zu verstehen. Langfristig könnten Chatbots das Bindeglied zwischen Menschen und Geräten wie Computern, Robotern sowie Smart-House-Anwendungen darstellen.

Das Risiko der digitalen Überwachung könnte insbesondere in der Arbeitswelt wichtig werden. Im Gesundheitsbereich dürften der Umgang mit und der Zugang zu personenbezogenen Gesundheitsdaten eine hohe Relevanz gewinnen. Im Allgemeinen dürfte der Wert persönlicher Daten weiter steigen, was einerseits zu neuen Geschäftsmodellen führen (s. Abschnitt *Arbeit und Wertschöpfung*) und andererseits neue Konzepte zur Gewährleistung von Datensicherheit und -vertraulichkeit erforderlich machen könnte.

Quantenkryptografie könnte zukünftig helfen, Daten und Datentransaktionen zu sichern. Bis 2030 sei mit ersten Quantennetzwerken zu rechnen. In näherer Zukunft könnten Quantenschlüssel helfen, besonders sensible und kritische Informationen zu schützen.

Die Blockchain-Technologie könnte ebenfalls zukünftig helfen, Sicherheit, Vertraulichkeit und Integrität der genutzten bzw. ausgetauschten Daten zu garantieren. Mit Blockchain sei eine vernetzte Welt ohne zentrale Kontrollinstanzen möglich. Blockchain könnte die Basis für zukünftige Datenaustausch-Infrastrukturen bilden und als eine Voraussetzung für ehrliche Geschäfte und Transaktionen sowohl von Unternehmen als auch von deren Kund*innen angesehen und gefordert werden.

Die Nutzung von Kryptowährungen könnte zunehmen.

Gesellschaft, Kultur und Bildung

KI und alle Facetten der Digitalisierung werden laut der Studie Einzug in den Gesellschafts- und Kulturbereich sowie in den Bildungsbereich finden.

Selbstgesteuertes und individualisiertes Lernen – ob für Aus- oder Weiterbildung – wird durch digitale, flexible Lernangebote ermöglicht. Solche Angebote könnten institutionalisierte Angebote von Bildungsdienstleistern (ob im Schulbereich oder bei der Weiterbildung) entweder ergänzen oder sogar ersetzen. AR-Elemente könnte Bildung erlebbar und erfahrbar machen.

AR und VR könnten auch neue Erlebnisse und Erfahrungen im Tourismus- und Kulturbereich möglich machen. Für die Werbe- und Spielindustrie könnten sich dank AR ebenfalls neue Optionen eröffnen.

Sollte langfristig eine nahtlose Verschmelzung von virtueller und physischer Welt möglich werden, könnte jeder Mensch „seine“ eigene personalisierte Welt, bestehend aus realen und virtuellen Elementen, erleben. Dass per se die eigene persönlich erlebbare Welt anderen Menschen in der Form nicht zugänglich ist, könnte neue Fragen für die Gesellschaft (z. B. ethische Fragen, Fragen des gesellschaftlichen Zusammenhangs) aufwerfen.

In Zukunft könnte jede/jeder in der Lage sein, Wissen und digitale Inhalte zu schaffen und online der Öffentlichkeit bzw. einem ausgewählten, eingeschränkten Nutzerkreis zur Verfügung zu stellen. Dies kann einerseits zu einer Demokratisierung von Wissenschaft und Wissensschaffung führen, könnte

andererseits aber die Erstellung gefälschter Medien und Inhalte und deren Verbreitung fördern. Vor dem Hintergrund, dass damit gerechnet wird, dass KI künftig in der Lage sein wird, Text, Musik, Videos und Bilder zu produzieren, könnten diese Fragestellungen von hoher Relevanz werden.

Es wird erwartet, dass KI den Menschen bei der Lösung komplexer Probleme unterstützen könnte. Zudem könnte sie die politische und wirtschaftliche Entscheidungsfindung unterstützen – allerdings könnte angesichts nicht (vollständig) transparenter KI-Entscheidungen das Risiko für Manipulation und Missbrauch von Informationen und Entscheidungen steigen.

Online-Plattformen könnten einerseits neue Wege des Angebots von Dienstleistungen aller Art im Bildungs- oder Kulturbereich darstellen, aber gleichzeitig andererseits ein sozialer Ort werden, an dem sich Menschen austauschen und selbstorganisieren können. Online-Plattformen könnten zur Integration und zum kulturellen Austausch beitragen, gleichwohl bergen sie die Gefahr von Cyber-Mobbing, Belästigung, Manipulation und Desinformation.

Eine zentrale gesellschaftliche Fragestellung dürfte deshalb in Zukunft der Schutz von Medienfreiheit, Vielfalt, Chancengleichheit und Pluralismus darstellen. Gleichzeitig wichtig dürfte die Förderung von Daten- und Medienkompetenz in der Gesellschaft werden.

Außerdem könnten mit dem steigenden Volumen an Daten und Datentransaktionen in einer digitalen Gesellschaft Fragen des Besitzes von Daten, des Umgangs mit persönlichen Daten, des Missbrauchsrisikos sowie Fragestellungen zu tatsächlicher und gewünschter Privatsphäre Gegenstand politischer und gesellschaftlichen Diskussionen werden.

5 Vergleich der Themenfelder

Die nachfolgende Themenmatrix fasst zusammen, welche Studien sich mit welchen Themenfeldern befassen.²⁶² Zur besseren Übersichtlichkeit werden statt der Titel der analysierten Studien die Länder, in denen sie veröffentlicht wurden, bzw. die EU als Herausgeberin der betrachteten europäischen Studie, dargestellt.

Tabelle 5-1: Ergebnisse der Einschätzungen zur Kennzahl Themen-Breite für die in Kapitel 4 analysierten Länder (vgl. auch Tabelle 3-1).

Ein dunkelblaues Feld steht dafür, dass das Themenfeld in mindestens einer Studie des Landes eingehend behandelt wird, ein hellblau gekennzeichnetes Feld kennzeichnet, dass das Themenfeld in keiner der Studien eingehend aber in mindestens einer Studie des Landes erwähnt, wenn auch nicht eingehend behandelt wird. Ein weißes Feld steht dafür, dass das Themenfeld in keiner der Studien aus dem Land erwähnt wird, bzw. nur eine marginale Rolle spielt.

	EU	Japan	UK	Norwegen	Australien	Malaysia
Energie	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau
Digitalisierung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Dunkelblau
Biotechnologie	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Hellblau	Dunkelblau
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß
Mobilität und Verkehr	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß
Gesellschaft, Kultur und Bildung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß
Arbeit und Wertschöpfung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Dunkelblau	Weiß
Bauen und Wohnen	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Dunkelblau	Weiß
Basistechnologien der Digitalisierung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß	Weiß	Dunkelblau
Materialtechnik	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Weiß	Hellblau	Weiß
Meerestechnik und Schifffahrt	Hellblau	Hellblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß	Weiß
Verteidigung und Sicherheit	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß	Hellblau	Weiß	Weiß
Luft- und Raumfahrt	Dunkelblau	Hellblau	Dunkelblau	Weiß	Weiß	Weiß

Quelle: eigene Darstellung.

²⁶² Da sich die Aussagen immer nur auf die im Rahmen dieser Analyse betrachteten Technologiestudien beziehen, stellt die hier dargestellte Analyse lediglich ein grobes Indiz für das Profil eines Landes bezüglich des technologischen Zukunftsinteresses dar und ist nicht als umfassende Länderanalyse zu verstehen.

Dunkelblaue Felder bedeuten eine intensive Beschäftigung mit der Thematik, hellblaue Felder stehen für eine weniger intensive Thematisierung und weiße Felder besagen, dass sich die jeweilige Studie nicht bzw. nur marginal zu diesem Themenfeld äußert.

Im Folgenden werden zuerst tabellarisch die Themenprofile der einzelnen Studien dargestellt (Unterkapitel 5.1) und anschließend wird eine Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte in den 14 Themenfeldern durchgeführt (Unterkapitel 5.2). Das dann gezogene Fazit dieser Gegenüberstellung hebt die meistbesprochenen Themenfelder hervor und identifiziert Querschnittsaspekte (Unterkapitel 5.3).

5.1 Themenprofile der analysierten Studien

5.1.1 UK: Studien des UK Foresight-Prozesses

Tabelle 5-2: Themenprofil aktueller Studien aus dem UK Foresight-Prozess

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Energie	Energiegewinnung auf dem Meer (s. u. Meerestechnik und Schifffahrt). Fortschreitende Elektrifizierung von Verkehrsmitteln und -infrastrukturen (s. u. Mobilität und Verkehr). Intelligente Stromnetze. Steigerung der Energieeffizienz durch größere Rechenzentren oder radikale Entwicklungen bei den Rechentechnologien (s. u. Basistechnologien der Digitalisierung).
Materialtechnik	Fortschritte bei Materialien für Batterietechnologien. Bedeutung von seltenen Erden für Offshore-Windparks. Steigende Bedeutung von Urban Mining, Ressourcenschonung, Wiederverwendung und -verwertung von Materialien (Fokus auf Materialien, die eine kohlenstoffarme Infrastruktur ermöglichen).
Basistechnologien der Digitalisierung	Fortschritte bei Sensorik und Sensornetzwerken (z. B. für zukünftige "Smart Cities" und bei Planung, Betrieb, Instandhaltung und Modernisierung von Infrastrukturen und Gebäuden), drahtlosen Kommunikationstechnologien und Rechentechnologien. Green Computing und Suche nach energieeffizienten Rechentechnologien. Neue Rechentechnologien: Quantencomputer, neuromorphes Computing. Steigende Bedeutung von Cloud- bzw. Edge-Computing.
Biotechnologie	Genomik (insbes. Sequenzierungstechnik der dritten Generation, genomweite Assoziationsstudien und polygene Risiko-Scores) für Erkennung, Vorbeugung und Therapie von Krankheiten – mit dem Ziel der Integration in die klinische Praxis. Prognose: Zuwachs der für die Forschung verfügbaren Genomdaten in der UK Biobank. Nutzung der marinen Biotechnologie und genetischer Ressourcen aus dem Meer für Nahrungsmittelproduktion und neue Arzneimittel.
Arbeit und Wertschöpfung	<u>Fortsetzende Digitalisierung und Automatisierung der Arbeitswelt und Wertschöpfung:</u> Neu-Organisation von Wertschöpfungs- und Arbeitsprozessen, virtuelle Umgebungen, digitale Zwillinge, Zunahme der additiven Fertigung (3D- und 4D-Druck) und der modularen Fertigung, zunehmender Einsatz von Robotik und Exoskeletten bei körperlich anstrengenden Tätigkeiten, z. B. in der Logistik. <u>Aus- und Weiterbildung:</u> Online-Weiterbildungs- und Karriere-Coaching als Baustein für notwendiges lebenslanges Lernen, Risiko der Verschärfung von Bildungsgefällen, Notwendigkeit der ständigen Aktualisierung von Kompetenzen insbesondere in den Branchen Elektrizität und Wasser, Bau und Produktion. Gentests, z. B. zur Auswahl geeigneter Arbeitnehmer*Innen – Problematik fehlender Gesetzgebung/Regulierung.
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Integriertes Gesundheitsmonitoring für den privaten bzw. Heimbereich (z. B. Heimüberwachungssysteme, GPS-Ortung, telemedizinische Anwendungen). Personalisierte Medizin. 3D-gedruckte Gelenke und Organe.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
	<p>Therapeutische Robotik. Verbesserte Vorsorge- bzw. Behandlungsansätze dank Genomik. Nutzung der Genomik in der Landwirtschaft und dem Ernährungsbereich. Direct-to-Consumer-Tests auf Basis der Genomik auf dem zweiten Gesundheitsmarkt. Genom-Editierung zur Optimierung der Leistung im Sportbereich hinsichtlich des Möglichen, wenn auch gleichzeitig zu erwarten ist, dass deren Einsatz in Folge von Regulierungen eingeschränkt werden könnte.</p>
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	<p>Genomik zum Monitoring (z. B. mit Verfahren für eine Vor-Ort-Sequenzierung nahezu in Echtzeit), zur Wiederherstellung von Ökosystemen/Biodiversität (Gen-Editierung, „Gen-Drive“-Ansätze/CRISPR). Nachhaltige Fischerei und Aquakulturen. Inshore Vehicle Monitoring-System für Überwachung der Meere. Neue, biologisch abbaubare Kunststoffe. Technologien zur Eindämmung der chemischen Verschmutzung der Meere. Monitoring der Meeresökosysteme und der von ihnen ermöglichten Produkte und Dienstleistungen. Verfahren zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung (insbesondere geologische Speicherung). Prognose: Bis 2050 könnten bis zu 40 % der britischen CO₂-Emissionen so gespeichert werden.</p>
Bauen und Wohnen	<p>Steigende Bedeutung großer städtischer Ballungsräume mit stark ausgebauten Wissens- und Datennetzwerken. Anforderungen an die Infrastruktur für die Stadt der Zukunft: Robustheit, Resilienz, Widerstands- und Anpassungsfähigkeit. Damit verbunden: Optimierung von (Energie-) Effizienz, Kosten und CO₂-Fußabdruck. <u>Technologien für „Smart Cities“</u>: (drahtlose) Sensor- und Datennetzwerke, Computer Vision. Energy Harvesting, Optimierung und Vernetzung aller Verkehrsmittel und -infrastrukturen. Holistische Betrachtung und Zusammenführung von grüner, blauer (d. h. natürliche Gewässer) und grauer Infrastruktur (d. h. bebaute Umwelt) mit den Versorgungsdiensten (Wasser, Strom, Gas, Abwasser- und Abfallentsorgung etc.). (Bau- und Infrastruktur-)Konzepte für Teilhabe älterer Menschen am Gesellschafts- und Stadtleben. Anpassung der Wohnräume an Ein-Personen-Haushalte: intelligente Haustechnik, Smart Homes, Telemonitoring-Angebote.</p>
Verteidigung und Sicherheit	<p>- / -</p>
Mobilität und Verkehr	<p><u>Elektrifizierung von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastruktur</u>: Steigerung der Energiedichte bei Batterien mit günstigerer Batterieherstellung (Preis von 73 US\$/kWh bei Lithium-Ionen-Batterien bis 2030) und Verbesserung der Ladeinfrastruktur. Ab 2023 - 2025 Gesamtbetriebskosten der Elektro- und Verbrennungsfahrzeuge vergleichbar. E-Autos und kleine Elektro-LKWs bis 2030 weit verbreitet, bis 2040 größere/schwere Elektro-LKWs aufkommen. Zunahme kleinerer Elektrofahrzeuge wie Pedelecs, E-Bikes, E-Scooter und Boost-Boards, insbes. in Städten und Ballungsräumen. <u>Digitalisierung der Verkehrsinfrastruktur</u>: bis 2040 neuere, bessere und stärker integrierte Verkehrsinfrastrukturen und -systeme. Genauere und bessere Nutzung, Auslastung und Überwachung von Verkehrsmitteln und Straßen-, Schienen und Schiffsverkehrsinfrastrukturen sowie deren effektivere und vorausschauende Instandhaltung durch schnellere Datenübertragung zwischen Verkehrsteilnehmer*innen und -infrastrukturen, Echtzeit-Simulation und zuverlässige (Nachfrage-)Modellierung sowie On-Board-Diagnosesysteme. insbes. "Digitale Zwillinge" von Verkehrsinfrastrukturen. <u>Herausforderungen</u>: Klärung von Eigentumsverhältnissen sowie Nutzungsbedingungen von Daten aus verschiedenen Quellen – mögliche Nutzung von Distributed Ledger Technology. Datensicherheit und die Abwehr vor potenzieller verkehrsbezogener Cyberkriminalität bei zunehmend digitalen und automatisierten/autonomen Verkehrssystemen und -infrastrukturen. <u>Automatisierung und autonome Verkehrsmittel</u>: autonome Züge sowie Zug- und Bahnhofssysteme bis 2040 denkbar. Verbreitung autonomer PKWs und Busse in den 2020er Jahren, weite Verbreitung bis 2040. Prognose: Autonome PKWs tragen mit 2,1 Mrd. Pfund zum britischen BIP im Jahr 2035 bei und sind für 47.000 Jobs verantwortlich. Unfälle könnten um bis zu 30 % sinken. Automatisierung im Gütertransport: 85 – 90 % der Luftfracht könnten von Robotern abgefertigt werden. Platooning, bei dem mehrere vernetzte und/oder autonome Fahrzeuge dicht beieinander fahren.</p>

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
	<p><u>Dekarbonisierung des Güterverkehrs durch Fahrzeugentwicklung</u>: verbesserte Aerodynamik, Reifen und Nutzung von Leichtbaumaterialien. Effizientere Fahrzeugnutzung durch dynamische Routenplanung, Fahrertraining oder den Einsatz alternativer Treibstoffe wie Wasserstoff etc.</p> <p><u>Neue Geschäftsmodelle</u>: Konzepte aus der Sharing Economy zwecks gemeinsamer Nutzung von Logistikdienstleistungen und -plattformen, z. B. für die letzte Meile. Voraussetzung: Interoperabilität der genutzten (Daten-)Systeme. Mobility-as-a-Service-Komplettlösungen ermöglichen (insbes. älteren) Menschen größere gesellschaftliche Teilhabe.</p>
Luft- und Raumfahrt	<p>Fortschritte bei Drohnen- und Satellitentechnologien.</p> <p>Unbemannte Luftfahrzeuge oder Drohnen im Logistikbereich, z. B. für die letzte Meile.</p> <p>Autonome Senkrecht- und Kurzstarter.</p>
Meerestechnik und Schifffahrt	<p>Technologien für Erforschung, Kartierung und Monitoring von Meer und Meeresressourcen, z. B. „Inshore Vehicle Monitoring System“ zum Sammeln ozeanographischer Daten sowie zur Überwachung der Fischerei.</p> <p>Technologien für Wartung und Betrieb der Infrastruktur (Häfen, Offshore-Infrastruktur etc.).</p> <p><u>Schifffahrt</u>: alternative, emissionsärmere Kraftstoffe, neue Materialien und Verfahren für Superyachten, hochwertige Motorboote und Segelyachten, Satellitentechnologie, "intelligente Schifffahrt" dank wachsenden Einsatzes von Sensoren und Satelliten. Vollständig autonome, unbemannte Frachtschiffe bis 2035 besonders für Kurzstrecken und Küstenrouten.</p> <p><u>Energiegewinnung</u>: Erschließung neuer Offshore-Öl- und Gasvorkommen. Gezeiten- und Osmosekraftwerke. Erneuerbare Offshore-Energie mit beträchtlichem Potenzial. Prognose: Offshore-Windenergie von 2010 bis 2030 mit Wachstum von 1 – 8 %. Zunahme der Tiefseebergbau-Aktivitäten.</p> <p><u>Aquakultur</u>: Nahrungsmittel- und Arzneimittelproduktion dank mariner Biotechnologie. Zukünftige Schiffe als "schwimmende Fabriken" (additive und modulare Fertigung für Verarbeitung und Individualisierung von (Teil-)Produkten an Bord).</p>
Digitalisierung	<p>Digitalisierung, vielfältige Vernetzungsmöglichkeiten, Automatisierung und das Internet der Dinge verändern, wie Menschen miteinander arbeiten, kommunizieren, Geschäfte eingehen.</p> <p>Bis 2040: starke Zunahme und mehr Tempo bei Datennutzung sowie viele neue Anwendungen.</p> <p>Big Data, digitale Plattformen und Methoden zur Erfassung und Verarbeitung von Daten als Treiber einer zunehmenden digitalen Vernetzung.</p> <p>Neue Geschäftsmodelle in der Datenökonomie, Zunahme des Online-Handels, Zunahme der Online-Vernetzung von Akteuren einer Wertschöpfungskette.</p> <p>Neue Formen der sozialen Interaktion.</p> <p>Steigendes Potenzial von Daten und Plattformen für die öffentliche Hand: neue Formen öffentlicher Dienstleistungen.</p> <p>Zunehmende Verschränkung von physischen und digitalen Anwendungen und Umgebungen, z. B. bei (Transport-)Infrastrukturen und in Gebäuden.</p> <p>Steigende Bedeutung von Cybersicherheit, insbes. bei personenbezogenen Daten.</p>
Gesellschaft, Kultur und Bildung	<p>Neue sozio-technische Innovationen in allen gesellschaftlichen Bereichen dank Digitalisierung, insbes. bei Bereitstellung von öffentlichen Dienstleistungen, Formen der sozialen Interaktion, gesellschaftlicher und politischer Teilhabe, Kultur, Sport, Tourismus.</p> <p>Hohe Bedeutung und gesellschaftliche Relevanz von Fragen der Datensicherheit und -zuverlässigkeit sowie des Schutzes von digitalen Netzen und Infrastrukturen.</p> <p>Bildung als wichtiger Beitrag zur Stärkung von Wirtschaft und Wohlstand und der Schaffung einer inklusiven Gesellschaft.</p> <p>Nutzung von Genomik (<i>Polygenic Risk Scores</i>) im Bildungsbereich und im Arbeitsleben, in der Versicherungsbranche sowie bei der Strafverfolgung – verbunden mit (Missbrauchs-)Risiken und Bedarf an Regulierungsmechanismen.</p>

Quelle: eigene Darstellung.

5.1.2 Norwegen: „Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway“

Tabelle 5-3: Themenprofil der norwegischen Studie „Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway“

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Energie	Entwicklung neuer Industrien außerhalb des Öl- und Gassektors, Technologien zur CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung sowie der Förderung von Alternativen zu fossilen Brennstoffen, wie z. B. Wasserstoff. Verbesserung der Energieeffizienz (z. B. in der bebauten Umwelt). Erneuerbare Energien zur Transformation der Energiesysteme.
Materialtechnik	- / -
Basistechnologien der Digitalisierung	- / -
Biotechnologie	Biomarine-Industrie. Digitalisierung der Biotechnologie und industrielle Biotechnologie für umweltfreundliche industrielle Prozesse und Produkte. Medikamente und Diagnostik.
Arbeit und Wertschöpfung	Förderung eines zukunftsfähigen norwegischen Arbeitskräftepotenzials durch Einrichtung eines Forschungszentrums für Zukunftskompetenzen. Beitrag zur digitalen Transformation Norwegens durch die Schaffung vielfältiger, digital und fachlich qualifizierter Arbeitskräfte.
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Nicht übertragbare Krankheiten bekämpfen. Prävalenz psychischer Erkrankungen verringern. Personalisiertee Medizin. Digitale Umgestaltung im Gesundheitswesen. Lebensqualität in alternder Gesellschaft. Nachhaltige Lebensmittelsysteme. Antimikrobielle Resistenz bekämpfen. Nachhaltige Landwirtschaft für eine nachhaltige Lebensmittelproduktion.
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Grüne Innovationen und neue Technologien zur Bewältigung des grünen Übergangs. Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz für die nachhaltige Ressourcennutzung und Abfallreduktion. Digitalisierung für umweltfreundliche Lösungen. Biodiversitätsschutz.
Bauen und Wohnen	Nachhaltige Lösungen im Baugewerbe wie 3D-Druck und Robotereinsatz. Innovative Wohnbaukonzepte.
Verteidigung und Sicherheit	Keine explizite Diskussion zu Verteidigung/Sicherheit im norwegischen Foresight. Fokus auf Entwicklung von Technologien zur Cyberangriff-Erkennung und -Abwehr.
Mobilität und Verkehr	Stopp neuer Verbrennungsmotorenverkauf bis 2025. <u>Alternative Antriebe</u> : Elektrofahrzeuge, Wasserstoff, Biokraftstoffe. Intelligente Verkehrssysteme und Vernetzung für Verkehrsfluss und Sicherheit. Förderung öffentlichen Verkehrs, Automatisierung und Digitalisierung. <u>Forschung für nachhaltige Mobilität</u> : Reduzierung von Treibhausgasen im Verkehr, Förderung klimafreundlicher Technologien, Investition in F&I. Empfehlung für Förderung von Elektromobilität und intelligenten Verkehrssystemen.
Luft- und Raumfahrt	- / -
Meerestechnik und Schifffahrt	Fischerei, Aquakultur, Offshore-Ölförderung, Schifffahrt: durch Klimawandel beeinflusst. invasive Arten, Bedrohung der Ökosysteme. Alternative Brennstoffe, z. B. Wasserstoff und Ammoniak. Ozeanüberwachungstechnologien, autonome Schiffe, Sensoren. Ausbau maritimer Zukunftstechnologien.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Digitalisierung	Förderung des digitalen Wandels durch Nutzung von Open Data. Internet der Dinge (IoT), Industriedaten. Robotik. Blockchain. Künstliche Intelligenz (KI). Digitale Transformation im Gesundheitswesen. Datenschutz und Cybersicherheit.
Gesellschaft, Kultur und Bildung	Alternde Gesellschaft. Wohlfahrtsgesellschaft. Kohäsion und Globalisierung. Erhaltung und Sicherung einer widerstandsfähigen und robusten Demokratie durch alternative Innovationspraktiken und -ansätze, interdisziplinäre Innovation. Bildung und lebenslanges Lernen, Integration von Migrant*innen und Flüchtlingen, Förderung von Kreativität und kultureller Vielfalt. Flexiblere Gestaltung des Bildungssystems. Stärkere Einbeziehung von unternehmerischen und innovativen Fähigkeiten in das Bildungssystem.

Quelle: eigene Darstellung.

5.1.3 Australien: „Australian National Outlook 2019 (ANO 2019)“

Tabelle 5-4: Themenprofil der australischen Studie „Australian National Outlook 2019 (ANO 2019)“

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Energie	<u>Erneuerbare Stromquellen</u> : Umstellung auf Solarenergie und Windenergie für zuverlässige, erschwingliche und emissionsarme Stromversorgung. <u>Wasserstofftechnologien</u> : Entwicklung von Wasserstofflieferketten für Export, Nutzung von Wasserstoff für die Energiespeicherung. <u>Energieeffizienztechnologien</u> : Verbesserung der Energieproduktivität durch kosteneffiziente Technologien zur Senkung des Energieverbrauchs. <u>Elektrifizierung</u> : Elektrifizierung in Industrie und Haushalten durch kohlenstoffarmen Strom und Elektrofahrzeuge (bis 2040). <u>Hochspannungsgleichstromversorgung (HGÜ)</u> : Nutzung von HGÜ für Australiens Rolle als Wasserstoffexporteur und Beitrag zum globalen Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft.
Materialtechnik	Konsolidierte Batteriewertschöpfung und Batterierecycling.
Basistechnologien der Digitalisierung	- / -
Biotechnologie	Biotechnologie in der Landwirtschaft für nachhaltige Lebensmittelproduktion und Pflanzenresistenz. Genetische Veränderungen für Stressresistenz, höhere Erträge, optimale Ressourcennutzung.
Arbeit und Wertschöpfung	Eintritt in globale Wertschöpfungsketten. Kontinuierliche Produktivitätssteigerung (2060). Fortschrittliche Sensoren und Bohrausrüstung für die Erschließung tiefer Mineralvorkommen. Verbesserte Technologien für präzise Detektion von Mineralien unter der Erdoberfläche. Targeting- und Entscheidungsplattformen für bessere Effizienz und Genauigkeit bei der Identifizierung neuer Mineralvorkommen vor dem Bohren.
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	<u>Prädiktive Datenplattformen und Analysen</u> : Früherkennung von Krankheiten durch Verknüpfung medizinischer Daten mit Ernährung, Aktivität und Umfeld. <u>Präzisionsinterventionen</u> : Gezielte Interventionen für individuelle Gesundheitsbedürfnisse und effektive Krankheitsprävention. <u>Biosensoren und Blockchain in der Landwirtschaft</u> : Rückverfolgbarkeit und Biosicherheit in Lebensmittelketten. Transparente Lieferketten stärken Vertrauen in Lebensmittelsicherheit. <u>Neue Technologien in der Lebensmittelproduktion</u> : verbesserte Nährstoffextraktion und längere Haltbarkeit.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	<p><u>Kohlenstoffbindung in Wäldern</u>: Verbindung von erneuerbaren Ressourcen mit Naturschutz und Ökosystemgesundheit. Pflanzen von Bäumen zur Kohlenstoffaufnahme, Umweltschutz und Einkommensmöglichkeiten für Landbesitzer*innen.</p> <p>Schutzstreifen und Kohlenstoffspeicherung im Boden. Unterstützung für landwirtschaftliche Produktion und Emissionsreduktion.</p> <p>Integration von Wäldern in die Landwirtschaft.</p>
Bauen und Wohnen	<p><u>Digitalisierung</u>: Einführung von IoT und Analysen zur Verbesserung der Effizienz und Genauigkeit in Stadtplanung und Bauwesen.</p> <p><u>Werkstofftechnologie</u>: Verbesserung von Beton- und Stahlkonstruktionen, Entwicklung leichter und umweltfreundlicherer Werkstoffe, insbesondere von Kunststoffen als nachhaltige Baumaterialien.</p> <p><u>Bauautomatisierungstechnologie</u>: Einsatz von additiver Konstruktion, autonomen Maschinen, Drohnen und Robotern für sich wiederholende Aufgaben zur Steigerung der Effizienz im Baugewerbe.</p> <p><u>Diversifizierung von Wohnraum und Flächennutzung</u>: wichtig für hochwertige urbane Lebensweise. Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur und Integration digitaler Technologien.</p>
Verteidigung und Sicherheit	- / -
Mobilität und Verkehr	<p><u>Veränderungen in der Fortbewegung</u>: Fahrradfahren und öffentlicher Nahverkehr zur Reduzierung von Fahrzeugkilometern und Optimierung des Verkehrsflusses.</p> <p><u>"30-Minuten-Städte"</u>: Stadtgestaltung mit kurzen Wegen zwischen Arbeit, Einkaufen und Dienstleistungen, um die Abhängigkeit vom Auto zu verringern.</p> <p><u>Massentransportmittel</u>: als umweltfreundliche und effiziente Verkehrsoptionen.</p> <p><u>Erfassung und Nutzung von Daten</u>: zur Optimierung des Verkehrsflusses.</p> <p><u>Autonome Fahrzeuge und Ridesharing</u>: für höhere Effizienz und bessere Auslastung der Straßenkapazität sowie als alternative Verkehrsmittel.</p> <p><u>Übergang zu Elektrofahrzeugen</u>: zur Dekarbonisierung des Verkehrs.</p>
Luft- und Raumfahrt	- / -
Meerestechnik und Schifffahrt	- / -
Digitalisierung	<p>Cybersicherheitslösungen für sicheren Datenaustausch und Kundenvertrauen.</p> <p>Cybersicherheitslösungen für Minenstandorte zum Schutz der Betriebstechnologie vor Angriffen und Verbesserung der physischen Sicherheit.</p>
Gesellschaft, Kultur und Bildung	<p><u>Bildungstechnologien</u>: Nutzung von KI, Big Data, Augmented Reality und Online-Lernplattformen für besseren Bildungszugang.</p> <p><u>Sozial-ökologische Technologien</u>: datenbasierte, nachhaltige Entscheidungsfindung für soziale und ökologische Auswirkungen.</p> <p><u>Vertrauenswiederherstellung</u>: technologiegetriebene Bildungsansätze zur Wiederherstellung des Vertrauens in Institutionen.</p>

Quelle: eigene Darstellung.

5.1.4 Malaysia: „Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology (ESET)“

Tabelle 5-5: Themenprofil der malaiischen Studie „Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology (ESET)“

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Energie	Photovoltaische Zellen (bis 2035). Brennstoffzellen (bis 2035). Meereswärmekraftwerke (englisch: „Ocean Thermal Energy Conversion“ OTEC) wandeln Teile der Sonnenwärme, die von den Oberflächenschichten eines Wasserkörpers gespeichert wird, in nutzbare Energie (2036 – 2050).
Materialtechnik	- / -
Basistechnologien der Digitalisierung	Hirnwellen-Technologie – eine neu aufkommende Technologie als Teil des noch weitgehend unerforschten Gebietes der Gehirn-Computer-Schnittstellen und der Gehirn-Computer-Kommunikation (2036 – 2050).
Biotechnologie	Molekulare Marker zur Identifizierung wichtiger biologischer Merkmale (bis 2035). Biopharming – Nutzpflanzen wie Mais, Tomaten oder Tabak, aber auch Nutztiere werden gentechnisch so verändert, dass sie Pharmazeutika von hohem Wert in hoher Konzentration produzieren (bis 2035).
Arbeit und Wertschöpfung	- / -
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Neuroregeneration – bezeichnet das Nachwachsen oder die Reparatur von Nervengewebe, -zellen oder -zellprodukten. Mechanismen dieser Art können die Bildung neuer Neuronen, Glia, Axone, Myelin oder Synapsen umfassen (bis 2035).
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	- / -
Bauen und Wohnen	- / -
Verteidigung und Sicherheit	- / -
Mobilität und Verkehr	- / -
Luft- und Raumfahrt	- / -
Meerestechnik und Schifffahrt	- / -
Digitalisierung	Deep Learning – ein Zweig des maschinellen Lernens, der künstliche neuronale Netze verwendet, die aus vielen zahlreichen Zwischenschichten bestehen (bis 2035). Algorithmen zur Entschlüsselung von Absichten – durch das Scannen der Hirnaktivität bestimmter Areale können Wissenschaftler*innen möglicherweise die Gedanken, Träume und sogar Absichten von Menschen entschlüsseln (bis 2035).
Gesellschaft, Kultur und Bildung	- / -

Quelle: eigene Darstellung.

5.1.5 Japan: 11. Foresight-Studie für Wissenschaft und Technologie

Tabelle 5-6: Themenprofil der 11. japanischen Foresight-Studie für Wissenschaft und Technologie

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Energie	Batterien hoher Kapazität und hoher Leistung im Automobilsektor und zur Netzwerkstabilisierung (drei Themen, 2030). Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von über 50 % (2033). Brennstoffzelle, die nur noch ein Zehntel oder weniger der im Jahr 2018 verwendeten Menge an Edelmetallen benötigt (2032).
Materialtechnik	Materialverarbeitung mit hervorragender Kontrolle von Struktur und Funktion unter Verwendung mehrerer Strahlungstypen (drei Themen 2026-2028). Umfassende Simulationen und Vorhersagemodelle für Werkstoffe und deren angestrebte Funktionen und Eigenschaften (drei Themen 2029/2030).
Basistechnologien der Digitalisierung	Synchrotron-Strahlquellen für Röntgenstrahlung (zwei Themen 2024/2027). Nichtflüchtiger Speicher hoher Leistungsfähigkeit (2029). Ultrakompakte Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Unterstützung verschiedener geistiger und körperlicher Fähigkeiten des Menschen (2029).
Biotechnologie	In-vitro-Kultivierung biologischer Gewebe (2029). Ersatz fossiler Ressourcen durch forstwirtschaftliche Ressourcen (Straßenbeläge, Baustoffe, Bekleidung, Farben, Konsumgüter) (2029). Gebrauchsgegenstände aus biologisch abbaubaren Materialien (z. B. Gegenstände, die im Körper und in der Umwelt verbleiben können) (2030).
Arbeit und Wertschöpfung	Hochproduktive Gesellschaft mit hochflexiblen Beschäftigungsverhältnissen mit Mehrfachbeschäftigung und ohne Anwesenheit im Büro (2027). Realisierung unbemannter Fabriken, Geschäfte, Logistikkäfer, Hauszustellung durch die umfassende Verbreitung von Arbeitsrobotern (2026). Sammlung und Nutzung von seltenen Metallen aus Elektrokleingeräten, Abfällen und Flugasche aus der Verbrennung von Klärschlamm (2028).
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Altersbedingten motorischen Funktionsstörungen vorbeugen und diese behandeln (2028). Roboter-ausrüstung zur Unterstützung der kognitiven und motorischen Funktionen älterer und leicht behinderter Menschen (2028). KI in nichtinvasiven Diagnosegeräten (Bildgebung usw.) zur schnellen Identifizierung und Früherkennung von Läsionen (2026). Blutbasierte Früherkennung und Pathologie-Monitoring von Krebs und Demenz (2027). <u>Ernährung:</u> KI, IoT und Robotik steigern die Produktivität in der Landwirtschaft dramatisch und beseitigen den Arbeitskräfte- und Personalmangel (drei Themen, 2026 – 2029).
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Integrierte Wasserbewirtschaftungstechnologie in dicht besiedelten Gebieten, die auch zur Bewältigung von Überschwemmungen in Städten beiträgt (2028). Technologie zur Beobachtung globaler atmosphärischer Bedingungen wie Wasserdampf, Niederschlag und Aerosole durch den Einsatz von Satelliten usw. mit größerer Präzision und Empfindlichkeit als heute (2028). Technologie zur Dekontamination von radioaktiver Verseuchung im Boden und Wasser, auf einem Niveau, das die Gesundheit nicht mehr gefährdet (2030).
Bauen und Wohnen	Zerstörungsfreie Prüftechniken, die vor Ort eingesetzt werden können, und Roboterinspektion zur effizienten Überprüfung von Gebäuden/Infrastruktur (zwei Themen, 2025). Verbesserung des Lebensumfelds für ältere Menschen, Menschen mit Behinderungen, Haushalte mit Kindern usw. durch den Einsatz von gebäudeintegrierter KI, IoT, Robotik (2029). Technologien zur Generalüberholung und zum Rückbau bestehender Gebäude (2029).
Verteidigung und Sicherheit	Dringlichkeitsbewertung aller aktiven Vulkane in Japan zur Identifikation, welcher Vulkan wahrscheinlich als Nächstes ausbrechen wird oder bei dem es unwahrscheinlich ist, dass er ausbricht (2031). Hochpräzise Landkarten der Katastrophenrisiken zur detaillierten Stadtplanung (2027). Vorhersage von lokalen Starkniederschlägen, Tornados, Hagel, Blitzschlag, Schneefall usw. für mehrere Stunden im Voraus mit einer räumlichen Auflösung von 100 m (2027). Echtzeit-Überwachung zur verbesserten Vorhersage von Schäden bei schweren Erdbeben mit IoT-Geräten (2026). Fokus zivile Sicherheit und Katastrophenschutz keine Verteidigungsthemen.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Mobilität und Verkehr	Navigationssystem, damit ältere und sehbehinderte Menschen frei und sicher agieren können (2025). Mobiler Dienst mit automatischem Betrieb der Stufe 4 in urbanen Gebieten (System führt alle Fahrmanöver aus, Fahrende müssen angemessen auf Aufforderungen zur Systemintervention reagieren) (2025). Nahtloses Verkehrssystem Nah- bis zum Fernverkehr umfassend, das es älteren Menschen ermöglicht, sich in einer hochgradig gealterten Gesellschaft unabhängig und mit Zuversicht von Tür zu Tür zu bewegen (2028).
Luft- und Raumfahrt	Hochpräzise Positionsbestimmungstechnologie, die mit Hilfe künstlicher Satelliten genaue Positionsdaten mit einer Fehlergrenze von wenigen Zentimetern liefert, um das automatisierte Fahren von Kraftfahrzeugen sowie die unbemannte und automatisierte Landwirtschaft zu ermöglichen (2026).
Meerestechnik und Schifffahrt	Umweltfreundliche und wirtschaftlich tragfähige Technologie zur Sammlung von mineralischen Rohstoffen vom Meeresboden (2032).
Digitalisierung	Technologie zur Verhinderung des unbefugten Eindringens in kritische Infrastrukturen, Automobile, persönliche IoT-Geräte/-Dienste (Wahrscheinlichkeit betrügerischer Kommunikation wird auf ein nahezu vernachlässigbares Niveau reduziert) (2028). Kabelgebundene und drahtlose mobile Kommunikationstechnologie mit großer Kapazität, hoher Zuverlässigkeit, extrem niedriger Latenz für eine Super-Multi-Endgeräte-Kommunikation. (2027). Flexible Informations- und Kommunikationstechnologie, die zur Minderung von Netzwerküberlastung und Verbesserung der Fehlertoleranz in normalen Zeiten beiträgt und die im Katastrophenfall eine bevorzugte Serviceabwicklung für Notfallkommunikation ermöglicht oder die schnell von Grund auf eingerichtet werden kann (2027).
Gesellschaft, Kultur und Bildung	Erfüllung der Vision Gesellschaft 5.0 als eine menschenzentrierte Gesellschaft, die den wirtschaftlichen Fortschritt und die Lösung gesellschaftlicher Probleme durch ein System der hochgradigen Integration des Cyberraums mit der physischen Welt ausbalanciert – zusammen mit den Werten Menschlichkeit, Inklusion, Nachhaltigkeit und Neugier.

Quelle: eigene Darstellung.

5.1.6 EU: „100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future“

Tabelle 5-7: Themenprofil der EU-Studie „100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future“

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
Energie	Erneuerbare Energien: Strom aus Wellen und Gezeiten, Sonnenenergie aus „intelligentem Glas“, 4D-gedruckte, sich drehende Photovoltaik-Paneele, Nutzung von Metamaterialien, Kohlenstoffnanoröhren oder flexibler Elektronik. <u>Neue Energiequellen</u> : Methanhydrat aus unterirdischen Lagerstätten oder marinen Vorkommen, Flüssigsalzreaktoren, Lichterzeugung durch Biolumineszenz, Energy Harvesting, grüner Wasserstoff durch Elektrolyse, thermoelektrische Farbe, Verfahren zur CO ₂ -Spaltung und teilweise Nutzung statt CO ₂ -Speicherung nach Kohlenstoffabscheidung. <u>Speichertechnologien</u> : selbstheilende Polymere in Batterien. <u>Brennstoffzellen</u> : Wasserstoff-Brennstoffzellen, mikrobielle Brennstoffzellen. Integration durch intelligente Netze/höhere Widerstandsfähigkeit des Energiesystems durch kleine, vielfältige, dezentrale Lösungen.
Materialtechnik	Bessere Ökobilanz von Materialkreisläufen (entweder durch Steigerung der Effizienz und/oder Langlebigkeit von (bestehenden) technologischen Anwendungen oder durch Nutzung neuer, effizienterer und wiederverwertbarer Materialien und Materialtechnologien). Biobasierte Kunststoffe für die Lebensmittelbranche sowie in der Gesundheitsbranche, Elektronik, und Landwirtschaft – teilweise erstellt aus Neben- oder Abfallprodukten der Industrie oder Landwirtschaft. Intelligentes oder "schaltbares" Glas (Anwendungen: intelligentes Haus, Displays). <u>2D-Materialien (Anwendungen</u> : Halbleiterstrukturen und hocheffiziente Nano-Schaltkreise, Lichtsensoren, flexible Elektronik). 3D-Druck von Glas, großen Gegenständen oder Bauteilen.

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
	<p>Hydrogele (Anwendungen in der Biomedizin und Robotik). 4D-Druck (d. h. Kombination von 3D-Druck mit der Fähigkeit einer Transformation über die Zeit) in der Medizin oder der Baubranche. Metamaterialien mit neuen Anwendungen in der Sensorik, Satellitentechnik sowie Photovoltaik, möglicherweise in Alltagsgegenständen, um sie resistenter gegenüber Schäden zu machen. Selbstheilende Materialien, insbesondere selbstheilende Funktionspolymere.</p>
Basistechnologien der Digitalisierung	<p><u>Display-Entwicklung:</u> holografische 3D-Displays zur Erweiterung der Bildschirmgröße alltäglicher Geräte, Nutzung von Hydrogelen bei Displays, um die Mensch-Maschine-Interaktion (u. a. für VR-Anwendungen) und -Kommunikation zu unterstützen, Nutzung von Nano-LEDs für bessere Farbwiedergabe, flexible und dehnbare Displays, 3D-Druck elektronischer Schaltungen. <u>Sensorik-Entwicklung:</u> weitere Miniaturisierung bei Sensoren für KI-Anwendungen, biologisch abbaubare Sensoren, elektronische Haut und intelligente Tattoos, neue optoelektronische Schaltkreise und ultraschlanke Computer für Sensorik und Datenspeicherung auf Basis von 2D-Materialien, Nutzung von Metamaterialien zur Herstellung leichter Sensoren sowie effizienter Radartechnologien. <u>Hardware für AR:</u> AR-Brillen und -Kontaktlinsen. Cyber-Physical-Systems. Hyperspektrale Bildgebung. Elektronik-Bestandteile, die biobasierte Kunststoffe mit Nanotechnologie verbinden. Hochpräzise Uhren – entweder optische Uhren oder neue Atomuhren.</p>
Biotechnologie	<p>Genom- Editierung, u. a. CRISPR/Cas9. Gentherapie zur Behandlung oder Vorbeugung genetisch bedingter Krankheiten. mRNA-basierte Impfstoffe und mRNA-basierte Immuntherapien gegen Viren- oder Krebserkrankungen. Entwicklung neuer Biomarker für Diagnosen und Therapien dank besseren Verständnisses der Epigenetik. Übertragung der Biolumineszenz auf neue Organismen für neue Techniken der Bildgebung und Sensorik. Preiswerte(re) Entwicklung und Fertigung von Lab-on-a-Chip. Fortschritte bei der molekularen Erkennung und Entwicklung von Biosensoren, die Nano- und Biomaterialien kombinieren.</p>
Arbeit und Wertschöpfung	<p>Täglicher AR-Einsatz (z. B. AR-Anweisungen in Echtzeit bei der Bedienung von Maschinen, interaktive AR-Formate zur Aus- und Weiterbildung, immersive Erlebnissen im Online-Handel). Intelligente Chatbots und virtuelle Assistenten, insbes. Im Dienstleistungsbereich. Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion (neue Displayformate, Ferninteraktion mit Menschen und Maschinen). <u>Neue Arbeitsformen:</u> Telearbeit. Altersmanagement-Konzepte, generationsübergreifende Arbeitsumgebungen (Nutzung von Robotern, Exoskeletten, digitalen Anwendungen etc.), Plattformarbeit. Neue Formen der Wertschöpfung und neue Geschäftsmodelle (z. B. zugangs- und nutzungs-basiert, Sharing Economy etc.) auf Basis digitaler Plattformen. Softroboter, insbes. für die Industrie und den Medizinbereich, und humanoide Roboter in zahlreichen Arbeitsumgebungen. 3D-Druck sowie neue Methoden der Bildgebung für eine kundenspezifische und maßgeschneiderte Produktion in Kundennähe mit dezentralen Produktions- und Fertigungsstätten. Makerspaces, Peer-to-peer-basierter Konsum.</p>
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	<p><u>Gentechnologien für Prädiktion, Vorbeugung und Behandlung von Krankheiten:</u> u. a. mRNA-Impfstoffe und mRNA-basierte Immuntherapien, epigenetische Biomarker. Besseres Verständnis der Gehirn-Funktionen und -Mechanismen, der Gedächtnisbildung sowie kognitiver Funktionen (z. B. für Diagnose- und Behandlung bei psychischen und neurodegenerativen Erkrankungen). <u>Digitalisierung:</u> AR-Unterstützung für Ärzteschaft und Pflegepersonal (z. B. AR-Unterstützung bei Operationen), aber auch für Patient*innen (z. B. virtuelle Modelle zur Unterstützung der richtigen Position bei empfohlenen körperlichen Übungen oder von Menschen mit fehlenden sensorischen Wahrnehmungen), Telemedizin. <u>Neue bildgebende Verfahren:</u> Biolumineszenz z. B. zur Untersuchung von neuronalen Netzen und Tumoren. Hyperspektrale Bildgebung, akustische Hologramme in der Ultraschall-Bildgebung.</p>

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
	<p><u>Biotechnologische und Sensorik-Anwendungen für Diagnose und Behandlung:</u> Biologisch abbaubare Sensoren. Lab-on-a-Chip. Bio-Nano-Sensoren. Tragbare Diagnosegeräte.</p> <p><u>Pharmakologie/Pharmazie:</u> Nanomaterialien und/oder Hydrogele als Trägermaterialien sowie Biosensoren zur präziseren Verabreichung von Arzneimitteln. Fortschritte bei der Antibiotika-Resistenzbestimmung. 4D-gedruckte Arzneimittel. Pflaster und Desinfektionsprodukte aus biobasierten und biokompatiblen Kunststoffen.</p> <p><u>Body Enhancement/Tissue Engineering:</u> 4D-gedrucktes Gewebe mit Formgedächtnis-Polymeren. 3D-gedruckte künstliche Gewebe und Organe (z. B. auf Hydrogelbasis oder mit gentechnisch hergestellten Biomaterialien).</p> <p><u>Exoskelette:</u> bionische Ansätze zur Optimierung von biologischen/körperlichen Funktionen. Biobasierte Kunststoffe für Produkte der Lebensmittel-, Gesundheits- oder Lifestyle-Industrie, z. B. biomedizinische Implantate aus biobasierten und biokompatiblen Kunststoffen. Robotik für medizinische Behandlungen, insbes. Softroboter auf Hydrogelbasis.</p> <p><u>Ernährung:</u> Präzisionslandwirtschaft, Indoor- und/oder teil- oder vollautomatisiertes Farming, Landwirtschaft unter extremen klimatischen Bedingungen, Gen-Editierung (CRISPR/Cas9) in Landwirtschaft und Tierzucht, 3D-Druck von Lebensmitteln, hyperspektrale Bildgebung zur Untersuchung der Lebensmittelqualität.</p>
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	<p>Verflechtung von Umwelttechnologien mit den Digitalisierungs- und KI-Technologien. Steigende Bedeutung von nachhaltiger und effizienter Energie-, Wasser- und Rohstoffnutzung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft (insbes. Wiederverwertung und Recycling), s. auch Abschnitt Energie.</p> <p>Biologisch abbaubare Sensoren für Umweltmonitoring (z. B. zur Überwachung von Chemikalien, oder zur Überwachung des Lebenszyklus von Geräten). Hyperspektrale Bildgebung zur Ermittlung von Rohstoffvorkommen oder auch zur Unterstützung des Recycling-Prozesses und Überprüfung von Materialzusammensetzung und -qualität. Umwandlung von PET zu biologisch abbaubarem Abfall durch Bakterien, Pilze oder Hefekulturen. Rückgewinnung von Nährstoffen wie Stickstoff oder Phosphor aus Abwasser. Energieeffiziente und kostengünstige Methoden zur Wasseraufbereitung- und -entsalzung durch Nanotechnologien für Filter und Membrane – u. a. Graphenoxid und Kohlenstoffnanoröhren. Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung, bzw. -Nutzung. Geoengineering bzw. Climate Engineering bei Vorliegen globaler Steuerung und Regulierung. Erste Unterwassergärten, in denen Fachkräfte für Pflanzenanbau bzw. Abbau von Unterwasserressourcen vor Ort sind.</p>
Bauen und Wohnen	<p><u>Steigende Bedeutung des ökologischen Fußabdrucks von Gebäuden und Städten:</u> energieeffiziente Gebäudetechnologien. smarte, nachhaltige und neue Materialien. digitale Modelle, KI, 3D-Druck sowie Roboter zur Effizienzsteigerung bei Gebäudeplanung und -bau. Digitalisierung/IoT in allen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes (Planung, Nutzung, Wartung, Modernisierung etc.). Veränderung bei Stadtbild und städtischer Infrastruktur durch autonome Fahrzeuge/radikale Umbrüche in Folge des Konzepts "Autofreie Stadt" möglich. Fenster aus intelligentem Glas, Thermoelektrische Farbe, "Intelligente" Baubestandteile dank 4D-Druck.</p>
Verteidigung und Sicherheit	<p>Verbreitung von Drohnen für die Kriegsführung. Steigerung der Zielsicherheit und Präzision von Drohnenangriffen dank Sensordaten und -miniaturisierung sowie bei Algorithmen zur Drohnensteuerung. Weiterentwicklung der Drohnenabwehrtechnologie (nicht weiter spezifiziert). Weiterentwicklung und Verbreitung von Technologien für den Katastrophenschutz, u. a. Früherkennungssysteme für Naturkatastrophen, Warnsysteme, Roboter für Katastrophengebiete. Drohnen.</p>

Technologiefeld	Technologien von hoher Priorität bzw. hohem Interesse (ggf. Realisierungszeitraum)
	<p>Hyperspektrale Bildgebung, um gefährliche Chemikalien, Sprengstoffe, Betäubungsmittel aufzuspüren.</p> <p>Neue (nicht näher spezifizierte) Anwendungen von Schwarmintelligenz und -robotik.</p>
Mobilität und Verkehr	<p>Zukünftige Mobilitätssysteme – für Menschen und für Waren – werden (energie-)effizient, intelligent, weitgehend automatisiert und multimodal sein.</p> <p>Autonomes Fahren bis 2038 sehr wahrscheinlich (kurz- bis mittelfristig: nahezu autonome Fahrzeuge), langfristig Verbreitung vollständig autonomer Fahrzeuge verbunden mit Paradigmenwechsel und Konsequenzen für Wirtschaft und Arbeit: (letzte Meile, Logistikkdienstleistungen, Stadtbild und Infrastruktur etc.).</p> <p><u>Wahrscheinlich bis 2038:</u> Verbreitung der Hyperloop-Technologie (Transport in einer Niederdruckröhre) und Einsatz insbesondere in Ballungsräumen.</p>
Luft- und Raumfahrt	<p>Steigerung der Energieautonomie und fortschreitende Miniaturisierung von Drohnen.</p> <p>Mehr Drohnen im Militär- und Zivilbereich sehr wahrscheinlich, z. B. für die letzte Meile.</p>
Meerestechnik und Schifffahrt	<p>Autonomes Fahren auf dem Seeweg.</p>
Digitalisierung	<p>Digitalisierung und künstliche Intelligenz in allen Gesellschafts- und Wirtschaftsbereichen, insbesondere AR-, VR- und XR-Technologien. Zunehmende Verbindung und Synchronisierung virtueller und physischer Welt bspw. durch AR-Brille, AR-Kontaktlinsen oder Implantate.</p> <p>Machine Learning, neuronale Netzwerke, Deep-Learning, und daraus folgend Algorithmen für Bild-, Stimm- und Emotionserkennung sowie „superintelligente“ KI-Systeme, die sich selbst verbessern und den Menschen bei spezifischen Anwendungen (z. B. autonomem Fahren) übertreffen könnten, aber auch in der Lage wären, neuartige und Ad-hoc-Probleme zu lösen. (Intelligente) Chatbots, langfristig Chatbots als Bindeglied zwischen Menschen und Geräten wie Computern, Robotern oder Smart-House-Anwendungen.</p> <p>Quantenkryptographie zur Sicherung von Daten und Transaktionen, erste Quantennetzwerke bis 2030.</p> <p>Blockchain-Technologie als mögliche Basis für zukünftigen Datenaustausch.</p> <p>Steigende Nutzung von Kryptowährungen.</p>
Gesellschaft, Kultur und Bildung	<p>Selbstgesteuertes und individualisiertes Lernen durch digitale, flexible Lernangebote, Nutzung von AR in Bildungsangeboten.</p> <p>AR und VR für neue Angebote in dem Tourismus- und Kulturbereich sowie der Werbe- und Spielindustrie.</p> <p><u>Langfristig denkbar:</u> Jeder Mensch erlebt seine eigene, individuelle personalisierte Welt, bestehend aus realen und virtuellen Elementen.</p> <p>Wissen und digitale Inhalte durch jede/jeden produzierbar.</p> <p>KI-gestützte Entscheidungen in Gesellschaft und Politik.</p> <p>Online-Plattformen führen zu neuen Dienstleistungen aller Art im Bildungs- oder Kulturbereich und stellen neue soziale Orte dar.</p>

Quelle: eigene Darstellung.

5.2 Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

5.2.1 Energie

Tabelle 5-8: Themenfeld *Energie* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Entwicklung neuer Industrien außerhalb des Öl- und Gassektors, Technologien zur CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung sowie der Förderung von Alternativen zu fossilen Brennstoffen, wie z. B. Wasserstoff. Verbesserung der Energieeffizienz (z. B. in der bebauten Umwelt). Erneuerbare Energien zur Transformation der Energiesysteme.
Australien	<u>Erneuerbare Stromquellen</u> : Umstellung auf Solarenergie und Windenergie für zuverlässige, erschwingliche und emissionsarme Stromversorgung. <u>Wasserstofftechnologien</u> : Entwicklung von Wasserstofflieferketten für Export, Nutzung von Wasserstoff für die Energiespeicherung. <u>Energieeffizienztechnologien</u> : Verbesserung der Energieproduktivität durch kosteneffiziente Technologien zur Senkung des Energieverbrauchs. <u>Elektrifizierung</u> : Elektrifizierung in Industrie und Haushalten durch kohlenstoffarmen Strom und Elektrofahrzeuge (bis 2040). <u>Hochspannungsgleichstromversorgung (HGÜ)</u> : Nutzung von HGÜ für Australiens Rolle als Wasserstoffexporteur und Beitrag zum globalen Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft.
Malaysia	Photovoltaische Zellen (bis 2035). Brennstoffzellen (bis 2035). Meereswärmekraftwerke (englisch: „Ocean Thermal Energy Conversion“ OTEC) wandeln Teile der Sonnenwärme, die von den Oberflächenschichten eines Wasserkörpers gespeichert wird, in nutzbare Energie (2036 – 2050).
Japan	Batterien hoher Kapazität und hoher Leistung im Automobilsektor und zur Netzwerkstabilisierung (drei Themen, 2030). Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von über 50 % (2033). Brennstoffzelle, die nur noch ein Zehntel oder weniger der im Jahr 2018 verwendeten Menge an Edelmetallen benötigt (2032).
UK	Energiegewinnung auf dem Meer (s. u. <i>Meerestechnik und Schifffahrt</i>). Fortschreitende Elektrifizierung von Verkehrsmitteln und -infrastrukturen (s. u. <i>Mobilität und Verkehr</i>). Intelligente Stromnetze. Steigerung der Energieeffizienz durch größere Rechenzentren oder radikale Entwicklungen bei den Rechentechnologien (s. u. <i>Basistechnologien der Digitalisierung</i>).
EU	Erneuerbare Energien: Strom aus Wellen und Gezeiten. Sonnenenergie aus "intelligentem Glas". 4D-gedruckte, sich drehende Photovoltaik-Paneele, Nutzung von Metamaterialien, Kohlenstoffnanoröhren oder flexibler Elektronik. <u>Neue Energiequellen</u> : Methanhydrat aus unterirdischen Lagerstätten oder marinen Vorkommen, Flüssigsalzreaktoren, Lichterzeugung durch Biolumineszenz, Energy Harvesting, grüner Wasserstoff durch Elektrolyse, thermoelektrische Farbe, Verfahren zur CO ₂ -Spaltung und teilweise Nutzung statt CO ₂ -Speicherung nach Kohlenstoffabscheidung. <u>Speichertechnologien</u> : selbstheilende Polymere in Batterien. <u>Brennstoffzellen</u> : Wasserstoff-Brennstoffzellen, mikrobielle Brennstoffzellen. Integration durch intelligente Netze/höhere Widerstandsfähigkeit des Energiesystems durch kleine, vielfältige, dezentrale Lösungen.

Quelle: eigene Darstellung.

Das Themenfeld *Energie* wird in den Studien aller sechs betrachteten Länder behandelt.²⁶³ Dabei steht die Transformation des Energiesektors aus Gründen des Klimaschutzes mit der Abkehr von fossilen Brennstoffen und der Nutzung erneuerbarer Energien ganz eindeutig im Vordergrund und wird in allen Ländern thematisiert. Was die zugehörigen Teiltechnologien betrifft, gibt es eine stärkere Differenzierung mit gleichwohl einigen Überlappungen zwischen den verschiedenen Ländern. So werden die verbundenen Themen Wasserstoff und Brennstoffzellen von Norwegen, Australien, Malaysia, Japan und der EU angesprochen, wobei Australien in dieser Gruppe als das Land herausragt,

²⁶³ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit, wird im Folgenden synonym von den Studien und den Ländern, in denen sie erschienen sind, gesprochen. Ebenfalls aus Gründen einer einfacheren Sprechweise wird auch die EU als „ein“ Land benannt.

das dem Thema Wasserstoff eine besonders hohe zukünftige Bedeutung beimisst. Vier Länder befassen sich mit Solarenergie (Australien, Malaysia, Japan und EU) und drei mit maritimer Energiegewinnung (Meereswärmekraftwerke – Malaysia, in einem allgemeinen Sinne – UK und Strom aus Wellen und Gezeiten – EU).

Energieeffizienz als weiteres Element auf dem Weg zu einem nachhaltigen Energiesystem wird in drei Ländern hervorgehoben (Norwegen, Australien, UK).

Eine zunehmende Bedeutung von Strom in der Energieversorgung mit wachsender Elektrifizierung (vor allem im Themenfeld *Mobilität und Verkehr*) erwarten Australien und UK, während EU und UK eine zunehmende Bedeutung von intelligenten Stromnetzen voraussehen. Batterien als Stromspeicher werden in Japan und der EU betont.

Aspekte der CO₂-Abscheidung und -Speicherung finden in Norwegen und der EU Beachtung.

Nur in einer Studie (EU) wird mit Flüssigsalzreaktoren ein Thema aus dem Themenfeld der *Kernenergie* aufgegriffen sowie mit Methanhydrat eine neue Quelle eines fossilen Energieträgers.

5.2.2 Materialtechnik

Tabelle 5-9: Themenfeld *Materialtechnik* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	- / -
Australien	Konsolidierte Batteriewertschöpfung und Batterierecycling.
Malaysia	- / -
Japan	Materialverarbeitung mit hervorragender Kontrolle von Struktur und Funktion unter Verwendung mehrerer Strahlungstypen (drei Themen 2026 – 2028). Umfassende Simulationen und Vorhersagemodelle für Werkstoffe und deren angestrebte Funktionen und Eigenschaften (drei Themen 2029/2030).
UK	Fortschritte bei Materialien für Batterietechnologien. Bedeutung von seltenen Erden für Offshore-Windparks. Steigende Bedeutung von Urban Mining, Ressourcenschonung, und Wiederverwendung und -verwertung von Materialien (Fokus auf Materialien, die eine kohlenstoffarme Infrastruktur ermöglichen).
EU	Bessere Ökobilanz von Materialkreisläufen (entweder durch Steigerung der Effizienz und/oder Langlebigkeit von (bestehenden) technologischen Anwendungen oder durch Nutzung neuer, effizienterer und wiederverwertbarer Materialien und Materialtechnologien). Biobasierte Kunststoffe für die Lebensmittelbranche sowie in der Gesundheitsbranche, Elektronik, und Landwirtschaft – teilweise erstellt aus Neben- oder Abfallprodukten der Industrie oder Landwirtschaft. Intelligentes oder "schaltbares" Glas (Anwendungen: intelligentes Haus, Displays). 2D-Materialien (Anwendungen: Halbleiterstrukturen und hocheffiziente Nano-Schaltkreise, Lichtsensoren, flexible Elektronik). 3D-Druck von Glas, großen Gegenständen oder Bauteilen. Hydrogele (Anwendungen in der Biomedizin und Robotik). 4D-Druck (d. h. Kombination von 3D-Druck mit der Fähigkeit einer Transformation über die Zeit) in der Medizin oder der Baubranche. Metamaterialien mit neuen Anwendungen in der Sensorik, Satellitentechnik sowie Photovoltaik, möglicherweise in Alltagsgegenständen, um sie resistenter gegenüber Schäden zu machen. Selbstheilende Materialien, insbesondere selbstheilende Funktionspolymere.

Quelle: eigene Darstellung.

Die Materialtechnik wird (nur) von vier der sechs betrachteten Länder behandelt, auch die Zahl der prioritären Einzelthemen je Land ist vergleichsweise gering.

Als übergeordnete Fragestellung ist – wie im Themenfeld *Energie* – die Nachhaltigkeit zu erkennen. Dies zeigt sich zum einen unmittelbar im Kontext mit der Betonung von Materialkreisläufen mit besserer Ökobilanz (EU) und Materialien, die eine kohlenstoffarme Infrastruktur ermöglichen (UK).

Zum anderen wird indirekt durch materialtechnische Fragen auf den Zusammenhang mit einer nachhaltigen Entwicklung hingewiesen: Energieversorgung in der Form von besseren Materialien für Batterien und ein leichteres Batterierecycling (Australien und UK) sowie bei der Rolle von seltenen Erden für die Gewinnung von Offshore-Windenergie (UK).

Daneben treten eine ganze Reihe materialtechnischer Einzelthemen, die auch jeweils nur von einem Land benannt werden. Die größte Anzahl solcher Einzelthemen ist für die EU festzustellen.

5.2.3 Basistechnologien der Digitalisierung

Tabelle 5-10: Themenfeld *Basistechnologien der Digitalisierung* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	- / -
Australien	- / -
Malaysia	Hirnwellen-Technologie – eine neu aufkommende Technologie als Teil des noch weitgehend unerforschten Gebietes der Gehirn-Computer-Schnittstellen und der Gehirn-Computer-Kommunikation (2036 – 2050).
Japan	Synchrotron-Strahlquellen für Röntgenstrahlung (zwei Themen 2024/2027). Nichtflüchtiger Speicher hoher Leistungsfähigkeit (2029). Ultrakompakte Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Unterstützung verschiedener geistiger und körperlicher Fähigkeiten des Menschen (2029).
UK	Fortschritte bei Sensorik und Sensornetzwerke (z. B. für zukünftige „Smart Cities“ und bei Planung, Betrieb, Instandhaltung und Modernisierung von Infrastrukturen und Gebäuden), drahtlosen Kommunikationstechnologien und Rechentechnologien. Green Computing und Suche nach energieeffizienten Rechentechnologien. <u>Neue Rechentechnologien</u> : Quantencomputer, neuromorphes Computing. Steigende Bedeutung von Cloud- bzw. Edge-Computing.
EU	<u>Display-Entwicklung</u> : holografische 3D-Displays zur Erweiterung der Bildschirmgröße alltäglicher Geräte, Nutzung von Hydrogelen bei Displays, um die Mensch-Maschine-Interaktion (u. a. für VR-Anwendungen) und -Kommunikation zu unterstützen, Nutzung von Nano-LEDs für bessere Farbwiedergabe, flexible und dehnbare Displays, 3D-Druck elektronischer Schaltungen. <u>Sensorik-Entwicklung</u> : weitere Miniaturisierung bei Sensoren für KI-Anwendungen, biologisch abbaubare Sensoren, elektronische Haut und intelligente Tattoos, neue optoelektronische Schaltkreise und ultraschlanke Computer für Sensorik und Datenspeicherung auf Basis von 2D-Materialien, Nutzung von Metamaterialien zur Herstellung leichter Sensoren sowie effizienter Radartechnologien. <u>Hardware für AR</u> : AR-Brillen und -Kontaktlinsen. Cyber-Physical-Systems. Hyperspektrale Bildgebung. Elektronik-Bestandteile, die biobasierte Kunststoffe mit Nanotechnologie verbinden. Hochpräzise Uhren – entweder optische Uhren oder neue Atomuhren.

Quelle: eigene Darstellung.

Basistechnologien der Digitalisierung werden in vier der betrachteten Länder thematisiert und weisen dabei ein heterogenes Bild auf. Es gibt drei Themen, die in je zwei Ländern aufgegriffen werden.

Zunächst ist zu nennen, dass Nachhaltigkeit auch im Zusammenhang mit den Basistechnologien der Digitalisierung von Interesse ist: für UK in der Form energieeffizienter Rechentechnologien und für die EU als biobasierte Bestandteile von Elektronik.

Ebenfalls UK und die EU behandeln das Thema der Sensorik und Sensornetzwerke, wobei die EU mit biologisch abbaubaren Sensoren auch bei diesem Thema einen Nachhaltigkeitsaspekt einbringt.

Schließlich spielen fortschrittliche Mensch-Maschine-Schnittstellen mit Bezug zu kognitiven Fähigkeiten für Malaysia und Japan eine herausgehobene Rolle. Im Kontext mit Weiterentwicklungen von Displays für AR- und VR-Anwendungen wird die Mensch-Maschine-Interaktion auch seitens der EU angesprochen.

Daneben finden sich sechs verschiedene Einzelthemen, die von jeweils nur einem Land aufgeworfen werden.

5.2.4 Biotechnologie

Tabelle 5-11: Themenfeld *Biotechnologie* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Biomarine-Industrie. Digitalisierung der Biotechnologie und industrielle Biotechnologie für umweltfreundliche industrielle Prozessen und Produkte. Medikamente und Diagnostik.
Australien	Biotechnologie in der Landwirtschaft für nachhaltige Lebensmittelproduktion und Pflanzenresistenz. Genetische Veränderungen für Stressresistenz, höhere Erträge, optimale Ressourcennutzung.
Malaysia	Molekulare Marker zur Identifizierung wichtiger biologischer Merkmale (bis 2035). Biopharming – Nutzpflanzen wie Mais, Tomaten oder Tabak, aber auch Nutztiere werden gentechnisch so verändert, dass sie Pharmazeutika von hohem Wert in hoher Konzentration produzieren (bis 2035).
Japan	In-vitro-Kultivierung biologischer Gewebe (2029). Ersatz fossiler Ressourcen durch forstwirtschaftliche Ressourcen (Straßenbeläge, Baustoffe, Bekleidung, Farben, Konsumgüter) (2029). Gebrauchsgegenständen aus biologisch abbaubaren Materialien (z. B. Gegenstände, die im Körper und in der Umwelt verbleiben können) (2030).
UK	Genomik (insbes. Sequenzierungstechnik der dritten Generation, genomweite Assoziationsstudien und polygene Risiko-Scores) für Erkennung, Vorbeugung und Therapie von Krankheiten – mit dem Ziel der Integration in die klinische Praxis. <u>Prognose:</u> Zuwachs der für die Forschung verfügbaren Genomdaten in der UK Biobank. Nutzung der marinen Biotechnologie und genetischer Ressourcen aus dem Meer für Nahrungsmittelproduktion und neue Arzneimittel.
EU	Genom-Editierung, u. a. CRISPR/Cas9. Gentherapie zur Behandlung oder Vorbeugung genetisch bedingter Krankheiten. mRNA-basierte Impfstoffe und mRNA-basierte Immuntherapien gegen Viren- oder Krebserkrankungen. Entwicklung neuer Biomarker für Diagnosen und Therapien dank besseren Verständnisses der Epigenetik. Übertragung der Biolumineszenz auf neue Organismen für neue Techniken der Bildgebung und Sensorik. Preiswerte(re) Entwicklung und Fertigung von Lab-on-a-Chip. Fortschritte bei der molekularen Erkennung und Entwicklung von Biosensoren, die Nano- und Biomaterialien kombinieren.

Quelle: eigene Darstellung.

Biotechnologie wird in allen sechs betrachteten Ländern thematisiert. In diesem Feld bilden die medizinischen Anwendungen den umfangreichsten Block und werden in den Studien aus Norwegen, Malaysia, UK und der EU behandelt. UK und die EU betonen dabei den Nutzen neuer Erkenntnisse aus der Genforschung für die Medizin. Malaysia und die EU heben die Bedeutung von Biomarkern hervor.

Ein zweiter Schwerpunkt liegt bei Anwendungen für die Landwirtschaft, die von Australien und Malaysia angesprochen werden. Malaysia erwartet die Produktion von Pharmazeutika durch Nutzpflanzen bis 2035, während für Australien erkennbar die Anpassung von Nutzpflanzen an die Folgen des Klimawandels im Vordergrund steht.

UK und Norwegen betrachten – als Länder mit einer langen Küstenlinie – die biotechnologischen Anwendungen im Kontext mit dem Meer (blaue Biotechnologie).

Japan räumt zwei biotechnologischen Themen mit Bezug zu Nachhaltigkeit hohe Bedeutung ein (Ersatz fossiler Energieträger und Gebrauchsgegenstände aus biologisch abbaubaren Materialien).

Die Bedeutung der Digitalisierung für die Biotechnologie wird allein von Norwegen betont.

Daneben werden – hauptsächlich in der EU-Studie – einzelne biotechnologische Basistechnologien genannt, wie CRISPR/Cas9, Lab-on-Chip oder Biosensoren. Japan erwartet die In-vitro-Kultivierung biologischer Gewebe bis 2029.

5.2.5 Arbeit und Wertschöpfung

Tabelle 5-12: Themenfeld Arbeit und Wertschöpfung – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Förderung eines zukunftsfähigen norwegischen Arbeitskräftepotenzials durch Einrichtung eines Forschungszentrums für Zukunftskompetenzen. Beitrag zur digitalen Transformation Norwegens durch die Schaffung vielfältiger, digital und fachlich qualifizierter Arbeitskräfte.
Australien	Eintritt in globale Wertschöpfungsketten. Kontinuierliche Produktivitätssteigerung (2060). Fortschrittliche Sensoren und Bohrausrüstung für die Erschließung tiefer Mineralvorkommen. Verbesserte Technologien für präzise Detektion von Mineralien unter der Erdoberfläche. Targeting- und Entscheidungsplattformen für bessere Effizienz und Genauigkeit bei der Identifizierung neuer Mineralvorkommen vor dem Bohren.
Malaysia	- / -
Japan	Hochproduktive Gesellschaft mit hochflexiblen Beschäftigungsverhältnissen mit Mehrfachbeschäftigung und ohne Anwesenheit im Büro (2027). Realisierung unbemannter Fabriken, Geschäfte, Logistikhäuser, Hauszustellung durch die umfassende Verbreitung von Arbeitsrobotern (2026). Sammlung und Nutzung von seltenen Metallen aus Elektrokleingeräten, Abfällen und Flugasche aus der Verbrennung von Klärschlamm (2028).
UK	<u>Fortsetzende Digitalisierung und Automatisierung der Arbeitswelt und der Wertschöpfung:</u> Neu-Organisation von Wertschöpfungs- und Arbeitsprozessen, virtuelle Umgebungen, digitale Zwillinge, Zunahme der additiven Fertigung (3D- und 4D-Druck) und der modularen Fertigung, zunehmender Einsatz von Robotik und Exoskeletten bei körperlich anstrengenden Tätigkeiten, z. B. in der Logistik. <u>Aus- und Weiterbildung:</u> Online-Weiterbildungs- und Karriere-Coaching als Baustein für notwendiges lebenslanges Lernen, Risiko der Verschärfung von Bildungsgefällen, Notwendigkeit der ständigen Aktualisierung von Kompetenzen insbesondere in den Branchen Elektrizität und Wasser, Bau und Produktion. Gentests, z. B. zur Auswahl geeigneter Arbeitnehmer*innen – Problematik fehlender Gesetzgebung/Regulierung.
EU	Täglicher AR-Einsatz (z. B. AR-Anweisungen in Echtzeit bei der Bedienung von Maschinen, interaktive AR-Formate zur Aus- und Weiterbildung, immersive Erlebnisse im Online-Handel). Intelligente Chatbots und virtuelle Assistenten, insbes. im Dienstleistungsbereich. Neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion (neue Displayformate, Ferninteraktion mit Menschen und Maschinen). <u>Neue Arbeitsformen:</u> Telearbeit. Altersmanagement-Konzepte, generationsübergreifende Arbeitsumgebungen (Nutzung von Robotern, Exoskeletten, digitalen Anwendungen etc.), Plattformarbeit. Neue Formen der Wertschöpfung und neue Geschäftsmodelle (z. B. zugangs- und nutzungsbasiert, Sharing Economy etc.) auf Basis digitaler Plattformen. Softroboter, insbes. für die Industrie und den Medizinbereich, und humanoide Roboter in zahlreichen Arbeitsumgebungen. 3D-Druck sowie neue Methoden der Bildgebung für eine kundenspezifische und maßgeschneiderte Produktion in Kundennähe mit dezentralen Produktions- und Fertigungsstätten. Makerspaces, Peer-to-peer-basierter Konsum.

Quelle: eigene Darstellung.

Arbeit und Wertschöpfung werden von allen Ländern außer Malaysia eingehend behandelt. Dabei bildet die Digitalisierung den größten inhaltlichen Block (Norwegen, Japan, UK, EU) mit einer umfangreichen Breite an Einzelthemen wie digitaler Zwillinge (UK), 3D-Druck (UK, EU) und neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion/AR (EU). Auf Änderungen in den Arbeits- und Wertschöpfungsformen weisen Japan, UK und die EU hin.

UK und Norwegen betonen beide die Bedeutung der Aus- und Weiterbildung sowie die Frage nach den erforderlichen Zukunftskompetenzen im Zusammenhang mit der fortschreitenden Digitalisierung.

Robotik und Automatisierung bilden einen zweiten Schwerpunkt (Japan, UK, EU), der von UK unmittelbar mit der Digitalisierung verknüpft wird.

Nur Japan hebt Änderungen von Wertschöpfungsprozessen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit hervor.

UK spricht als einziges Land das kontroverse Thema des Einsatzes von Gentests zur Personalauswahl an.

Für Australien stellt der Bergbau und dessen technologische Weiterentwicklung einen klar erkennbaren Schwerpunkt dar.

5.2.6 Gesundheit, Lifestyle, Ernährung

Tabelle 5-13: Themenfeld *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Nicht übertragbare Krankheiten bekämpfen. Prävalenz psychischer Erkrankungen verringern. Personalisierte Medizin. Digitale Umgestaltung im Gesundheitswesen. Lebensqualität in alternder Gesellschaft. Nachhaltige Lebensmittelsysteme. Antimikrobielle Resistenz bekämpfen. Nachhaltige Landwirtschaft für eine nachhaltige Lebensmittelproduktion.
Australien	<u>Prädiktive Datenplattformen und Analysen</u> : Früherkennung von Krankheiten durch Verknüpfung medizinischer Daten mit Ernährung, Aktivität und Umfeld. <u>Präzisionsinterventionen</u> : gezielte Interventionen für individuelle Gesundheitsbedürfnisse und effektive Krankheitsprävention. <u>Biosensoren und Blockchain in der Landwirtschaft</u> : Rückverfolgbarkeit und Biosicherheit in Lebensmittelketten. Transparente Lieferketten stärken Vertrauen in Lebensmittelsicherheit. <u>Neue Technologien in der Lebensmittelproduktion</u> : verbesserte Nährstoffextraktion und längere Haltbarkeit.
Malaysia	Neuroregeneration – bezeichnet das Nachwachsen oder die Reparatur von Nervengewebe, -zellen oder -zellprodukten. Mechanismen dieser Art können die Bildung neuer Neuronen, Glia, Axone, Myelin oder Synapsen umfassen (bis 2035).
Japan	Altersbedingten motorischen Funktionsstörungen vorbeugen und diese behandeln (2028). Roboter-ausrüstung zur Unterstützung der kognitiven und motorischen Funktionen älterer und leicht behinderter Menschen (2028). KI in nichtinvasiven Diagnosegeräten (Bildgebung usw.) zur schnellen Identifizierung und Früherkennung von Läsionen (2026). Blutbasierte Früherkennung und Pathologie-Monitoring von Krebs und Demenz (2027). <u>Ernährung</u> : KI, IoT und Robotik steigern die Produktivität in der Landwirtschaft dramatisch und beseitigen den Arbeitskräfte- und Personalmangel (drei Themen, 2026 – 2029).
UK	Integriertes Gesundheitsmonitoring für den privaten bzw. Heimbereich (z. B. Heimüberwachungssysteme, GPS-Ortung, telemedizinische Anwendungen). Personalisierte Medizin.

	<p>3D-gedruckte Gelenke und Organe. Therapeutische Robotik. Verbesserte Vorsorge- bzw. Behandlungsansätze dank Genomik. Nutzung der Genomik in der Landwirtschaft und dem Ernährungsbereich. Direct-to-Consumer-Tests auf Basis der Genomik auf dem zweiten Gesundheitsmarkt. Genom-Editierung zur Optimierung der Leistung im Sportbereich im Bereich des Möglichen, wenn auch gleichzeitig zu erwarten ist, dass deren Einsatz in Folge von Regulierungen eingeschränkt werden könnte.</p>
EU	<p>Gentechnologien für Prädiktion, Vorbeugung und Behandlung von Krankheiten: u. a. mRNA-Impfstoffe und mRNA-basierte Immuntherapien, epigenetische Biomarker. Besseres Verständnis der Gehirn-Funktionen und -Mechanismen, der Gedächtnisbildung sowie kognitiver Funktionen (z. B. für Diagnose und Behandlung bei psychischen und neurodegenerativen Erkrankungen). Digitalisierung: AR-Unterstützung für Ärzteschaft und Pflegepersonal (z. B. AR-Unterstützung bei Operationen), aber auch für Patient*innen (z. B. virtuelle Modelle zur Unterstützung der richtigen Position bei empfohlenen körperlichen Übungen oder von Menschen mit fehlenden sensorischen Wahrnehmungen), Telemedizin. <u>Neue bildgebende Verfahren:</u> Biolumineszenz z. B. zur Untersuchung von neuronalen Netzen und Tumoren. Hyperspektrale Bildgebung, akustische Hologramme in der Ultraschall-Bildgebung. <u>Biotechnologische und Sensorik-Anwendungen für Diagnose und Behandlung:</u> Biologisch abbaubare Sensoren: Lab-on-a-Chip. Bio-Nano-Sensoren. Tragbare Diagnosegeräte. <u>Pharmakologie/Pharmazie:</u> Nanomaterialien und/oder Hydrogele als Trägermaterialien sowie Biosensoren zur präziseren Verabreichung von Arzneimitteln. Fortschritte bei der Antibiotika-Resistenzbestimmung. 4D-gedruckte Arzneimittel. Pflaster und Desinfektionsprodukte aus biobasierten und biokompatiblen Kunststoffen. <u>Body Enhancement/Tissue Engineering:</u> 4D-gedrucktes Gewebe mit Formgedächtnis-Polymeren. 3D-gedruckte künstliche Gewebe und Organe (z. B. auf Hydrogelbasis oder mit gentechnisch hergestellten Biomaterialien). <u>Exoskelette:</u> Bionische Ansätze zur Optimierung von biologischen/körperlichen Funktionen. Biobasierte Kunststoffe für Produkte der Lebensmittel-, Gesundheits- oder Lifestyle-Industrie, z. B. biomedizinische Implantate aus biobasierten und biokompatiblen Kunststoffen. Robotik für medizinische Behandlungen, insbes. Softroboter auf Hydrogelbasis. <u>Ernährung:</u> Präzisionslandwirtschaft, Indoor- und/oder teil- oder vollautomatisiertes Farming, Landwirtschaft unter extremen klimatischen Bedingungen, Gen-Editierung (CRISPR/Cas9) in Landwirtschaft und Tierzucht, 3D-Druck von Lebensmitteln, hyperspektrale Bildgebung zur Untersuchung der Lebensmittelqualität.</p>

Quelle: eigene Darstellung.

Das Themenfeld *Gesundheit, Lifestyle und Ernährung* wird von allen betrachteten Ländern detailliert angesprochen und weist eine hohe Zahl an Einzelaussagen auf. Wie beim vorhergehenden Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung* stellt die Digitalisierung den größten inhaltlichen Block dar (Norwegen, Australien, Japan, UK, EU) mit einer Betonung von datenbasierten Ansätzen und dem Hinweis auf die Möglichkeiten der Telemedizin. Die Parallelität zum vorhergehenden Thema setzt sich insofern noch einmal fort, als auch hier die mit der Digitalisierung verbundenen Themen des 3D-Drucks (hier von Organen und Gewebe) sowie der (therapeutischen) Robotik behandelt werden (EU, UK).

Weitere spezifische Gesundheitsthemen, die von wenigstens zwei Ländern angesprochen werden, sind in allgemeiner Form die personalisierte Medizin (Norwegen, Australien, UK), Techniken zur Verbesserung der Lebensqualität in einer alternden Gesellschaft (Norwegen, Japan) sowie das damit verbundene Thema des Umgangs mit neurodegenerativen Erkrankungen. Der Umgang mit antimikrobiellen Resistenzen beschäftigt Norwegen und die EU. Die Nutzung der Genomik für medizinische Anwendungen wird von UK und der EU thematisiert.

Zum Teilthema Ernährung liegen Einschätzungen aus fünf Ländern vor (Norwegen, Australien, Japan, UK, EU). In Ansätzen wiederholt sich der Dreiklang von allgemeiner Digitalisierung: Sensorik/IoT verbessern die Datenbasis (Australien, Japan, EU) und ermöglichen den KI-Einsatz (KI) zusammen mit 3D-Druck (hier von Lebensmitteln) (EU) sowie Automatisierung und Robotik zur Steigerung der Produktivität (Japan, EU).

Die EU und UK diskutieren beide zudem die Nutzung der Genomik im Themenfeld *Landwirtschaft und Ernährung*.

5.2.7 Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima

Tabelle 5-14: Themenfeld *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Grüne Innovationen und neue Technologien zur Bewältigung des grünen Übergangs. Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz für die nachhaltige Ressourcennutzung und Abfallreduktion. Digitalisierung für umweltfreundliche Lösungen. Biodiversitätsschutz.
Australien	Kohlenstoffbindung in Wäldern: Verbindung von erneuerbaren Ressourcen mit Naturschutz und Ökosystemgesundheit. Pflanzen von Bäumen zur Kohlenstoffaufnahme, Umweltschutz und Einkommensmöglichkeiten für Landbesitzer*innen. Schutzstreifen und Kohlenstoffspeicherung im Boden. Unterstützung für landwirtschaftliche Produktion und Emissionsreduktion. Integration von Wäldern in die Landwirtschaft.
Malaysia	- / -
Japan	Integrierte Wasserbewirtschaftungstechnologie in dicht besiedelten Gebieten, die auch zur Bewältigung von Überschwemmungen in Städten beiträgt (2028). Technologie zur Beobachtung globaler atmosphärischer Bedingungen wie Wasserdampf, Niederschlag und Aerosole durch den Einsatz von Satelliten usw. mit größerer Präzision und Empfindlichkeit als heute (2028). Technologie zur Dekontamination von radioaktiver Verseuchung im Boden und Wasser auf einem Niveau, das die Gesundheit nicht mehr gefährdet (2030).
UK	Genomik zum Monitoring (z. B. mit Verfahren für eine Vor-Ort-Sequenzierung nahezu in Echtzeit), zur Wiederherstellung von Ökosystemen/Biodiversität (Gen-Editierung, „Gene-Drive“-Ansätze/CRISPR). Nachhaltige Fischerei und Aquakulturen. Inshore Vehicle Monitoring-System für Überwachung der Meere. Neue, biologisch abbaubare Kunststoffe. Technologien zur Eindämmung der chemischen Verschmutzung der Meere. Monitoring der Meeresökosysteme und der von ihnen ermöglichten Produkte und Dienstleistungen. Verfahren zur CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung (insbesondere geologische Speicherung)/Prognose: Bis 2050 könnten bis zu 40 % der britischen CO ₂ -Emissionen so gespeichert werden.
EU	Verflechtung von Umwelttechnologien mit der Digitalisierungs- und KI-Technologien. Steigende Bedeutung von nachhaltiger und effizienter Energie-, Wasser- und Rohstoffnutzung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft (insbes. Wiederverwertung und Recycling), s. auch Abschnitt Energie. Biologisch abbaubare Sensoren für Umweltmonitoring (z. B. zur Überwachung von Chemikalien oder des Lebenszyklus von Geräten). Hyperspektrale Bildgebung zur Ermittlung von Rohstoffvorkommen oder auch zur Unterstützung des Recycling-Prozesses und Überprüfung von Materialzusammensetzung und -qualität. Umwandlung von PET zu biologisch abbaubarem Abfall durch Bakterien, Pilze oder Hefekulturen. Rückgewinnung von Nährstoffen wie Stickstoff oder Phosphor aus Abwasser. Energieeffiziente und kostengünstige Methoden zur Wasseraufbereitung und -entsalzung durch Nanotechnologien für Filter und Membrane – u. a. Graphenoxid und Kohlenstoffnanoröhren. Technologien zur CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung, bzw. -Nutzung. Geoengineering bzw. Climate Engineering bei Vorliegen globaler Steuerung und Regulierung. Erste Unterwassergärten, in denen Fachkräfte für Pflanzenanbau bzw. Abbau von Unterwasserressourcen vor Ort sind.

Quelle: eigene Darstellung.

Norwegen, Australien, Japan, UK und die EU befassen sich detailliert mit dem Themenfeld *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*. Dabei ist eine recht große Themenbreite ohne sehr ausgeprägte Schwerpunkte festzustellen.

In drei der Studien (Norwegen, UK, EU) wird das Thema der Kreislaufwirtschaft aufgegriffen.

Die EU und UK behandeln beide die CO₂-Abscheidung und -Speicherung bzw. -Nutzung, wobei die EU zusätzlich das Geoengineering unter der Voraussetzung anspricht, dass eine globale Steuerung vorliegt.

Die Verflechtung von Umwelttechnologien mit der Digitalisierung wird in allgemeiner Weise von Norwegen und der EU hervorgehoben.

Auch das Thema der Wasserbewirtschaftungstechnologien wird von zwei Ländern stärker gewichtet (Japan, UK), die folgenden Themen dagegen jeweils nur von einem Land: Schutz der Meere (UK), Biodiversität (Norwegen), Wälder als Kohlenstoffsenken und Element der Landwirtschaft (Australien), Atmosphärenforschung (Japan), Sanierung von Umweltschäden (Japan), Umweltmonitoring (UK).

Es sei ebenso darauf hingewiesen, dass Detailfragen zum Klimaschutz eher auf die klimarelevanten Themenfelder verteilt sind, wie *Energie, Landwirtschaft sowie Mobilität und Verkehr*.

5.2.8 Bauen und Wohnen

Tabelle 5-15: Themenfeld *Bauen und Wohnen* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Nachhaltige Lösungen im Baugewerbe wie 3D-Druck und Robotereinsatz. Innovative Wohnbaukonzepte.
Australien	<i>Digitalisierung</i> : Einführung von IoT und Analysen zur Verbesserung der Effizienz und Genauigkeit in Stadtplanung und Bauwesen. <i>Werkstofftechnologie</i> : Verbesserung von Beton- und Stahlkonstruktionen, Entwicklung leichter und umweltfreundlicherer Werkstoffe, insbesondere Kunststoffe als nachhaltige Baumaterialien. <i>Bauautomatisierungstechnologie</i> : Einsatz von additiver Konstruktion, autonomen Maschinen, Drohnen und Robotern für sich wiederholende Aufgaben zur Steigerung der Effizienz im Baugewerbe. <i>Diversifizierung von Wohnraum und Flächennutzung</i> : wichtig für hochwertige urbane Lebensweise. Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur und Integration digitaler Technologien.
Malaysia	- / -
Japan	Zerstörungsfreie Prüftechniken, die vor Ort eingesetzt werden können, und Roboterinspektion zur effizienten Überprüfung von Gebäuden/Infrastruktur (zwei Themen, 2025). Verbesserung des Lebensumfelds für ältere Menschen, Menschen mit Behinderungen, Haushalte mit Kindern usw. durch den Einsatz von gebäudeintegrierter KI, IoT, Robotik (2029). Technologien zur Generalüberholung und zum Rückbau bestehender Gebäude (2029).
UK	Steigende Bedeutung großer städtischer Ballungsräume mit stark ausgebauten Wissens- und Datennetzwerken. <u>Anforderungen an die Infrastruktur für die Stadt der Zukunft</u> : Robustheit, Resilienz, Widerstands- und Anpassungsfähigkeit. Damit verbunden: Optimierung von (Energie-)Effizienz, Kosten und CO ₂ -Fußabdruck. <u>Technologien für „Smart Cities“</u> : (drahtlose) Sensor- und Datennetzwerke, Computer Vision, Energy Harvesting, Optimierung und Vernetzung aller Verkehrsmittel und -infrastrukturen. Holistische Betrachtung und Zusammenführung von grüner, blauer (d.h. natürliche Gewässer) und grauer Infrastruktur (d. h. bebaute Umwelt) mit den Versorgungsdiensten (Wasser, Strom, Gas, Abwasser- und Abfallentsorgung etc.). (Bau- und Infrastruktur-)Konzepte für Teilhabe älterer Menschen am Gesellschafts- und Stadtleben. <u>Anpassung der Wohnräume an Ein-Personen-Haushalte</u> : intelligente Haustechnik, Smart Homes, Telemonitoring-Angebote.
EU	<u>Steigende Bedeutung des ökologischen Fußabdrucks von Gebäuden und Städten</u> : energieeffiziente Gebäudetechnologien. smarte, nachhaltige und neue Materialien, digitale Modelle, KI, 3D-Druck sowie Roboter zur Effizienzsteigerung bei Gebäudeplanung und -bau.

Digitalisierung/IoT in allen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes (Planung, Nutzung, Wartung, Modernisierung etc.).
 Veränderung bei Stadtbild und städtischer Infrastruktur durch autonome Fahrzeuge/radikale Umbrüche in Folge des Konzepts "Autofreie Stadt" möglich.
 Fenster aus intelligentem Glas,
 Thermoelektrische Farbe,
 "Intelligente" Baubestandteile dank 4D-Drucks.

Quelle: eigene Darstellung.

Das Themenfeld *Bauen und Wohnen* wird mit der Ausnahme Malaysia von allen betrachteten Ländern behandelt und weist zwei deutliche Schwerpunkte auf.

Der Aspekt Digitalisierung wird von Australien, Japan, UK und der EU betrachtet. Dies umfasst Fragen der Effizienzsteigerung durch digitale Anwendungen in allen Phasen des Lebenszyklus von Gebäuden (Australien, UK, EU), die intelligente Anpassung an bestimmte Nutzergruppen (ältere & jüngere. Japan, UK) sowie die Planung von Städten und Ballungsräumen zusammen mit dem Konzept von „smart cities“ (Australien, UK, EU). Ein eigenes Unterthema besteht in der Nutzung von Robotik im Zusammenhang mit Gebäuden (Japan, UK) bis hin zu einer Stadtplanung, die autonome Fahrzeuge berücksichtigt (EU).

Der zweite thematische Schwerpunkt ist die Nachhaltigkeit (Norwegen, Australien, UK, EU). Hier stehen nachhaltige Baumaterialien und Effizienzsteigerungen durch 3D-Druck und Robotik im Vordergrund (Norwegen, Australien, EU) sowie allgemeine Effizienzsteigerungen zur Verminderung des ökologischen Fußabdrucks von Gebäuden und Städten (UK, EU).

5.2.9 Verteidigung und Sicherheit

Tabelle 5-16: Themenfeld *Verteidigung und Sicherheit* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Keine explizite Diskussion zu Verteidigung/Sicherheit im norwegischen Foresight; Fokus auf Entwicklung von Technologien zur Cyberangriff-Erkennung und -Abwehr.
Australien	- / -
Malaysia	- / -
Japan	Dringlichkeitsbewertung aller aktiven Vulkane in Japan zur Identifikation, welcher Vulkan wahrscheinlich als Nächstes ausbrechen wird oder bei dem es unwahrscheinlich ist, dass er ausbricht (2031). Hochpräzise Landkarten der Katastrophenrisiken zur detaillierten Stadtplanung (2027). Vorhersage von lokalen Starkniederschlägen, Tornados, Hagel, Blitzschlag, Schneefall usw. für mehrere Stunden im Voraus mit einer räumlichen Auflösung von 100 m (2027). Echtzeit-Überwachung und zur verbesserten Vorhersage von Schäden bei schweren Erdbeben mit IoT-Geräten (2026). Fokus zivile Sicherheit und Katastrophenschutz keine Verteidigungsthemen.
UK	- / -
EU	Verbreitung von Drohnen für die Kriegsführung, Steigerung der Zielsicherheit und Präzision von Drohnenangriffen dank Sensordaten und -miniaturisierung sowie bei Algorithmen zur Drohnensteuerung. Weiterentwicklung der Drohnenabwehrtechnologie (nicht weiter spezifiziert). Weiterentwicklung und Verbreitung von Technologien für den Katastrophenschutz, u. a. Früherkennungssysteme für Naturkatastrophen, Warnsysteme, Roboter für Katastrophengebiete. Drohnen. Hyperspektrale Bildgebung, um gefährliche Chemikalien, Sprengstoffe, Betäubungsmittel aufzuspüren. Neue (nicht näher spezifizierte) Anwendungen von Schwarmintelligenz und -robotik.

Quelle: eigene Darstellung.

Themen der Verteidigung und Sicherheit werden letztlich nur von Japan und der EU mit größerer Tiefe bearbeitet. Norwegen streift das Thema mit einem exklusiven Fokus auf Cybersicherheit.

Für Japan ist Sicherheit ein wichtiger Schwerpunkt, der ausführlich und mit vielen Einzelthemen betrachtet wird – aber ausschließlich mit dem Fokus auf zivile Sicherheit und insbesondere auf Fragen des Katastrophenschutzes. Verteidigungsthemen spielen keine erkennbare Rolle.

Die Befassung der EU verteilt sich auf mehrere Einzelthemen sowohl im Kontext der Verteidigung als auch der (zivilen) Sicherheit, ohne eine klare Richtung erkennen zu lassen.²⁶⁴

5.2.10 Mobilität und Verkehr

Tabelle 5-17: Themenfeld *Mobilität und Verkehr* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Stopp neuer Verbrennungsmotorenverkauf bis 2025. <u>Alternative Antriebe</u> : Elektrofahrzeuge, Wasserstoff, Biokraftstoffe. Intelligente Verkehrssysteme und Vernetzung für Verkehrsfluss und Sicherheit. Förderung öffentlichen Verkehrs, Automatisierung und Digitalisierung. <u>Forschung für nachhaltige Mobilität</u> : Reduzierung von Treibhausgasen im Verkehr, Förderung klimafreundlicher Technologien, Investition in F&I. Empfehlung für Förderung von Elektromobilität und intelligenten Verkehrssystemen.
Australien	<u>Veränderungen in der Fortbewegung</u> : Fahrradfahren und öffentlicher Nahverkehr zur Reduzierung von Fahrzeugkilometern und Optimierung des Verkehrsflusses. <u>"30-Minuten-Städte"</u> : Stadtgestaltung mit kurzen Wegen zwischen Arbeit, Einkaufen und Dienstleistungen, um die Abhängigkeit vom Auto zu verringern. <u>Massentransportmittel</u> : als umweltfreundliche und effiziente Verkehrsoptionen. <u>Erfassung und Nutzung von Daten</u> : zur Optimierung des Verkehrsflusses. <u>Autonome Fahrzeuge und Ridesharing</u> : für höhere Effizienz und bessere Auslastung der Straßenkapazität sowie als alternative Verkehrsmittel. <u>Übergang zu Elektrofahrzeugen</u> : zur Dekarbonisierung des Verkehrs.
Malaysia	- / -
Japan	Navigationssystem, damit ältere und sehbehinderte Menschen frei und sicher agieren können (2025). Mobiler Dienst mit automatischem Betrieb der Stufe 4 in urbanen Gebieten (System führt alle Fahrmanöver aus, Fahrende müssen angemessen auf Aufforderungen zur Systemintervention reagieren) (2025). Nahtloses Verkehrssystem Nah- bis zum Fernverkehr umfassend, das es älteren Menschen ermöglicht, sich in einer hochgradig gealterten Gesellschaft unabhängig und mit Zuversicht von Tür zu Tür zu bewegen (2028).
UK	<u>Elektrifizierung von Verkehrsmitteln und Verkehrsinfrastruktur</u> : Steigerung der Energiedichte bei Batterien mit günstigerer Batterieherstellung (Preis von 73 US\$/kWh bei Lithium-Ionen-Batterien bis 2030) und Verbesserung der Ladeinfrastruktur. Ab 2023 – 2025 Gesamtbetriebskosten von Elektro- und Verbrennungsfahrzeugen vergleichbar. E-Autos und kleine Elektro-LKWs bis 2030 weit verbreitet. bis 2040 größere/schwere Elektro-LKWs aufkommen, Zunahme kleinerer Elektrofahrzeuge wie Pedelecs, E-Bikes, E-Scooter und Boost-Boards, insbes. in Städten und Ballungsräumen. <u>Digitalisierung der Verkehrsinfrastruktur</u> : bis 2040 neuere, bessere und stärker integrierte Verkehrsinfrastrukturen und -systeme. Genauere und bessere Nutzung, Auslastung und Überwachung von Verkehrsmitteln und Straßen-, Schienen und Schiffsverkehrsinfrastrukturen sowie deren effektivere und vorausschauende Instandhaltung durch schnellere Datenübertragung zwischen Verkehrsteilnehmer*innen und -infrastrukturen, Echtzeit-Simulation und zuverlässiger (Nachfrage-)Modellierung sowie On Board-Diagnosesysteme. insbes. "Digitale Zwillinge" von Verkehrsinfrastrukturen. Herausforderungen: Klärung von Eigentumsverhältnissen sowie Nutzungsbedingungen von Daten aus verschiedenen Quellen – mögliche Nutzung von Distributed Ledger Technology. Datensicherheit und die Abwehr vor potenzieller verkehrsbezogener Cyberkriminalität bei zunehmend digitalen und automatisierten/autonomen Verkehrssystemen und -infrastrukturen. <u>Automatisierung und autonome Verkehrsmittel</u> : autonome Züge sowie Zug- und Bahnhofssysteme bis 2040 denkbar. Verbreitung autonomer PKWs und Busse in den 2020er Jahren, weite Verbreitung bis 2040. Prognose: Autonome PKWs tragen mit 2,1 Mrd. Pfund zum britischen BIP im Jahr 2035 bei und sind

²⁶⁴ Zur Einordnung sei jedoch auf die Beobachtung hingewiesen, dass es im Verteidigungssektor eigene dezidierte Institutionen gibt (wie z. B. die NATO) mit teils umfangreichen Publikationen, die sich dann aber nur auf das Thema Verteidigung konzentrieren und insofern die Auswahlkriterien für diesen Ländervergleich nicht erfüllen.

	<p>für 47.000 Jobs verantwortlich. Unfälle könnten um bis 30 % sinken. Automatisierung im Gütertransport: 85 – 90 % der Luftfracht könnten von Robotern abgefertigt werden.</p> <p>Platooning, bei dem mehrere vernetzte und/oder autonome Fahrzeuge dicht beieinander fahren.</p> <p><u>Dekarbonisierung des Güterverkehrs durch Fahrzeugentwicklung</u>: verbesserte Aerodynamik, Reifen und Nutzung von Leichtbaumaterialien. Effizientere Fahrzeugnutzung durch dynamische Routenplanung, Fahrertraining oder den Einsatz alternativer Treibstoffe wie Wasserstoff etc.</p> <p><u>Neue Geschäftsmodelle</u>: Konzepte aus der Sharing Economy zwecks gemeinsamer Nutzung von Logistikdienstleistungen und -plattformen, z. B. für die letzte Meile. Voraussetzung: Interoperabilität der genutzten (Daten-)Systeme. Mobility-as-a-Service-Komplettlösungen ermöglichen (insbes. älteren) Menschen größere gesellschaftliche Teilhabe.</p>
EU	<p>Zukünftige Mobilitätssysteme – für Menschen und für Waren – werden (energie-)effizient, intelligent, weitgehend automatisiert und multimodal sein.</p> <p>Autonomes Fahren bis 2038 sehr wahrscheinlich (kurz- bis mittelfristig: nahezu autonome Fahrzeuge), langfristig Verbreitung vollständig autonomer Fahrzeuge verbunden mit Paradigmenwechsel und Konsequenzen für Wirtschaft und Arbeit: (letzte Meile, Logistikdienstleistungen, Stadtbild und Infrastruktur etc.).</p> <p>Wahrscheinlich bis 2038: Verbreitung der Hyperloop-Technologie (Transport in einer Niederdruckröhre) und Einsatz insbesondere in Ballungsräumen.</p>

Quelle: eigene Darstellung.

Im Themenfeld *Mobilität und Verkehr*, das von Norwegen, Australien, Japan, UK und der EU detailliert und mit zahlreichen Aspekten aufgegriffen wird, erscheinen mit Nachhaltigkeit und Digitalisierung zwei klare Themenschwerpunkte.

In Bezug auf Nachhaltigkeit (Norwegen, Australien, UK) werden alternative (insbesondere elektrische) Antriebe (Norwegen, Australien, UK) erwartet, UK thematisiert zusätzlich die Dekarbonisierung des Güterverkehrs. Australien richtet außerdem den Blick auf die Reduzierung von Fahrzeugkilometern und auf kurze Wege, u. a. unter Einsatz des öffentlichen Nahverkehrs.

Im Kontext der Digitalisierung (Norwegen, Australien, Japan, UK, EU) werden intelligente Mobilitätssysteme zur Steigerung der Effizienz und Optimierung des Verkehrsflusses diskutiert (Norwegen, Australien, UK, EU). Es fällt darüber hinaus auf, dass automatischen und autonomen Verkehrssystemen eine hohe Bedeutung beigemessen wird (Norwegen, Australien, Japan, UK, EU) und diese bis 2038 (EU) bzw. 2040 (UK) mit weiter Verbreitung erwartet werden.

Japan und UK sehen in nahtlosen digitalen Mobilitätsdiensten den zusätzlichen Nutzen einer verbesserten gesellschaftlichen Teilhabe – insbesondere älterer Menschen.

5.2.11 Luft- und Raumfahrt

Tabelle 5-18: Themenfeld *Luft- und Raumfahrt* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	- / -
Australien	- / -
Malaysia	- / -
Japan	Hochpräzise Positionsbestimmungstechnologie, die mit Hilfe künstlicher Satelliten genaue Positionsinformationen mit einer Fehlergrenze von wenigen Zentimetern liefert, um das automatisierte Fahren von Kraftfahrzeugen sowie die unbemannte und automatisierte Landwirtschaft zu ermöglichen (2026).
UK	Fortschritte bei Drohnen- und Satellitentechnologien. Unbemannte Luftfahrzeuge oder Drohnen im Logistikbereich, z. B. für die letzte Meile. Autonome Senkrecht- und Kurzstarter.
EU	Steigerung der Energieautonomie und fortschreitende Miniaturisierung von Drohnen. Mehr Drohnen im Militär- und Zivilbereich sehr wahrscheinlich, z. B. für die letzte Meile.

Quelle: eigene Darstellung.

Luft- und Raumfahrt wird nur von drei Ländern angesprochen (Japan, UK, EU) und bei allen dreien ist die Automatisierung/Autonomie Teil der Zukunftserwartungen. Japan erwartet einen wichtigen Beitrag von Satelliten zur Realisierung des automatisierten Fahrens und der automatisierten Landwirtschaft auf der Erde.

Bei UK und der EU stehen verschiedene Fortschritte im Zusammenhang mit Drohnen in Richtung unbemannter Nutzung und letztlich Autonomie. Sowohl UK als auch die EU erwarten den Einsatz von Drohnen für die letzte Meile.

5.2.12 Meerestechnik und Schifffahrt

Tabelle 5-19: Themenfeld *Meerestechnik und Schifffahrt* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Fischerei, Aquakultur, Offshore-Ölförderung, Schifffahrt: durch Klimawandel beeinflusst. invasive Arten, Bedrohung der Ökosysteme. Alternative Brennstoffe, z. B. Wasserstoff und Ammoniak. Ozeanüberwachungstechnologien, autonome Schiffe, Sensoren. Ausbau maritimer Zukunftstechnologien.
Australien	- / -
Malaysia	- / -
Japan	Umweltfreundliche und wirtschaftlich tragfähige Technologie zur Sammlung von mineralischen Rohstoffen vom Meeresboden (2032).
UK	Technologien für Erforschung, Kartierung und Monitoring von Meer und Meeresressourcen, z. B. „Inshore Vehicle Monitoring System“ zum Sammeln ozeanographischer Daten sowie zur Überwachung der Fischerei. Technologien für Wartung und Betrieb der Infrastruktur (Häfen, Offshore-Infrastruktur etc.). <u>Schifffahrt</u> : alternative, emissionsärmere Kraftstoffe, neue Materialien und Verfahren für Superyachten, hochwertige Motorboote und Segelyachten. Satellitentechnologie. "intelligente Schifffahrt" dank wachsenden Einsatzes von Sensoren und Satelliten. Vollständig autonome, unbemannte Frachtschiffe bis 2035 besonders für Kurzstrecken und Küstenrouten. <u>Energiegewinnung</u> : Erschließung neuer Offshore-Öl- und Gasvorkommen. Gezeiten- und Osmosekraftwerke. Erneuerbare Offshore-Energie mit beträchtlichem Potenzial. Prognose: Offshore-Windenergie von 2010 bis 2030 mit Wachstum von 1 – 8 %. Zunahme der Tiefseebergbau-Aktivitäten. <u>Aquakultur</u> : Nahrungsmittel- und Arzneimittelproduktion dank mariner Biotechnologie. Zukünftige Schiffe als "schwimmende Fabriken" (additive und modulare Fertigung für Verarbeitung und Individualisierung von (Teil-)Produkten an Bord).
EU	Autonomes Fahren auf dem Seeweg.

Quelle: eigene Darstellung.

Im Themenfeld *Meerestechnik und Schifffahrt* (Norwegen, Japan, UK, EU) stehen die verschiedenen Formen der Gewinnung von Energie, Lebensmitteln und Ressourcen auf dem Meer (Norwegen, UK) nach der Zahl der Teilthemen im Vordergrund. Genannt werden die Fischerei und Aquakultur, Arzneimittel, mineralische Rohstoffe sowie verschiedene Formen der Energiegewinnung.

Nachhaltigkeit wird in eher allgemeiner Form von Norwegen und UK erwähnt, wobei alternative Kraftstoffe für die Schifffahrt von beiden genannt werden.

Autonome Schiffe werden ausführlich angesprochen von Norwegen, UK und der EU mit der Erwartung, dass autonome, unbemannte Frachtschiffe bis 2035 besonders für Kurzstrecken und Küstenrouten eingesetzt werden könnten (UK).

5.2.13 Digitalisierung

Tabelle 5-20: Themenfeld *Digitalisierung* – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Förderung des digitalen Wandels durch Nutzung von Open Data. Internet der Dinge (IoT), Industriedaten, Robotik, Blockchain. Künstliche Intelligenz (KI). Digitale Transformation im Gesundheitswesen. Datenschutz und Cybersicherheit.
Australien	Cybersicherheitslösungen für sicheren Datenaustausch und Kundenvertrauen. Cybersicherheitslösungen für Minenstandorte zum Schutz der Betriebstechnologie vor Angriffen und Verbesserung der physischen Sicherheit.
Malaysia	Deep Learning – ein Zweig des maschinellen Lernens, der künstliche neuronale Netze verwendet, die aus vielen zahlreichen Zwischenschichten bestehen (bis 2035). Algorithmen zur Entschlüsselung von Absichten – durch das Scannen der Hirnaktivität bestimmter Areale können Wissenschaftler*innen möglicherweise die Gedanken, Träume und sogar Absichten von Menschen entschlüsseln (bis 2035).
Japan	Technologie zur Verhinderung des unbefugten Eindringens in kritische Infrastrukturen, Automobile, persönliche IoT-Geräte/-Dienste (Wahrscheinlichkeit betrügerischer Kommunikation wird auf ein nahezu vernachlässigbares Niveau reduziert) (2028). Kabelgebundene und drahtlose mobile Kommunikationstechnologie mit großer Kapazität, hoher Zuverlässigkeit, extrem niedriger Latenz für eine Super-Multi-Endgeräte-Kommunikation (2027). Flexible Informations- und Kommunikationstechnologie, die zur Minderung von Netzwerküberlastung und Verbesserung der Fehlertoleranz in normalen Zeiten beiträgt und die im Katastrophenfall eine bevorzugte Serviceabwicklung für Notfallkommunikation ermöglicht oder die schnell von Grund auf eingerichtet werden kann (2027).
UK	Digitalisierung, vielfältige Vernetzungsmöglichkeiten, Automatisierung und das Internet der Dinge verändern, wie Menschen miteinander arbeiten, kommunizieren, Geschäfte eingehen. <u>Bis 2040</u> : starke Zunahme und mehr Tempo bei Datennutzung sowie viele neue Anwendungen. Big Data, digitale Plattformen und Methoden zur Erfassung und Verarbeitung von Daten als Treiber einer zunehmenden digitalen Vernetzung. Neue Geschäftsmodelle in der Datenökonomie, Zunahme des Online-Handels, Zunahme der Online-Vernetzung von Akteuren einer Wertschöpfungskette. Neue Formen der sozialen Interaktion. Steigendes Potenzial von Daten und Plattformen für die öffentliche Hand: neue Formen öffentlicher Dienstleistungen. Zunehmende Verschränkung von physischen und digitalen Anwendungen und Umgebungen, z. B. bei (Transport-)Infrastrukturen und in Gebäuden. Steigende Bedeutung von Cybersicherheit, insbes. bei personenbezogenen Daten.
EU	Digitalisierung und künstliche Intelligenz in allen Gesellschafts- und Wirtschaftsbereichen, insbesondere: AR-, VR- und XR-Technologien: zunehmende Verbindung und Synchronisierung virtueller und physischer Welt bspw. durch AR-Brille, AR-Kontaktlinsen oder Implantate. Machine Learning, neuronale Netzwerke, Deep-Learning und daraus folgend Algorithmen für Bild-, Stimm- und Emotionserkennung sowie "superintelligente" KI-Systeme, die sich selbst verbessern und den Menschen bei spezifischen Anwendungen (z. B. dem autonomen Fahren) übertreffen könnten, aber auch in der Lage wären, neuartige und Ad-hoc-Probleme zu lösen. (Intelligente) Chatbots, langfristig Chatbots als Bindeglied zwischen Menschen und Geräten wie Computern, Robotern oder Smart-House-Anwendungen. Quantenkryptographie zur Sicherung von Daten und Transaktionen, erste Quantennetzwerke bis 2030. Blockchain-Technologie als mögliche Basis für zukünftigen Datenaustausch. Steigende Nutzung von Kryptowährungen.

Quelle: eigene Darstellung.

Digitalisierung ist ein Themenfeld, das von allen betrachteten Ländern behandelt wird, wobei teilweise viele verschiedene Aspekte angesprochen werden.

Unterscheiden lassen sich technologie- und anwendungsbezogene Betrachtungsweisen.

Technologische Aspekte werden von fünf Ländern benannt: so z. B. Big Data (UK), Open Data (Norwegen), Plattformen (UK), das Internet der Dinge (Norwegen, UK), Blockchain (Norwegen, EU), AR-, VR- und XR-Technologien (EU), Automatisierung (UK), Robotik (EU), neue Kommunikationstechnologien mit großer Kapazität (Japan). Aus dieser etwas heterogenen Sammlung ragt das Thema KI bereits erkennbar mit Nennungen aus Norwegen, Malaysia und mehreren Bezügen seitens der EU heraus.

Die Heterogenität der Nennungen setzt sich bei den Anwendungen fort (Norwegen, Japan, UK, EU): Gesundheit (Norwegen), Katastrophenschutz (Japan), Wirtschaft (UK), Gesellschaft (UK), öffentliche Hand (UK) sowie Gebäude und Infrastrukturen (UK), Kryptowährungen – Finanzsektor (EU).

Große Übereinstimmung herrscht dagegen bei der Einschätzung der hohen Relevanz von Cybersicherheit (Norwegen, Australien, Japan, EU, UK). Die EU erwartet den Einsatz von Quantenkryptographie und Japan, dass die Wahrscheinlichkeit betrügerischer Kommunikation bis 2028 auf ein nahezu vernachlässigbares Niveau reduziert werden kann.

Hervorzuheben ist die singuläre Zukunftserwartung in Malaysia, dass durch Scannen bestimmter Hirnaktivitäten möglicherweise Absichten von Menschen entschlüsselbar werden (bis 2035).

5.2.14 Gesellschaft, Kultur und Bildung

Tabelle 5-21: Themenfeld Gesellschaft, Kultur und Bildung – Gegenüberstellung der studienspezifischen Schwerpunkte

Norwegen	Alternde Gesellschaft. Wohlfahrtsgesellschaft. Kohäsion und Globalisierung. Erhaltung und Sicherung einer widerstandsfähigen und robusten Demokratie durch alternative Innovationspraktiken und -ansätze, interdisziplinäre Innovation, Bildung und lebenslanges Lernen, Integration von Migrant*innen und Flüchtlingen, Förderung von Kreativität und kultureller Vielfalt. Flexiblere Gestaltung des Bildungssystems. Stärkere Einbeziehung von unternehmerischen und innovativen Fähigkeiten in das Bildungssystem.
Australien	<u>Bildungstechnologien</u> : Nutzung von KI, Big Data, Augmented Reality, und Online-Lernplattformen für besseren Bildungszugang. <u>Sozial-ökologische Technologien</u> : datenbasierte, nachhaltige Entscheidungsfindung für soziale und ökologische Auswirkungen. <u>Vertrauenswiederherstellung</u> : technologiegetriebene Bildungsansätze zur Wiederherstellung des Vertrauens in Institutionen.
Malaysia	- / -
Japan	Erfüllung der Vision Gesellschaft 5.0 – als eine menschenzentrierte Gesellschaft, die den wirtschaftlichen Fortschritt und die Lösung gesellschaftlicher Probleme durch ein System der hochgradigen Integration des Cyberraums mit der physischen Welt ausbalanciert – zusammen mit den Werten Menschlichkeit, Inklusion, Nachhaltigkeit und Neugier.
UK	Neue sozio-technische Innovationen in allen gesellschaftlichen Bereichen dank Digitalisierung, insbes. bei Bereitstellung von öffentlichen Dienstleistungen, Formen der sozialen Interaktion, gesellschaftlicher und politischer Teilhabe, Kultur, Sport, Tourismus. Hohe Bedeutung und gesellschaftliche Relevanz von Fragen der Datensicherheit und -zuverlässigkeit sowie des Schutzes von digitalen Netzen und Infrastrukturen. Bildung als wichtiger Beitrag zur Stärkung von Wirtschaft und Wohlstand und der Schaffung einer inklusiven Gesellschaft. Nutzung von Genomik (<i>Polygenic Risk Scores</i>) im Bildungsbereich und im Arbeitsleben, in der Versicherungsbranche sowie bei der Strafverfolgung – verbunden mit (Missbrauchs-)Risiken und Bedarf an Regulierungsmechanismen.
EU	Selbstgesteuertes und individualisiertes Lernen durch digitale, flexible Lernangebote, Nutzung von AR in Bildungsangeboten. AR und VR für neue Angebote im Tourismus- und Kulturbereich sowie in der Werbe- und Spielindustrie. <u>Langfristig denkbar</u> : Jeder Mensch erlebt seine eigene, individuelle personalisierte Welt, bestehend aus realen und virtuellen Elementen.

Wissen und digitale Inhalte durch jede/jeden produzierbar.
KI-gestützte Entscheidungen in Gesellschaft und Politik.
Online-Plattformen führen zu neuen Dienstleistungen aller Art im Bildungs- oder Kulturbereich und stellen neue soziale Orte dar.

Quelle: eigene Darstellung.

Im Themenfeld *Gesellschaft, Kultur und Bildung*, das von fünf Ländern angesprochen wird (Norwegen, Australien, Japan, UK, EU), findet sich ein Schwerpunkt an Bildungsthemen.

Neben allgemeineren Aussagen zur Bedeutung der Bildung und des flexiblen, lebenslangen Lernens (Norwegen, UK, EU) sind mehrere Aussagen über die Nutzung digitaler Technologien im Bildungsbereich vorhanden: KI (Australien), Big Data (Australien), AR (Australien, EU) und Plattformen (Australien, EU).

In Bezug auf den Themenkreis der Gesellschaft finden sich die folgenden beiden Aspekte: 1. Der Gedanke digital vermittelter Problemlösungen an der Schnittstelle von Gesellschaft und Nachhaltigkeit zeigt sich in Beiträgen von Australien und Japan. 2. Die Frage des gesellschaftlichen Zusammenhaltes ist unter den Begriffen Integration, Interaktion, Inklusion, Teilhabe in verschiedenen Zukunftserwartungen (Norwegen, Japan, UK) festzustellen, wobei UK und Japan digitale Lösungsbeiträge erwarten, wohingegen die EU langfristige Zukunftserwartungen formuliert, wonach Gemeinsamkeiten verloren gehen könnten, wenn alle Menschen eigene personalisierte Welten, bestehend aus realen und virtuellen Elementen, erleben.

Mit Bezug auf den Kulturbereich nennt die EU die Nutzung von AR und VR sowie von Online-Plattformen.

5.3 Fazit des Ländervergleichs

In der nachfolgenden Themenmatrix sind die Zeilen und Spalten jeweils nach der Häufigkeit der Themennennung sortiert, d. h. nach der Anzahl dunkelblauer Felder und bei gleicher Anzahl dunkelblauer Felder nach der Zahl hellblauer Felder. Mithin werden in den Prognosen häufig berücksichtigte Technologien weiter oben gelistet. Die Interpretation dieser Themenmatrix ist jedoch sehr behutsam vorzunehmen: Zwar kann sie Hinweise auf das Ausmaß des Interesses eines Staates/Staatenverbundes an einem bestimmten Thema oder einer Technologie zu einem bestimmten Zeitpunkt liefern, allerdings erlaubt sie keine konkreten Rückschlüsse auf die tatsächliche Technologiepolitik und -förderung des jeweiligen Staates/Staatenverbundes.²⁶²

Tabelle 5-22: Ranking der Themen: Themenmatrix der aktuell untersuchten Technologieprognosen.

Dunkelblau steht für eine eingehende Auseinandersetzung des Landes mit dem jeweiligen Themenfeld, hellblau für eine weniger eingehende Beschäftigung mit dem Themenfeld und weiß steht dafür, dass das Themenfeld gar nicht oder nur marginal Gegenstand der Untersuchung in dem Land war.

	EU	Japan	UK	Norwegen	Australien	Malaysia
Energie	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau
Digitalisierung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Dunkelblau
Biotechnologie	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Hellblau	Dunkelblau
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß
Mobilität und Verkehr	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß
Gesellschaft, Kultur und Bildung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß
Arbeit und Wertschöpfung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Dunkelblau	Weiß
Bauen und Wohnen	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Dunkelblau	Weiß
Basistechnologien der Digitalisierung	Dunkelblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß	Weiß	Dunkelblau
Materialtechnik	Dunkelblau	Dunkelblau	Hellblau	Weiß	Hellblau	Weiß
Meerestechnik und Schifffahrt	Hellblau	Hellblau	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß	Weiß
Verteidigung und Sicherheit	Dunkelblau	Dunkelblau	Weiß	Hellblau	Weiß	Weiß
Luft- und Raumfahrt	Dunkelblau	Hellblau	Dunkelblau	Weiß	Weiß	Weiß

Quelle: eigene Darstellung.

Zudem wird die absolute Anzahl der in den Studien berücksichtigten Technologien in die Darstellung mit einbezogen (aufsteigend geordnet von links nach rechts). Mithin kann hiermit das Maß der thematischen Breite der Technologieprognosen abgeschätzt werden.

Folgende Beobachtungen lassen sich in allen analysierten Technologieprognosen machen:

Etwa zwei Drittel der Themenfelder wird von allen (6) oder fast allen Ländern (5) adressiert: *Energie, Biotechnologie, Arbeit und Wertschöpfung, Gesundheit, Lifestyle und Ernährung, Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima, Bauen und Wohnen, Mobilität und Verkehr, Digitalisierung*, sowie *Gesellschaft, Kultur und Bildung*.

Dabei besteht das deutlichste Interesse an den Themenfeldern *Energie* sowie *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung*, die in allen Studien detailliert behandelt werden, gefolgt durch die Themenfelder *Digitalisierung* und *Biotechnologie*, die ebenfalls in allen untersuchten Studien Berücksichtigung finden, wenn auch im unterschiedlichen Ausmaß.

Die Themenfelder *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima, Mobilität und Verkehr, Gesellschaft, Kultur und Bildung, Arbeit und Wertschöpfung* sowie *Bauen und Wohnen* sind Gegenstand detaillierter Betrachtung in fünf von sechs untersuchten Studien.

Drei Themenfelder werden von vier Ländern betrachtet: *Materialtechnik, Basistechnologien der Digitalisierung* sowie *Meerestechnik und Schifffahrt*.

Nur zwei der Themenfelder werden lediglich von zwei oder drei Ländern eingehend behandelt: *Luft- und Raumfahrt* sowie *Verteidigung und Sicherheit*.

Um inhaltliche **Querschnittsaspekte** abzuleiten, bietet es sich an, gedanklich ein Raster von Schlüsseltechnologien²⁶⁵ sowie von großen gesellschaftlichen Herausforderungen²⁶⁶ anzulegen.²⁶⁷ Dabei ergeben sich in der Übersicht aller Themenfelder folgende Beobachtungen.

Etwa zwei Drittel aller Themenfelder weisen deutliche Bezüge zur Herausforderung der **Nachhaltigkeit** auf.²⁶⁸

Alle untersuchten Länder befassen sich mit dem Thema Energie und alle diese Länder betrachten dabei auch Technologien, die zu einer nachhaltigen Energieversorgung beitragen können.

Materialtechnik ist in zweifacher Weise mit dem Thema Nachhaltigkeit verbunden. Zum einen geht es um die kohlenstoffarme Bereitstellung von Materialien und deren Kreislauffähigkeit. Zum anderen werden bestimmte (neue) Materialien für die nachhaltige Energieversorgung benötigt (z. B. in Batterien).

²⁶⁵ Mögliche Schlüsseltechnologien wären angelehnt an den Begriff der "key enabling technologies": Nanotechnologie, Mikro- und Nanoelektronik, Materialtechnik, Biotechnologie, Photonik, Fertigungs- und Prozesstechnologien, Digitaltechnologien.

²⁶⁶ Große gesellschaftliche Herausforderungen bestehen beispielsweise in Anlehnung an die 17 Ziele der UN für nachhaltige Entwicklung hierin: Armut beenden, Hunger beenden, Gesundheit und Wohlergehen gewährleisten, Bildung für alle, Gleichstellung der Geschlechter erreichen, sauberes Wasser und Sanitär-Einrichtungen gewährleisten, bezahlbare und saubere Energie sichern, menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum, Industrie, Innovation und Infrastruktur, Ungleichheiten verringern, nachhaltige Städte und Gemeinden, nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion, Klimaschutz, Bewahrung und nachhaltige Nutzung der Ozeane, Meere und Meeresressourcen, Landökosysteme schützen, wiederherstellen und nachhaltig nutzen, Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen, Partnerschaften zur Erreichung der Ziele.

²⁶⁷ Dabei ist zu bedenken, dass bestimmten Themenfeldern Schlüsseltechnologien entsprechen (*Materialtechnik, Basistechnologien der Digitalisierung, Biotechnologie*) bzw. andere Themenfelder große Nähe zu gesellschaftlichen Herausforderungen aufweisen (*Energie, Arbeit und Wertschöpfung, Gesundheit, Lifestyle und Ernährung, Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima, Gesellschaft, Kultur und Bildung*).

²⁶⁸ Bei dem Themenfeld *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* ist dies per se gegeben.

Auch bei den **Basistechnologien der Digitalisierung** wird an Nachhaltigkeit gearbeitet, etwa in der Form energieeffizienterer Rechentechnologien oder von biologisch abbaubaren Sensoren.

Die **Biotechnologie** steht ebenfalls in Bezug zur Nachhaltigkeit, etwa beim Ersatz fossiler Energieträger (Japan).

Vier der fünf Länder, die sich mit dem Themenfeld **Bauen und Wohnen** befassen, gehen dabei auch auf Aspekte der Nachhaltigkeit ein, wie z. B. nachhaltige Baumaterialien oder Technologien zur Verminderung des ökologischen Fußabdrucks von Gebäuden, Infrastrukturen und Städten.

Ähnlich verhält es sich bei dem Themenfeld **Mobilität und Verkehr**, drei der fünf betreffenden Länder gehen ebenso auf Nachhaltigkeit ein, insbesondere in der Form alternativer Antriebe.

Nachhaltigkeit wird im Kontext der **Meerestechnik und Schifffahrt** in allgemeiner Form sowie mit der Frage alternativerer Kraftstoffe für die Schifffahrt adressiert (UK, Norwegen).

Im Themenfeld **Gesellschaft, Kultur und Bildung** wird Nachhaltigkeit ebenfalls angesprochen, wenn auch in allgemeinerer Form und naturgemäß stärker in Bezug auf die soziale Dimension der Nachhaltigkeit.

Einen gleichfalls breiten Querschnittscharakter weist die Schlüsseltechnologie der **Digitalisierung** auf. Hier sind es ebenfalls zwei Drittel der Themenfelder, die deutliche, explizite Bezüge herstellen.²⁶⁹

Biotechnologie kann zukünftig stärker durch biobasierte Bestandteile von Elektronik bzw. durch biologisch abbaubare Sensoren zur Digitalisierung beitragen (EU).

Vier von fünf Ländern, die technologische Zukunftserwartungen im Zusammenhang mit **Arbeit und Wertschöpfung** äußern, beziehen sich auf die Digitalisierung mit einer großen Breite an Einzelthemen wie digitale Zwillinge (UK), 3D-Druck (UK, EU) sowie neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion/AR (EU).

Im Themenfeld **Gesundheit, Lifestyle und Ernährung** sehen fünf von sechs Ländern ausgeprägte Bezüge zur Digitalisierung, wobei verschiedene datenbasierte Ansätze sowie die Telemedizin besonders prominent sind. Beim Teilthema Ernährung heben drei von fünf Ländern die Bedeutung von Sensorik bzw. IoT zur Schaffung einer verbesserten Datenbasis hinsichtlich der Steigerung der Produktivität hervor.

Zwei der fünf Länder, die sich eingehend mit **Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima** befassen, weisen auf die Verflechtungen mit der Digitalisierung hin.

Im Themenfeld **Bauen und Wohnen** wird die Rolle der Digitalisierung von vier der fünf Länder hauptsächlich in Anwendungen zur Effizienzsteigerung in allen Phasen des Lebenszyklus von Gebäuden und in der intelligenten Anpassung an bestimmte Nutzergruppen gesehen.

Alle fünf Länder, die sich mit dem Themenfeld **Mobilität und Verkehr** befassen, betrachten dabei auch intelligente, digitale Mobilitätssysteme zur Steigerung der Effizienz und Optimierung des Verkehrsflusses.

Ähnlich breit wird die Rolle der Digitalisierung im Themenfeld **Gesellschaft, Kultur und Bildung** gesehen, und zwar vor allem in Bezug auf das Teilthema Bildung durch die Nutzung von Big Data, AR und Plattformen.

²⁶⁹ Bei den Themenfeldern *Basistechnologien der Digitalisierung* und *Digitalisierung* sind diese Bezüge von sich aus gegeben.

Als **Schlüssel- oder Querschnittstechnologien** – im Sinne von Technologien, die in sehr vielen Anwendungsfeldern wesentlich sind, sind fast nur noch die Digitaltechnologien zu identifizieren, besonders Big Data, Internet der Dinge, Plattformen sowie AR-/VR-Technologien,

Als weitere Digitaltechnologien nehmen die künstliche Intelligenz und die Robotik mit den autonomen Systemen als zusammenhängendes Technologiebündel eine herausgehobene Rolle ein. Bei insgesamt sechs Themenfeldern wird dieses Bündel dezidiert genannt: beginnend mit dem Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung*, bei dem Automatisierung und Robotik schon traditionell eine große Rolle spielen, die in Zukunft noch weiter wachsen werden, über das Themenfeld *Gesundheit* mit therapeutischer Robotik und der *Ernährung* mit Automatisierung und Robotik in der Landwirtschaft bis zum Themenfeld *Bauen und Wohnen* mit der Nutzung von Robotik im Zusammenhang mit dem Bau und Betrieb von Gebäuden. In den Themenfeldern *Mobilität und Verkehr*, *Meerestechnik und Schifffahrt* sowie *Luft- und Raumfahrt* stehen autonome Fahrzeuge, Schiffe sowie autonome Drohnen im Mittelpunkt des technologischen Interesses.

In Summe bestätigt sich somit die Wahrnehmung einer zukünftig erwarteten doppelten Transformation hin zur Nachhaltigkeit und Klimaneutralität sowie zur fortschreitenden Digitalisierung aller Lebensbereiche mit zunehmender Automatisierung und Autonomisierung technischer Systeme. Allein deren Verflechtung und Zusammenspiel erscheinen bislang als nur am Rande gestreift.

Tabelle 5-23 fasst die Beobachtungen zu den Verflechtungen der Themenfelder in quantitativer Form zusammen. Dabei wird der unterschiedliche Charakter der beiden Faktoren in der doppelten Transformation im Bild der betrachteten Technologieprognosen sehr deutlich. Zur Realisierung von Nachhaltigkeit und Klimaschutz können und müssen (fast) alle andere Themenfelder beitragen. Digitalisierung dagegen ist das Themenfeld, bei dem Einfluss auf alle anderen Themenfelder gesehen wird.

Tabelle 5-23: Einflussmatrix zur Verflechtung der Themenfelder.

Es wird auf Basis der zusammenfassenden Aussagen in Unterkapitel 5.2 gezählt, wie viele der betrachteten Studien die Nutzung eines Themenfeldes der linken Spalte in einem Themenfeld der weiteren Spalten erwähnen. Die Summe über die Einträge einer Zeile wird Aktivsumme genannt und beschreibt, wie ausgeprägt die Einsatzmöglichkeiten des jeweiligen Themenfeldes in den Studien erscheinen. Die Summe über die Einträge einer Spalte wird Passivsumme genannt und stellt dar, wie ausgeprägt die Beeinflussbarkeit eines Themenfeldes durch andere Themenfelder in den Studien gesehen wird. In der Tabelle sind die Zeilen und Spalten in absteigender Reihenfolge nach den Werten der Aktiv- und Passivsumme geordnet.

	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Arbeit und Wertschöpfung	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Gesellschaft, Kultur und Bildung	Bauen und Wohnen	Energie	Digitalisierung	Verteidigung und Sicherheit	Mobilität und Verkehr	Meerestechnik und Schifffahrt	Basistechn. der Digitalisierung	Biotechnologie	Luft- und Raumfahrt	Materialtechnik	Aktivsumme
Digitalisierung	2	4	5	4	4	2		2	5	2	1	2	1	1	35
Basistechnologien der Digitalisierung	2	2	2	0	2	0	4	2	0	0		0	0	0	14
Biotechnologie	3	1	5	1	0	1	0	0	0	0	1		0	0	12
Energie	6	0	0	0	0		0	0	1	1	0	0	1	0	9
Bauen und Wohnen	4	0	0	2		0	1	1	0	0	0	0	0	0	8
Materialtechnik	3	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0		7
Mobilität und Verkehr	3	0	0	3	0	1	0	0		0	0	0	0	0	7
Meerestechnik und Schifffahrt	2	2	1	0	0	2	0	0	0		0	0	0	0	7
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	1	0		2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima		2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Luft- und Raumfahrt	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	3
Arbeit und Wertschöpfung	1		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Verteidigung und Sicherheit	0	0	0	0	1	0	1		0	0	0	0	0	0	2
Gesellschaft, Kultur und Bildung	0	2	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Passivsumme	28	14	14	13	9	8	8	6	6	3	2	2	2	1	

Quelle: eigene Darstellung.

6 Zeitliche Entwicklung: Themenschwerpunkte 2004 - 2006 - 2010 - 2013 - 2023

Dieses Kapitel stellt die zeitliche Entwicklung der Themenschwerpunkte ausgewählter internationaler Technologieprognosen im Zeitraum von 2004 bis 2023 dar basierend auf den Ergebnissen von Kapitel 5 und den Ergebnissen der früheren Vergleichsstudien von 2004, 2006, 2010 und 2013. Zur einfachen Bezugnahme sind diese Ergebnisse als Annex in Kapitel 7 zusammengefasst.

Wie bereits in Kapitel 5 erwähnt, sollten die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden, da sie lediglich Hinweise darauf liefern, wie stark das Interesse im Zukunftsdiskurs eines Staates oder Staatenverbundes an einem bestimmten Themenfeld zu einem bestimmten Zeitpunkt ist.²⁶²

6.1 Ergebnisse früherer Vergleichsstudien im Analyseraster 2023

Um einen zeitlichen Vergleich der Schwerpunktsetzung bei den Technologieprognosen seit der Vergleichsstudie 2004 zu ermöglichen, wurden die Ergebnisse der vorigen Vergleichsstudien in das neue Analyseraster von 2023 übertragen. Details zur Vorgehensweise siehe Kapitel 7.

Tabelle 6-1 fasst die Ergebnisse der früheren Vergleichsstudien zusammen. Dabei gilt: je höher ein Themenfeld aufgelistet wird, desto eingehender wurde es in den untersuchten Technologiestudien behandelt.

Tabelle 6-1: Darstellung der Reihenfolge der Themenfelder in den früheren Vergleichsstudien unter Berücksichtigung des 2023 Analyserasters.

Je höher das Themenfeld aufgelistet wird, desto eingehender wurde es in den untersuchten Technologien behandelt. Das Themenfeld Gesellschaft, Kultur und Bildung taucht nicht auf, da dieses Themenfeld in dem früher genutzten Analyseraster nicht berücksichtigt wurde.

2004	2006	2010	2013
Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Energie	Energie
Basistechnologien der Digitalisierung	Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Biotechnologie
Materialtechnik	Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung
Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Digitalisierung	Basistechnologien der Digitalisierung
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Energie	Mobilität und Verkehr	Digitalisierung
Arbeit und Wertschöpfung	Arbeit und Wertschöpfung	Biotechnologie	Arbeit und Wertschöpfung
Energie	Basistechnologien der Digitalisierung	Verteidigung und Sicherheit	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima
Mobilität und Verkehr	Materialtechnik	Arbeit und Wertschöpfung	Materialtechnik
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Mobilität und Verkehr	Bauen und Wohnen	Luft- und Raumfahrt
Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Materialtechnik	Mobilität und Verkehr
Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen	Basistechnologien der Digitalisierung	Meerestechnik und Schifffahrt
Meerestechnik und Schifffahrt	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen
Bauen und Wohnen	Meerestechnik und Schifffahrt	Meerestechnik und Schifffahrt	Verteidigung und Sicherheit

Quelle: eigene Darstellung.

6.2 Veränderung der Rangfolge der Themenfelder im Zeitverlauf

Ausgangspunkt ist die in Kapitel 5 dargestellte Rangfolge der thematischen Schwerpunkte der in der vorliegenden Meta-Analyse untersuchten Technologieprognosen. Die folgende Tabelle 6-2 fasst die Ergebnisse der Einschätzungen zur Kennzahl Themen-Breite für die in Kapitel 4 analysierten Länder zusammen und stellt die daraus folgende Rangfolge der Themenfelder dar. Die Zeilen und Spalten sind jeweils nach der Häufigkeit der Themennennung sortiert, d.h. nach der Anzahl dunkelblauer Felder und bei gleicher Anzahl dunkelblauer Felder nach der Zahl hellblauer Felder. Mithin werden in den Prognosen häufig berücksichtigte Technologien weiter oben gelistet.

Tabelle 6-2: Ranking der Themenfelder 2023: Themenbreite der 2023 untersuchten Technologieprognosen und Schwerpunktsetzung nach abnehmender Wichtigkeit.

Ein dunkelblaues Feld steht dafür, dass das Themenfeld in mindestens einer Studie des Landes eingehend behandelt wird, ein hellblau gekennzeichnetes Feld kennzeichnet, dass das Themenfeld in keiner der Studien eingehend aber in mindestens einer Studie des Landes erwähnt, wenn auch nicht eingehend behandelt wird. Ein weißes Feld steht dafür, dass das Themenfeld in keiner der Studien aus dem Land erwähnt wird, bzw. nur eine marginale Rolle spielt. Die Zeilen und Spalten sind jeweils nach der Häufigkeit der Themennennung sortiert, d.h. nach der Anzahl dunkelblauer Felder und bei gleicher Anzahl dunkelblauer Felder nach der Zahl hellblauer Felder. Mithin werden in den Prognosen häufig berücksichtigte Technologien weiter oben gelistet.

2023	EU	Japan	UK	Norwegen	Australien	Malaysia
Energie	Dark Blue	Dark Blue				
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Dark Blue	Dark Blue				
Digitalisierung	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue	Light Blue	Dark Blue
Biotechnologie	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue	Light Blue	Dark Blue
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Dark Blue	Dark Blue				
Mobilität und Verkehr	Dark Blue	Dark Blue				
Gesellschaft, Kultur und Bildung	Dark Blue	Dark Blue				
Arbeit und Wertschöpfung	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue
Bauen und Wohnen	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue
Basistechnologien der Digitalisierung	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	White	White	Dark Blue
Materialtechnik	Dark Blue	Dark Blue	Light Blue	White	Light Blue	White
Meerestechnik und Schifffahrt	Light Blue	Light Blue	Dark Blue	Dark Blue	White	White
Verteidigung und Sicherheit	Dark Blue	Dark Blue	White	Light Blue	White	White
Luft- und Raumfahrt	Dark Blue	Light Blue	Dark Blue	White	White	White

2023 – Schwerpunktsetzung nach abnehmender Wichtigkeit
Energie
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung
Digitalisierung
Biotechnologie
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima
Mobilität und Verkehr
Gesellschaft, Kultur und Bildung
Arbeit und Wertschöpfung
Bauen und Wohnen
Basistechnologien der Digitalisierung
Materialtechnik
Meerestechnik und Schifffahrt
Verteidigung und Sicherheit
Luft- und Raumfahrt

Quelle: eigene Darstellung.

Die nachfolgende Tabelle 6-3 stellt dar, wie sich die Themenschwerpunkte im Laufe der Zeit von 2004 bis 2023 verschoben haben. Je häufiger und intensiver ein Thema behandelt wurde, desto weiter oben erscheint es in der Themensäule. Die Spalten geben jeweils die Rangfolge der Themenfelder in den Vergleichsstudien 2004, 2006, 2010 und 2013 sowie aus der vorliegenden Studie 2023 wieder.

Tabelle 6-3: Zeitliche Verschiebung der Themenschwerpunkte in internationalen Technologieprognosen von 2004 bis 2023.

Je häufiger und intensiver ein Thema behandelt wurde, desto weiter oben erscheint es in der Themensäule.

Die Spalten geben jeweils die Rangfolge der Themenfelder in den Vergleichsstudien 2004, 2006, 2010 und 2013 sowie aus der vorliegenden Studie 2023 wieder.

Rang	2004	2006	2010	2013	2023
1	Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Energie	Energie	Energie
2	Basistechnologien der Digitalisierung	Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung
3	Materialtechnik	Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Digitalisierung
4	Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Digitalisierung	Basistechnologien der Digitalisierung	Biotechnologie
5	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Energie	Mobilität und Verkehr	Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima
6	Arbeit und Wertschöpfung	Arbeit und Wertschöpfung	Biotechnologie	Arbeit und Wertschöpfung	Mobilität und Verkehr
7	Energie	Basistechnologien der Digitalisierung	Verteidigung und Sicherheit	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Gesellschaft, Kultur und Bildung
8	Mobilität und Verkehr	Materialtechnik	Arbeit und Wertschöpfung	Materialtechnik	Arbeit und Wertschöpfung
9	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Mobilität und Verkehr	Bauen und Wohnen	Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen
10	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Materialtechnik	Mobilität und Verkehr	Basistechnologien der Digitalisierung
11	Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen	Basistechnologien der Digitalisierung	Meerestechnik und Schifffahrt	Materialtechnik
12	Meerestechnik und Schifffahrt	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen	Meerestechnik und Schifffahrt
13	Bauen und Wohnen	Meerestechnik und Schifffahrt	Meerestechnik und Schifffahrt	Verteidigung und Sicherheit	Verteidigung und Sicherheit
14					Luft- und Raumfahrt

Quelle: eigene Darstellung

Folgendes lässt sich aus diesem zeitlichen Vergleich ableiten und insbesondere aus der Betrachtung der Top5 – Themenfelder in den verschiedenen Jahren (s. Tabelle 6-3 und Tabelle 6-4):

- Das Themenfeld *Energie* führt in allen drei letzten Vergleichsstudien (2010, 2013 und 2023) die Liste Themenfelder nach abnehmender Häufigkeit und Intensität der Auseinandersetzung an.
- Die Themenfelder *Digitalisierung* und *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* sind die einzigen Themenfelder, die seit 2004 in allen Vergleichsstudien im Top 5 der meist und am intensivsten besprochenen Themenfelder erscheinen. Das Themenfeld *Gesundheit, Lifestyle, Ernährung* zeichnet dabei eine steigende Bedeutung von 2004 bis 2023 auf, während das Themenfeld *Digitalisierung* nach stetig abnehmender Bedeutung von 2004 bis 2013, eine gestiegene Aufmerksamkeit im Vergleich zur letzten Vergleichsstudie im Jahr 2023 auf.
- Neben diesen beiden Themenfeldern sind die Themenfelder *Energie* und *Biotechnologie* in mindestens 4 der 5 Vergleichsstudien im Top 5 der meist und am intensivsten besprochenen Themenfelder.

Tabelle 6-4: Top 5 der häufigsten und am intensivsten besprochenen Themenfelder in internationalen Technologieprognosen.

Diese Ergebnisse basieren auf den vom VDITZ durchgeführten Vergleichsstudien aus den Jahren 2004, 2006, 2010, 2013 und 2023.

Top 5 2004	Top 5 2006	Top 5 2010	Top 5 2013	Top 5 2023
Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Energie	Energie	Energie
Basistechnologien der Digitalisierung	Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung
Materialtechnik	Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Digitalisierung
Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Digitalisierung	Basistechnologien der Digitalisierung	Biotechnologie
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Energie	Mobilität und Verkehr	Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima

Quelle: eigene Darstellung.

Das Themenfeld *Meerestechnik und Schifffahrt* ist das einzige Themenfeld, das in jeder der durchgeführten Vergleichsstudien zu den 3 letzten, am seltensten besprochenen Themenfeldern gehörte (s. Tabelle 6-5). Den Themenfeldern *Luft- und Raumfahrt*, *Bauen und Wohnen* sowie *Verteidigung und Sicherheit* kommt ebenfalls in den analysierten Studien über den gesamten Betrachtungszeitraum eine eher geringe Bedeutung zu, tauchen sie doch in 4 von 5 Vergleichsstudien unter den „letzten 3“ Themenfeldern auf.

Tabelle 6-5: Bottom 3 der am seltensten und am wenigsten besprochenen Themenfelder in internationalen Technologieprognosen.

Diese Ergebnisse basieren auf den vom VDITZ durchgeführten Vergleichsstudien aus den Jahren 2004, 2006, 2010, 2013 und 2023.

Bottom 3 2004	Bottom 3 2006	Bottom 3 2010	Bottom 3 2013	Bottom 3 2023
Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen	Basistechnologien der Digitalisierung	Meerestechnik und Schifffahrt	Meerestechnik und Schifffahrt
Meerestechnik und Schifffahrt	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen	Verteidigung und Sicherheit
Bauen und Wohnen	Meerestechnik und Schifffahrt	Meerestechnik und Schifffahrt	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt

Die Analysen in diesem Kapitel geben einen Überblick über die wesentlichen Inhalte und Schwerpunkte bedeutender internationaler Technologieprognosen und bietet damit eine *qualitative* Einordnung der 14 betrachteten Themenfelder – immer bezogen auf die dezidiert betrachtete Studie eines Landes zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Zur Erinnerung: Die vorliegende Studie gibt *keine quantitative* Bewertung der Bedeutung von Technologiethematen, bzw. der forschungspolitischen Prioritäten eines Staates. Auch ist es nicht möglich, im Rahmen der vorliegenden Studie einen Vergleich der politisch-strategischen Wirkung von Technologieprognosen zu unternehmen.

Die miteinander verglichenen Technologieprognosen unterscheiden sich im Hinblick auf Zielsetzung, Detaillierungsgrad, berücksichtigte Themenfelder und abgedeckte sozioökonomische Aspekte ebenso wie hinsichtlich des Zeithorizontes.

Trotz der Unterschiedlichkeit der analysierten Studien und der Unterschiedlichkeit der jeweils darin verwendeten Begriffssysteme hat sich gezeigt, dass das hier verwendete Analyseraster, unter Berücksichtigung der im Jahr 2023 durchgeführten, moderaten Anpassung des Analyserasters, dem Gegenstand angemessen ist. Das heißt, die wesentlichen Aussagen der analysierten Studien lassen sich jeweils einem oder zwei der vierzehn Themenfelder des Analyserasters zuordnen.

6.3 Dekadenvergleich

Die nachfolgende Tabelle 6-6 stellt die zeitliche Veränderung der Themen in Technologieprognosen über fast eine Dekade dar. Sie zeigt die relative Veränderung der Bedeutung der Themen in der aktuell untersuchten Technologieprognose im Vergleich zu deren Bedeutung vor 10 Jahren (Vergleichsstudie 2013²⁷⁰).

Tabelle 6-6: Zeitliche Veränderung der Themen in Technologieprognosen.

Relative Veränderung der Bedeutung der verschiedenen Themen der aktuell untersuchten Technologieprognosen im Vergleich zu deren Bedeutung vor fast 10 Jahren.
 (++)+: Steigerung um mindestens 2 Plätze/1 Platz in der Reihenfolge, --/-: Abstieg um mindestens 2 Plätze/1 Platz in der Reihenfolge; o: keine Veränderung).

Themenfelder	Entwicklung der relativen Bedeutung 2013 → 2023
Energie	o
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	+
Digitalisierung	++
Biotechnologie	--
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	++
Mobilität und Verkehr	++
Gesellschaft, Kultur und Bildung	neu
Arbeit und Wertschöpfung	--
Bauen und Wohnen	++
Basistechnologien der Digitalisierung	--
Materialtechnik	--
Meerestechnik und Schifffahrt	-
Verteidigung und Sicherheit	o
Luft- und Raumfahrt	--

Quelle: eigene Darstellung.

Dabei wird deutlich, dass die vier Themenfelder *Digitalisierung*, *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima*, *Mobilität und Verkehr* sowie *Bauen und Wohnen* eine zunehmende Bedeutung über die letzte Dekade erfahren haben.

Das Themenfeld *Biotechnologie* wurde vor 10 Jahren häufiger/intensiver diskutiert als in den 2023 analysierten Technologieprognosen, wenn auch dieses Themenfeld weiterhin unter den Top 5 der Themenfelder 2023 ist.

²⁷⁰ Braun, A. et al. (2013).

Die Themenfelder *Arbeit und Wertschöpfung*, *Basistechnologien der Digitalisierung* und *Luft- und Raumfahrt* waren vor 10 Jahren häufiger/intensiverer Gegenstand der Untersuchung als es 2023 in den untersuchten Technologieprognosen der Fall war.

Vergleichsweise konstant blieb die Bedeutung der Themenfelder *Energie* und *Verteidigung* am jeweils oberen und unteren Ende der Reihenfolge.

6.4 Quantifizierung der zeitlichen Volatilität von Themenfeldern

In der obigen Tabelle 6-3 sind die Rangfolgen der Themenfelder aus den bisherigen fünf Metaanalysen nebeneinandergestellt. Damit sind alle Beobachtungen zusammengetragen, die mit der verwendeten Vorgehensweise zur Bestimmung von Themenpräferenzen und deren zeitliche Veränderungen bislang erhoben wurden. Zusätzlich zu der obigen qualitativen Diskussion wird in diesem Abschnitt die zeitliche Volatilität (bzw. Veränderlichkeit) der Rangpositionen der Themenfelder auch quantitativ betrachtet. Dazu wird in einem ersten Schritt eine mittlere Rangfolge der Themenfelder anhand des Medians der gegebenen, einzelnen Rangpositionen bestimmt, siehe Tabelle 6-7.

Tabelle 6-7: Daten zur zeitlichen Volatilität von Themenfeldern basierend auf der Metaanalyse internationaler Technologieprognosen aus den Jahren 2004 bis 2023.

In der Spalte „Rangpositionen“ sind die fünf Werte für den Rang eines gegebenen Themenfeldes aus Tabelle 6-3 in aufsteigender Sortierung aufgeführt. Der dritte Wert dieser Liste entspricht dem Median und ist in der nächsten Spalte explizit aufgeführt. Die Zeilen der Tabelle sind nach dem Wert des Medians sortiert. Bei gleichem Median von Themenfeldern erfolgt die Sortierung anhand des Mittelwerts der Rangpositionen aus der Spalte „Mittel“. In der Spalte „MAD“ sind die Werte für die mittlere absolute Abweichung vom Median aufgeführt („mean absolute deviation“), diese ist definiert als das arithmetische Mittel der absoluten Abweichungen vom Median.

Rang	Themenfeld	Rangpositionen	Median	Mittel	MAD
1	Energie	1,1,1,5,7	1	3,0	2,0
2	Digitalisierung	1,2,3,4,5	3	3,0	1,2
3	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	2,3,3,4,5	3	3,4	0,8
4	Biotechnologie	2,3,4,4,6	4	3,8	1,0
5	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	1,2,5,7,9	5	5,2	2,6
6	Arbeit und Wertschöpfung	6,6,6,7,8	6	6,6	0,6
7	Basistechnologien der Digitalisierung	2,4,7,9,11	7	6,6	2,8
8	Mobilität und Verkehr	5,6,8,9,10	8	7,6	1,6
9	Materialtechnik	3,8,8,10,10	8	7,8	1,8
10	Bauen und Wohnen	8,9,11,12,13	11	10,6	1,6
11	Luft- und Raumfahrt	9,10,11,12,13	11	11,0	1,2
12	Verteidigung und Sicherheit	7,10,12,12,13	12	10,8	1,6
13	Meerestechnik und Schifffahrt	11,11,12,13,13	12	12,0	0,8

Quelle: eigene Darstellung.

Tabelle 6-7 zeigt, dass über die betrachtete Zeit das Themenfeld *Energie* die höchste Aufmerksamkeit auf sich zieht, gefolgt von den Themenfeldern *Digitalisierung* sowie *Gesundheit, Lifestyle und Ernährung*. Diese Beobachtung stimmt gut mit der qualitativen Diskussion oben zu den Top-5-

Themenfeldern überein. Ähnliches gilt für die Last-3/Last-4-Themenfelder. Insofern kann festgehalten werden, dass die Betrachtung des Medians zu plausiblen Ergebnissen führt.

In der folgenden Tabelle 6-8 sind die Themenfelder nun nicht mehr nach ihrem Median sortiert, sondern nach der steigenden Größe der mittleren Abweichung vom Median (dem MAD-Wert).

Tabelle 6-8: Volatilität von Themenfeldern.

Themenfelder sortiert nach aufsteigendem Wert für die mittlere absolute Abweichung vom Median („MAD-Rang“). Zum Vergleich ist in der zweiten Spalte die mittlere Rangposition des jeweiligen Themenfeldes angegeben sowie der MAD-Wert in der Spalte ganz rechts. Bei gleichem MAD-Wert wird der MAD-Rang auch mehreren Themenfeldern zugeschrieben, die Sortierung der Zeilen erfolgt anhand der mittleren Rangposition des Themenfeldes über die Zeit.

MAD-Rang	Rang	Themenfeld	MAD
1	6	Arbeit und Wertschöpfung	0,6
2	3	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	0,8
2	13	Meerestechnik und Schifffahrt	0,8
4	4	Biotechnologie	1,0
5	2	Digitalisierung	1,2
5	11	Luft- und Raumfahrt	1,2
7	8	Mobilität und Verkehr	1,6
7	10	Bauen und Wohnen	1,6
7	12	Verteidigung und Sicherheit	1,6
10	9	Materialtechnik	1,8
11	1	Energie	2,0
12	5	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	2,6
13	7	Basistechnologien der Digitalisierung	2,8

Quelle: eigene Darstellung.

Zur Interpretation ist zu beachten: ein Themenfeld, das in allen Metaanalysen den gleichen Rang belegen würde, hätte einen MAD-Wert von Null, der also der größtmöglichen Stabilität entspricht. Umgekehrt hätte ein hypothetisches Themenfeld, das alternierend jeweils den höchsten und dann wieder den niedrigsten Rangplatz einnimmt, einen MAD-Wert von 4,8, was also die größtmögliche Volatilität eines Themenfeldes bedeuten würde. Demnach ist die hohe Volatilität eines Themenfeldes mit hohen Schwankungen in der Rangposition verbunden, was auf eine stark schwankende Bedeutung des Themenfeldes in den untersuchten Technologieprognosen hinweist. Eine geringe Volatilität dagegen zeigt eine über die Zeit relativ stabile Bedeutung des Themenfeldes an, ungeachtet der Rangposition dieses Themenfeldes.

Die beiden Themenfelder *Arbeit und Wertschöpfung* (MAD-Rang 1) sowie *Gesundheit, Lifestyle und Ernährung* (MAD-Rang 2) zeichnen sich durch eine langfristige Konstanz aus. Gleichzeitig tauchen diese Themenfelder im Zeitlauf stets in der oberen Themenhälfte auf, das Themenfeld *Gesundheit, Lifestyle und Ernährung* gehört sogar seit 2004 durchgehend zu den Top-5 der Themenfelder. Dies entspricht einer konstant hohen Bedeutung, die diese beiden Themen in der allgemeinen Wahrnehmung - auch außerhalb von Technologieprognosen und dem Feld der Ful-Politik.

Am anderen Ende der Skala findet sich das Themenfeld *Basistechnologien der Digitalisierung*, bei dem festzustellen ist, dass das Interesse am stärksten schwankt. Dies kann so interpretiert werden, dass die „tech-push“-Perspektive einer starken Themenkonjunktur unterliegt. Dazu passt auch die

Beobachtung, dass das Themenfeld *Materialtechnik* ebenfalls einen relativ hohen MAD-Wert aufweist. Zudem war in der ersten Vergleichsstudie aus dem Jahr 2002/4 die Konvergenz von Schlüsseltechnologien das zentrale Motiv, das sich (auch in den nachfolgenden Vergleichsstudien) nicht als längerfristig prägend für den technologischen Zukunftsdiskurs bestätigt hat.

Bemerkenswert ist zudem, dass das Themenfeld *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* die zweithöchste Volatilität aufweist. In der Vergleichsstudie von 2006 hatte dieses Themenfeld gegenüber 2004 einen großen Sprung gemacht (von Rang 9 auf Rang 1) und war das zentrale Leitthema. In den nachfolgenden Vergleichsstudien war dann festzustellen, dass die Bedeutung zwar weiterhin hoch blieb, sich aber stärker verteilt hat als Querschnittsaspekt in der Form von Nachhaltigkeitsfragen weiterer Themenfelder wie *Mobilität und Verkehr* oder *Bauen und Wohnen* und insbesondere *Energie*. Demgegenüber steht die Entwicklung des Themenfeldes *Energie* mit der dritthöchsten Volatilität, das seit der Vergleichsstudie 2010 durchgehend Rang 1 belegt. Dies könnte darauf hinweisen, dass sich in die nachhaltige Energieversorgung als das zentrale Nachhaltigkeitsproblem etabliert hat und sich die konstant hohe Bedeutung von *Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima* nun darin zeigt, dass in den letzten drei Vergleichsstudien das Themenfeld *Energie* durchgehend Rang 1 belegt hat.

7 Annex: Themenfelder aus den Vergleichsstudien 2004, 2006, 2010, 2013 und Übertragung in das neue Analyseraster

Der in Kapitel 6 durchgeführte zeitliche Vergleich der Schwerpunktsetzung bei den Technologieprognosen seit der Vergleichsstudie 2004 berücksichtigt die Ergebnisse voriger Vergleichsstudien. Zu beachten ist, dass das verwendete Raster für die Analyse ein leicht anderes war als das in dieser Studie, s. Unterkapitel 2.4.

Im Folgenden werden zuerst die Ergebnisse früherer Vergleichsstudien in Themenmatrizen präsentiert und die wichtigsten Analyseergebnisse zusammengefasst. Anschließend wird dargestellt, wie diese Ergebnisse in das neue Analyseraster übertragen wurden.

7.1 Vergleichsstudie von 2004

In der **Vergleichsstudie von 2004**²⁷¹ wurden 6 Technologieprognosen aus den USA (3 verschiedene), Japan, Großbritannien (UK) und den Niederlanden (NL) untersucht.²⁷²

In dieser Vergleichsstudie stellte sich die aufkommende Diskussion um die Konvergenz von Themenfeldern als das zentrale Motiv heraus. Es zeigte sich eine Schwerpunktsetzung auf vier große Technologiesegmente: Bio – Nano – Material – IuK, die trotz ihrer offensichtlichen Unterschiede in starker Wechselbeziehung zueinanderstanden. Dementsprechend nahm die Diskussion der zugehörigen Schlüsseltechnologien einen breiten Raum ein.

Tabelle 7-1 fasst die Ergebnisse der Analyse zusammen und stellt dar, wie intensiv die jeweiligen Studien verschiedene Themenfeldern besprechen. Dabei steht dunkelblau für eine eingehende, hellblau für eine weniger eingehende und weiß für eine marginale bis gar nicht stattfindende Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld. In den Themenmatrizen sind die Zeilen jeweils so sortiert, dass ein Themenfeld umso weiter oben erscheint, je mehr Technologieprognosen sich eingehend mit diesem Thema befassen.

²⁷¹ Seiler, P. et al. (2004).

²⁷² Untersuchte Technologieprognosen, s. auch Seiler, P. et al. (2004): • USA: New Forces At Work: Industry Views Critical Technologies. Steven W. Popper, Caroline S. Wagner, Eric V. Larson; RAND, 1998 („USA1“); The Global Technology Revolution. Bio/Nano/Materials Trends and their Synergies with Information Technology by 2015. RAND, 2001 („USA2“); Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. National Science Foundation, 2002 („USA3“); Japan: The Seventh Technology Foresight - Future Technology in Japan towards the Year 2030. NISTEP Report No. 71, Tokyo, 2001; Großbritannien: Studien des Foresight Programme im Zeitraum 1999-2002; Niederlande: Technology Radar (Ministry of Economic Affairs, 1998).

Tabelle 7-1: Themenmatrix aus dem 2004 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.

Dunkelblau steht für eine eingehende, hellblau für eine weniger eingehende und weiß für eine marginale bis gar nicht stattfindende Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld. Die Zeilen sind jeweils so sortiert, dass ein Themenfeld umso weiter oben erscheint, je mehr Technologieprognosen sich eingehend mit diesem Thema befassen.

2004	Japan	UK	USA1	USA2	NL	USA3
IuK						
Elektronik						
Materialtechnik						
Biotech/Life Sciences						
Gesundheit & Ernährung						
Produktions/Prozesstechnik						
Energie						
Nano/Mikrosystemtechnik						
Transport/Verkehr/Logistik						
Nachhaltigkeit/Umwelt						
Verteidigung/Sicherheit						
Luft- und Raumfahrt						
Meerestechnik/Schifffahrt						
Dienstleistungen						
Optische Technologien						
Bauen und Wohnen						

Quelle: eigene Darstellung.

7.2 Vergleichsstudie von 2006

In der **Vergleichsstudie von 2006**²⁷³ wurden Technologieprognosen aus 8 Ländern untersucht, und zwar aus China, Dänemark, Indien, Kanada, Südafrika, Südkorea, Großbritannien sowie den USA.²⁷⁴

Dabei erwies sich Nachhaltigkeit und Umwelt als das Leitthema dieser Vergleichsstudie, denn nahezu alle betrachteten Studien setzten sich mit dem Themenfeld auseinander oder es fanden sich Querbezüge aus anderen Themenfeldern (beispielsweise im Bereich der Energie oder der Produktions- und Prozesstechnik).²⁷⁵

Tabelle 7-2 fasst die Ergebnisse der Analyse zusammen und stellt dar, wie intensiv die jeweiligen Studien verschiedene Themenfeldern besprechen. Dabei steht dunkelblau für eine eingehende, hellblau für eine weniger eingehende und weiß für eine marginale bis gar nicht stattfindende Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld.

²⁷³ Holtmannspötter, D. et al. (2006).

²⁷⁴ Untersuchte Studien, s. auch Holtmannspötter, D. et al. (2006): China: China's Report on Technology Foresight (2003 - 2004); Dänemark: Teknologisk Fremsyn – Technology Foresight in the Danish Ministry of Science, Technology and Innovation (2003 – 2006); Indien: Zukunftsgerichtete Studien des TIFAC (2003 - 2004); Kanada: Science and Technology Foresight Pilot Project (STFPP) (2003); Südafrika: Benchmarking of Technology Trends and Technology Developments (2004); Südkorea: The 3rd Korean Foresight Exercise – The Future Perspectives and Technology Foresight of Korea – Challenges and Opportunities (2004); UK: The UK Foresight Programme (Studien aus dem Zeitraum 2003-2006); USA: Zukunftsgerichtete Studien des NRC (2005).

²⁷⁵ Holtmannspötter, D. et al. (2006).

Tabelle 7-2: Themenmatrix aus dem 2006 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.

Dunkelblau steht für eine eingehende, hellblau für eine weniger eingehende und weiß für eine marginale bis gar nicht stattfindende Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld. Die Zeilen sind jeweils so sortiert, dass ein Themenfeld umso weiter oben erscheint, je mehr Technologieprognosen sich eingehend mit diesem Thema befassen.

2006	USA	Süd-afrika	Kanada	China	Däne-mark	Süd-korea	Indien	UK
Nachhaltigkeit/Umwelt								
IuK								
Biotech/Life Sciences								
Gesundheit/Ernährung								
Energie								
Produktions/Prozesstechnik								
Materialtechnik								
Nano/Mikrosystemtechnik								
Transport/Verkehr/Logistik								
Luft- und Raumfahrt								
Bauen und Wohnen								
Verteidigung/Sicherheit								
Elektronik								
Optische Technologien								
Dienstleistungen								
Meerestechnik/Schifffahrt								

Quelle: eigene Darstellung.

7.3 Vergleichsstudie 2010

In der **Vergleichsstudie 2010**²⁷⁶ wurden Technologieprognosen aus den 6 Ländern Frankreich, Indien, Japan, Spanien, Großbritannien und den USA analysiert.²⁷⁷

Der Fokus dieser Vergleichsstudie lag auf dem Themengebiet Energie. Dabei wurden eher anwendungsbezogene Themenfelder priorisiert, während Basistechnologien häufiger im Kontext ihrer Anwendungen diskutiert wurden und weniger isoliert betrachtet wurden. In Bezug auf die thematische Breite der einzelnen Technologieprognosen wurde festgestellt, dass Länder mit weniger Erfahrung in der Erstellung von Technologieprognosen tendenziell umfassendere Studien durchführten.²⁷⁸

Tabelle 7-3 fasst die Ergebnisse der Analyse zusammen und stellt dar, wie intensiv die jeweiligen Studien verschiedenen Themenfeldern besprechen. Dabei steht dunkelblau für eine intensive, hellblau für eine weniger intensive und weiß für eine marginale Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld.

²⁷⁶ Holtmannspätter, D. et al. (2010).

²⁷⁷ Untersuchte Studien, s. auch Holtmannspätter, D. et al. (2010): • Frankreich: „France 2025“ (2009); • Indien: Zukunftgerichtete Studien des TIFAC (2006-2009); Japan: „The Eight Technology Foresight - Future Technology in Japan towards the Year 2035“ (Engl. Fassung 2005); Spanien: „Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT) – Ejercicio de Prospectiva a 2020“ (2008); UK: The UK Foresight Programme (seit 2006); USA: Zukunftgerichtete Studien des NRC (2007-2009).

²⁷⁸ Holtmannspätter, D. et al. (2010).

Tabelle 7-3: Themenmatrix aus dem 2010 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.

Dunkelblau steht für eine eingehende, hellblau für eine weniger eingehende und weiß für eine marginale bis gar nicht stattfindende Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld. Die Zeilen sind jeweils so sortiert, dass ein Themenfeld umso weiter oben erscheint, je mehr Technologieprognosen sich eingehend mit diesem Thema befassen.

2010	USA	Japan	Spanien	Frankreich	UK	Indien
Energie						
Nachhaltigkeit/Umwelt						
Gesundheit/Ernährung						
LuK						
Transport/Verkehr/Logistik						
Biotechnologie/Life Sciences						
Verteidigung/Sicherheit						
Bauen und Wohnen						
Produktions-/Prozesstechnik						
Materialtechnik						
Nano-/Mikrosystemtechnik						
Luft- und Raumfahrt						
Meerestechnik/Schifffahrt						
Optische Technologien						
Dienstleistungen						
Elektronik						

Quelle: eigene Darstellung.

7.4 Vergleichsstudie von 2013

In der **Vergleichsstudie von 2013**²⁷⁹ wurden Technologieprognosen aus den 5 Ländern China, Frankreich, Japan, UK, USA sowie aus der EU untersucht:²⁸⁰

Das deutlichste Interesse bestand an den Themen Energie, Biotechnologie und Life Sciences, Gesundheit und Ernährung, Nano- und Mikrosystemtechnologie. Diese Themenfelder werden in der Themenmatrix gleichwertig (jeweils fünf dunkelblaue, ein hellblaues Feld) dargestellt. Fast alle untersuchten Technologieprognosen befassten sich mit den Themenbereichen LuK; Produktions- und Prozesstechnik, Materialtechnik, sowie mit dem Bereich Nachhaltigkeit und Umwelt. Auch das Thema Elektronik erlebte im 2013-Vergleich eine *Renaissance*.

Tabelle 7-4 fasst die Ergebnisse der Analyse zusammen und stellt dar, wie intensiv die jeweiligen Studien verschiedene Themenfeldern besprechen. Dabei steht dunkelblau für eine intensive, hellblau für eine weniger intensive und weiß für eine marginale Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld.

²⁷⁹ Braun, A. et al. (2013).

²⁸⁰ Untersuchte Studien, s. auch Braun, A. et al. (2013): China: Wissenschaft & Technologie in China: Roadmap in das Jahr 2050, Chinesische Akademie der Wissenschaften, 2010-2012; Frankreich: Technologies Clés 2015, 2011; Japan: 9. Japanische Wissenschafts- und Technikprognose, NISTEP, 2010; • UK: Technology and Innovation Futures (refresh von 2010), Foresight Horizon Scanning Centre, 2012; USA: Berichte des „President's Council of Advisors on Science and Technology“, 2010-2012; EU: Key Enabling Technologies (KET) – Schlüsseltechnologien, Europäische Kommission HLEG, 2011.

Tabelle 7-4: Themenmatrix aus dem 2013 durchgeführten internationalen Vergleich von Technologieprognosen.²⁸¹

Dunkelblau steht für eine eingehende, hellblau für eine weniger eingehende und weiß für eine marginale bis gar nicht stattfindende Auseinandersetzung der jeweiligen Studie mit dem Themenfeld. Die Zeilen sind jeweils so sortiert, dass ein Themenfeld umso weiter oben erscheint, je mehr Technologieprognosen sich eingehend mit diesem Thema befassen.

2013	Frankreich	China	UK	Japan	EU	USA
Energie						
Biotechnologie/Life Sciences						
Gesundheit/Ernährung						
Nano/Mikrosystemtechnik						
IuK						
Produktions- und Prozesstechnik						
Nachhaltigkeit und Umwelt						
Materialtechnik						
Luft- und Raumfahrt						
Transport und Verkehr, Logistik						
Elektronik						
Optische Technologien						
Meerestechnik und Schifffahrt						
Bauen und Wohnen						
Verteidigung und Sicherheit						
Dienstleistungen						

Quelle: eigene Darstellung.

²⁸¹ Die Reihenfolge der Themenfelder im unteren Bereich der Tabelle unterscheidet sich von der in Braun, A. et al. (2013) dargestellten Reihenfolge, da dort die Häufigkeit der Auseinandersetzung mit einem bestimmten Themenfeld in den untersuchten Technologieprognosen – ungeachtet der Tiefe dieser Auseinandersetzung – ein wichtiges Kriterium darstellte. In der vorliegenden Studie wird aber eine Kombination aus Häufigkeit und Tiefe der Auseinandersetzung mit den Themenfeldern zum Maßstab der Analyse gelegt, so wie in Kapitel 5 dargestellt.

7.5 Übertragung der Ergebnisse früherer Vergleichsstudien in das Analyseraster 2023

Um einen zeitlichen Vergleich der Schwerpunktsetzung bei den Technologieprognosen seit der Vergleichsstudie 2004 zu ermöglichen, wurden die Ergebnisse der vorigen Vergleichsstudien in das neue Analyseraster von 2023 übertragen (s. auch Unterkapitel 2.4).

Die neu eingeführten Themen-Kategorien „Arbeit und Wertschöpfung“ und „Basistechnologien der Digitalisierung“ müssen entsprechend an die Ergebnisse der früheren Analysen angepasst werden.

Exemplarisch wird in Tabelle 7-5 diese Korrespondenz am Beispiel der Zusammenlegung für die 2010 Vergleichsstudie der früheren Themenfelder „Produktions-/Prozesstechnik“ und „Dienstleistungen“ zu dem neuen Themenfeld „Arbeit und Wertschöpfung“ verdeutlicht.

Tabelle 7-5: Zusammenführung der Themenfelder *Produktions-/Prozesstechnik* und *Dienstleistungen*.

Übertragung der Ergebnisse der 2010 durchgeführten Analyse in das Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung* des neuen Analyserasters.

2010	USA	Japan	Spanien	Frankreich	UK	Indien
Produktions-/Prozesstechnik						
Dienstleistungen						
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Arbeit und Wertschöpfung						

Quelle: eigene Darstellung.

Beim Themenfeld *Arbeit und Wertschöpfung* steht somit dunkelblau/hellblau für eine intensive/weniger intensive Auseinandersetzung der jeweiligen Studien mit dem Themenfeld „Produktions-/Prozesstechnik“ oder mit dem Themenfeld „Dienstleistungen“ oder mit beiden dieser Themenfelder. Weiß bleibt das Themenfeld „Arbeit und Wertschöpfung“, wenn die jeweiligen Studien sich sowohl dem einen als auch dem anderen der „alten“ Themenfelder nur marginal gewidmet haben.

Daraus ergeben sich geringfügige Veränderungen in der Reihenfolge der am intensivsten adressierten Themenfelder. Tabelle 7-6 verdeutlicht oben, mit dem alten, bis 2013 genutzten Raster, und unten, mit dem neuen, Analyseraster: Je häufiger und intensiver ein Thema behandelt wurde, desto weiter oben erscheint es in der Themensäule.

Tabelle 7-6: Übertragung der Ergebnisse der Vergleichsstudien 2004 bis 2013 in das Analyseraster 2023

Themenfelder geordnet nach abnehmender Schwerpunktsetzung: Je häufiger und intensiver ein Thema behandelt wurde, desto weiter oben erscheint es in der Themensäule.

(oben: mit dem alten, bis 2013 genutzten Raster, unten: mit dem neuen, in der vorliegenden Metaanalyse genutzten Raster).

2004	2006	2010	2013
luK	Nachhaltigkeit und Umwelt	Energie	Energie
Elektronik	I&K	Nachhaltigkeit und Umwelt	Biotechnologien/Life Sciences
Materialtechnik	Biotechnologie/Life Sciences	Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung	Gesundheit/Ernährung
Biotech/LifeSciences	Gesundheit, Medizintechnik, Ernährung	I&K	Nano/Mikrosystem-technologie
Gesundheit & Ernährung	Energie	Transport und Verkehr, Logistik	luK
Produktions/Prozesstechnik	Produktions- und Prozesstechnik	Biotechnologie/Life Sciences	Produktions- und Prozess-technik
Energie	Materialtechnik	Verteidigung und Sicherheit	Nachhaltigkeit und Umwelt
Nano/Mikrosystemtechnik	Nano- und Mikrosystem-technologie	Bauen und Wohnen	Materialtechnik
Transport/Verkehr/Logistik	Transport und Verkehr, Logistik	Produktions- und Prozesstechnik	Luft- und Raumfahrt
Nachhaltigkeit/Umwelt	Luft- und Raumfahrt	Materialtechnik	Transport und Verkehr, Logistik
Verteidigung/Sicherheit	Bauen und Wohnen	Nano- und Mikrosystem-technologie	Elektronik
Luft- und Raumfahrt	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Optische Technologien
Meerestechnik/Schifffahrt	Elektronik	Meerestechnik und Schifffahrt	Meerestechnik und Schifffahrt
Dienstleistungen	Optische Technologien	Optische Technologien	Bauen und Wohnen
Optische Technologien	Dienstleistungen	Dienstleistungen	Verteidigung und Sicherheit
Bauen und Wohnen	Meerestechnik und Schifffahrt	Elektronik	Dienstleistungen

2004 mit 2023 Raster	2006 mit 2023 Raster	2010 mit 2023 Raster	2013 mit 2023 Raster
Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Energie	Energie
Basistechnologien der Digitalisierung	Digitalisierung	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Biotechnologie
Materialtechnik	Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung
Biotechnologie	Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Digitalisierung	Basistechnologien der Digitalisierung
Gesundheit, Lifestyle, Ernährung	Energie	Mobilität und Verkehr	Digitalisierung
Arbeit und Wertschöpfung	Arbeit und Wertschöpfung	Biotechnologie	Arbeit und Wertschöpfung
Energie	Basistechnologien der Digitalisierung	Verteidigung und Sicherheit	Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima
Mobilität und Verkehr	Materialtechnik	Arbeit und Wertschöpfung	Materialtechnik
Nachhaltigkeit, Umwelt und Klima	Mobilität und Verkehr	Bauen und Wohnen	Luft- und Raumfahrt
Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Materialtechnik	Mobilität und Verkehr
Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen	Basistechnologien der Digitalisierung	Meerestechnik und Schifffahrt
Meerestechnik und Schifffahrt	Verteidigung und Sicherheit	Luft- und Raumfahrt	Bauen und Wohnen
Bauen und Wohnen	Meerestechnik und Schifffahrt	Meerestechnik und Schifffahrt	Verteidigung und Sicherheit

Gesellschaft, Kultur und Bildung			
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

Quelle: eigene Darstellung.

Erwartungsgemäß erscheint für jede der früheren Vergleichsstudien das Themenfeld *Gesellschaft, Kultur und Bildung* an unterster Stelle, da dieses Themenfeld neu ist und keine Entsprechung im alten Analyseraster hatte. Insofern können auf Basis dieser Daten keine zeitlich vergleichenden Aussagen zu diesem Themenfeld getroffen werden.

Literaturverzeichnis

Im Rahmen der vorliegenden Meta-Analyse (s. Kapitel 4 und 5) diskutierte Technologieprognosen:

- **UK:** Folgende Berichte aus dem *UK Foresight*-Prozess:
 - *Genomics Beyond Health (2022)*, <https://www.gov.uk/government/publications/genomics-beyond-health>, abgerufen am 04.12.2024.
 - *The future of citizen data systems (2020)*, <https://www.gov.uk/government/publications/the-future-of-citizen-data-systems>, abgerufen am 04.12.2024.
 - *Future of Mobility – A time of unprecedented change in the transport system (2019)*, <https://www.gov.uk/government/publications/future-of-mobility>, abgerufen am 04.12.2024.
 - *Foresight Future of the Sea (2018)*, <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-the-sea>, abgerufen am 04.12.2024.
 - *Future of Skills and Lifelong Learning (2017)*, <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-skills-and-lifelong-learning>, abgerufen am 04.12.2024.
 - *Future of an Ageing Population (2016)*, <https://www.gov.uk/government/publications/future-of-an-ageing-population>, abgerufen am 04.12.2024.
 - *Future of Cities (2016)*, <https://www.gov.uk/government/collections/future-of-cities#project-reports>, abgerufen am 04.12.2024.
- **Norwegen:** *Tackling societal challenges and guiding the future of research and innovation in Norway (2021)*, <https://www.rand.org/randeurope/research/projects/2021/future-research-innovation-norway.html>, abgerufen am 04.12.2024.
- **Australien:** *Australian National Outlook 2019 (ANO 2019)*, <https://www.csiro.au/en/work-with-us/services/consultancy-strategic-advice-services/csiro-futures/innovation-business-growth/australian-national-outlook>, abgerufen am 04.12.2024.
- **Malaysia:** *Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology (ESET) Study (2017)*, https://issuu.com/asmpub/docs/eset_study_report, abgerufen am 04.12.2024.
- **Japan:** *The 11th S&T Foresight: S&T Foresight (2019)*, https://www.nistep.go.jp/en/?page_id=56, abgerufen am 04.12.2024.
- **EU:** *100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future (2019)*, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3e2e92d6-1647-11ea-8c1f-01aa75ed71a1>, abgerufen am 04.12.2024.

Weiterführende ausgewertete bzw. im Text referenzierte Literatur

Ahlqvist, T., Carlsen, H., Iversen, J., Kristiansen, E. (2005), „Nordic ICT Foresight: Futures of the ICT environments and applications on the Nordic level“, Summary Report, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:707120/FULLTEXT01.pdf>, abgerufen am 27.04.2023.

Arnold, E., Erik, R., Tofteng, M. (2019), „Norwegian industry-related R&I policy agencies, measures and beneficiaries“, Report number 12-2019 from Samfunnsøkonomisk analyse AS, <https://static1.squarespace.com/static/576280dd6b8f5b9b197512ef/t/5ce2a6de88a0fe0001e7c1cf/1558357731545/R12-2019+Norwegian+industry-related+R%26I+policy+agencies%2C+measures+and+beneficiaries.pdf>, abgerufen am 26.04.2023.

ASM Academy of Sciences Malaysia (2017a), „Envisioning Malaysia 2050: A Foresight Narrative; A strategic foresight initiative for Malaysia’s desired future“; ISBN 978-983-2915-36-2; <https://www.akademisains.gov.my/envisioning-malaysia-2050-a-foresight-narrative/> sowie https://issuu.com/asmpub/docs/envisioning_malaysia_2050_foresight, beide abgerufen am 04.12.2024.

ASM Academy of Sciences Malaysia (2017b), „Science & Technology Foresight Malaysia 2050 - Emerging Science, Engineering & Technology (ESET) Study“, ISBN 978-983-2915-35-5. <https://www.akademisains.gov.my/asm-publication/eset-study-report/> sowie https://issuu.com/asmpub/docs/eset_study_report, beide abgerufen am 04.12.2024.

ASTEC (1996), Developing Long-term Strategies for Science and Technology in Australia: Outcomes of the Study Matching Science and Technology to Future Needs 2010, https://technacy.org/sites/default/files/downloads/AST_AFH%20ASTEC2010-Outcomes.pdf, abgerufen am 31.07.2023.

Australian Academy of Science (2023), A national science and research strategy for Australia, <https://www.science.org.au/curious/policy-features/national-science-and-research-strategy-australia>, abgerufen am 24.07.2023.

Australian Government (2015), National Innovation and Science Agenda, <https://www.industry.gov.au/publications/national-innovation-and-science-agenda-report>, abgerufen am 24.07.2023.

Australian Government Department of Industry, Science and Resources (2023), Science, research and innovation (SRI) budget tables, <https://www.industry.gov.au/publications/science-research-and-innovation-sri-budget-tables>, abgerufen am 24.07.2023.

Australian National Audit Office (2017), Design and Monitoring of the National Innovation and Science Agenda, ANAO Report No.10 2017–18, https://www.anao.gov.au/sites/default/files/ANAO_Report_2017-2018_10a.pdf, abgerufen am 24.07.2023.

Australian Research Council (2023), Engagement and Impact Assessment, <https://www.arc.gov.au/evaluating-research/ei-assessment>, abgerufen am 24.07.2023.

BMBF (2022a), Vorausschau - Themenblätter Runde 1 bis 3, https://www.vorausschau.de/SharedDocs/Downloads/vorausschau/de/112_Themenbl%C3%A4tter.pdf?__blob=publicationFile&v=1, abgerufen am 19.06.2024.

BMBF (2022b), Zukunftsstrategie Forschung und Innovation – BMBF, <https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/zukunftsstrategie/zukunftsstrategie.html>, abgerufen am 19.06.2024.

Braun, A., Holtmannspötter, D., Korte, S., Rijkers-Defrasne, S., Zweck, A. (2013), „Internationale Technologieprognosen – Internationaler Vergleich 2013“, VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Zukünftige Technologien Nr. 97, ISSN 1436-5928, Düsseldorf. <https://www.vditz.de/service/publikationen/details/technologieprognosen-internationaler-vergleich-2013>, abgerufen am 04.12.2024.

Bruce et al. (2018), National Hydrogen Roadmap, https://research.csiro.au/hydrogenfsp/wp-content/uploads/sites/247/2018/08/18-00314_EN_NationalHydrogenRoadmap_ExecutiveSummary_WEB_180815.pdf, abgerufen am 24.07.2023.

CSIRO (2015), Australian National Outlook 2015: economic activity, resource use, environmental performance and living standards, 1970–2050, <https://publications.csiro.au/publications/publication/Plcsi:EP154887>, abgerufen am 26.07.2023.

CSIRO (2019a), Australian National Outlook 2019, <https://publications.csiro.au/publications/publication/Plcsi:EP193588>, abgerufen am 26.07.2023.

CSIRO (2019b), Australian National Outlook 2019 Technical report, <https://publications.csiro.au/rpr/pub?pid=csi:EP183813>, abgerufen am 26.07.2023.

CSIRO (2019c), Australian National Outlook 2019 Executive Summary, https://www.csiro.au/-/media/Showcases/ANO/ANO2_ExecutiveSummary_190613.pdf, abgerufen am 26.07.2023.

Conway, M., Stewart, C. (2004), Creating and Sustaining Social Foresight in Australia: A review of government foresight, Australian Foresight Institute Monograph Series 2004, Nr.8, [https://researchbank.swinburne.edu.au/file/a6fd835b-c117-422e-b8bb-e6c052ba2a00/1/PDF%20\(Published%20version\).pdf](https://researchbank.swinburne.edu.au/file/a6fd835b-c117-422e-b8bb-e6c052ba2a00/1/PDF%20(Published%20version).pdf), abgerufen am 25.07.2023.

Crehan, P., Elkins, S., Giesecke, S. (2009), The European Foresight Monitoring Network, Collection of EFMN briefs. Part 2, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e81c0074-ab18-4f57-a7f6-426c492e525f>, abgerufen am 31.07.2023.

Cunningham, P., Mitchell, J. (2016), „RIO Country Report 2015: United Kingdom“, EUR 27875 EN; doi:10.2791/240743.

Dannemand-Andersen, P., Borup, M. (2006), „Strategy processes and foresight in research councils and national research programmes“, Paper presented at “EU–US seminar: international Seville seminar on future-oriented technology analysis”, 28–29 September, Seville.

Deloitte Access Economics (2020), The importance of universities to Australia’s prosperity, Universities Australia, <https://www.universitiesaustralia.edu.au/publication/the-importance-of-universities-to-australias-prosperity/>, abgerufen am 24.07.2023.

EC (2002) Europäische Kommission (Hrsg.), “Future directions of innovation policy in Europe”, EUR 17055.

EC (2019) Europäische Kommission, DG Research and Innovation, Andreescu, L., Parkkinen, M., Kuusi, O. et al. (2019), „100 radical innovation breakthroughs for the future“, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/563770>, abgerufen am 02.05.2023.

EC (2022a), European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Hollanders, H., Es-Sadki, N., Khalilova, A., „European Innovation Scoreboard 2022“, Publications Office of the European Union, 2022, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/309907>, abgerufen am 15.06.2023.

EC (2022b), Europäische Kommission DG Research and Innovation (2022): Strategic Plan 2020-2024, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024_en#strategy-document, abgerufen am 27.10.2022.

EC (2022c), Europäische Kommission DG Research and Innovation, „Innovation Union Scoreboard 2022“, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/statistics/performance-indicators/european-innovation-scoreboard_en, abgerufen am 27.10.2022.

EC/OECD (2023a), „STIP Compass Norway Overview“, generated from <https://stip.oecd.org/stip/interactive-dashboards/countries/Norway> on 23 January 2023.

EC/OECD (2023b), „STIP Compass: International Database on Science, Technology and Innovation Policy (STIP)“, edition April 27, 2023, <https://stip.oecd.org>.

EC/OECD (2023c), „STIP Compass Australia Overview“, <https://stip.oecd.org/stip/interactive-dashboards/countries/Australia>, abgerufen am 24.07.2023.

Eerola, A., Jørgensen, B. H. (2002), „Technology foresight in the Nordic countries“, Risø National Laboratory, Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R No. 1362(EN): https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/7712606/ris_r_1362.pdfhttps://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/7712606/ris_r_1362.pdf, abgerufen am 27.04.2023.

GO-Science (2021), A brief guide to futures thinking and foresight. GO-Science Futures Guide https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1113574/A_Brief_Guide_to_Futures_Thinking_and_Foresight_-_2022.pdf, abgerufen am 07.03.2023.

Green, R. (2022), Australia's innovation future: an agenda to transform our economy, <https://thepolicymaker.jmi.org.au/australias-innovation-future-an-agenda-to-transform-our-economy/>, abgerufen am 24.07.2023.

Gunn, A., Mintrom, M. (2018), Measuring research impact in Australia, Australian Universities Review vol. 60, no. 1, <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1169172.pdf>, abgerufen am 25.07.2023.

Hatfield-Dodds, S., Schandl, H., Adams, P., Baynes, T., Brinsmead, T., Bryan, B., Chiew, F., Graham, P., Grundy, M., Harwood, T., McCallum, R., McCrear, R., McKellar, L., Newth, D., Nolan, M., Prosser, I., Wonhas, A. (2015), Australia is 'free to choose' economic growth and falling environmental pressures, Nature volume 527, S. 49–53, <https://www.nature.com/articles/nature16065>, abgerufen am 26.07.2023.

Holtmannspötter, D., Rijkers-Defrasne, S., Glauner, C., Korte, S., Zweck, A. (2006), „Aktuelle Technologieprognosen im internationalen Vergleich. Übersichtsstudie.“ VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Zukünftige Technologien Nr. 58, ISSN 1436-5928, Düsseldorf. <https://www.vditz.de/service/publikationen/details/aktuelle-technologieprognosen-im-internationalen-vergleich>, abgerufen am 04.12.2024.

Holtmannspötter, D., Rijkers-Defrasne, S., Ploetz, C., Thaller-Honold, S., Zweck, A. (2010), „Technologieprognosen – Internationaler Vergleich 2010“. VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Zukünftige Technologien Nr. 88, ISSN 1436-5928, Düsseldorf. <https://www.vditz.de/service/publikationen/details/technologieprognosen-internationaler-vergleich-2010>, abgerufen am 04.12.2024.

Industry Innovation and Science Australia (2021), Driving effective Government investment in innovation, science and research <https://www.industry.gov.au/publications/driving-effective-government-investment-innovation-science-and-research>, abgerufen am 24.07.2023.

Innovation and Science Australia (2017), Australia 2030: Prosperity through Innovation, <https://www.industry.gov.au/publications/australia-2030-prosperity-through-innovation>, abgerufen am 24.07.2023.

Jenssen, S. (2010), „Norwegian National Research Foresight: Case Study of an ICT Foresight Project“, European Foresight Platform (2010) EFP-Brief-No.-173, http://www.foresight-platform.eu/wp-content/uploads/2010/11/EFP-Brief-No.-173_Norwegian-National-Research-Foresight.pdf, abgerufen am 27.04.2023.

Kooperation International, Überblick zur Bildungs-, Forschungs- und Innovationslandschaft und -politik: Australien, <https://www.kooperation-international.de/laender/ozeanien/australien/zusammenfassung/ueberblick-zur-bildungs-forschungs-und-innovationslandschaft-und-politik/#c49239>, abgerufen am 24.07.2023.

Länderdaten, Kennziffern der Wirtschaft in Australien,
<https://www.laenderdaten.info/Australien/Australien/wirtschaft.php#:~:text=Weltweit%20lag%20das%20Bruttoinlandsprodukt%202021%20bei%20etwa%2010.301,der%20Welt%20und%20liegt%20derzeit%20auf%20Rang%2013>, abgerufen am 24.07.2023.

Larrue, P. (2021), „Mission-oriented innovation policy in Norway: Challenges, opportunities and future options“, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 104, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/2e7c30ff-en>, abgerufen am 04.12.2024.

Larrue, P., Santos, R. (2022), „Towards a new stage in Norway's science, technology and innovation system: Improving the long-term plan for research and higher education“, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 133, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/ce07b7c3-en>, abgerufen am 04.12.2024.

Linturi, R., Höyssä, M., Kuusi, O. et al. (2022), „Radical Technology Inquirer: a methodology for holistic, transparent and participatory technology foresight“, *Eur J Futures Res* 10, 18 (2022).
<https://doi.org/10.1186/s40309-022-00206-6>, abgerufen am 04.12.2024.

Mcgrath, K. (2020), DAAD-Bildungssystemanalyse Australien, Daten & Analysen zum Hochschul- und Wissenschaftsstandort 2020, <https://www.daad.de/app/bsa/pdf/long/14/current/>, abgerufen am 24.07.2023.

MEXT (2015), List of National Research and Development Agencies, 2015,
https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/giji/_icsFiles/afieldfile/2016/01/14/1365723_09_1.pdf, abgerufen am 30.01.2024.

Narayanan, S., Yew-Wah, L. (2018), „Innovation Policy in Malaysia“, Kapitel 5 in: Masahito Ambashi (Hrsg.), *Innovation Policy in ASEAN* (2018), Economic Research Institute for ASEAN and East Asia, <https://www.eria.org/publications/innovation-policy-in-asean/> bzw. https://www.eria.org/uploads/media/6.ERIA_Innovation_Policy_ASEAN_Chapter_5.pdf, abgerufen am 06.02.2024.

NISTEP (2019), Science and Technology Foresight Center, “The 11th S&T Foresight: S&T Foresight 2019, Discussion on Desirable Society 2040 (Workshop Report),” NISTEP RESEARCH MATERIAL, No.276, National Institute of Science and Technology Policy, Tokyo. DOI: <https://doi.org/10.15108/rm276>, abgerufen am 04.12.2024.

NISTEP (2020a), „Recent Trends and Challenges of Science and Technology Policy in Japan“, Vortrag, 2020, <https://www.nistep.go.jp/en/wp-content/uploads/202009-NISTEP-Overview.pdf>, abgerufen am 30.01.2024.

NISTEP (2020b), Science and Technology Foresight Center, “The 11th S&T Foresight: S&T Foresight 2019 - Delphi Survey -,” NISTEP RESEARCH MATERIAL, No.292, National Institute of Science and Technology Policy, Tokyo; DOI: <https://doi.org/10.15108/rm292>, abgerufen am 30.01.2024.

NISTEP (2020c), „Close-up Science and Technology Areas for the Future in 2050 - Extraction and Analysis through a Combination of AI-related Technologies and Expert Judges-“, Research Material No.290, June 2020, NISTEP DOI: <http://doi.org/10.15108/rm290>, abgerufen am 30.01.2024.

Norwegian Ministry of Education and Research (2019), „Long-Term Plan for Research and Higher Education 2019–2028“, <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-4-20182019/id2614131/?ch=1>, abgerufen am 26.04.2023.

Norwegian Ministry of Finance (2021), „Long-term Perspectives on the Norwegian Economy 2021“, <https://www.regjeringen.no/contentassets/91bdfca9231d45408e8107a703fee790/en-gb/pdfs/stm202020210014000engpdfs.pdf>, abgerufen am 27.04.2023.

Norwegian Ministry of Local Government and Modernisation (2021), „An innovative public sector Culture, leadership and competence“, Meld. St. 30 (2019–2020) Report to the Storting (white paper), <https://www.regjeringen.no/contentassets/14fce122212d46668253087e6301cec9/en-gb/pdfs/stm201920200030000engpdfs.pdf>, abgerufen am 27.04.2023.

OECD (2016), „Reviews of Innovation Policy: Malaysia 2016“, OECD Reviews of Innovation Policy, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264255340-en>, abgerufen am 06.02.2024.

OECD (2017), „Reviews of Innovation Policy: Norway“, OECD Reviews of Innovation Policy, OECD Publishing, Paris, https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-reviews-of-innovation-policy-norway-2017_9789264277960-en#page192, abgerufen am 26.04.2023.

OECD (2020), „Case study of Norway’s digital science and innovation policy and governance landscape“, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 89, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/20f80fa1-en>, abgerufen am 26.11.2024.

OECD (2023), STIP Compass Australia Overview, <https://stip.oecd.org/stip/interactive-dashboards/countries/Australia>, abgerufen am 24.07.2023.

Øverland, E. F. (2020), „Norway 2030 - Five scenarios on the future of the public sector in Norway“, <https://wfsf.org/wp-content/uploads/2020/04/Norway2030English.pdf>, abgerufen am 27.04.2023.

RAND / Research Council of Norway (2021), „Addressing societal challenges in Norway – Key trends, future scenarios, missions and structural measures“, <https://www.forskingsradet.no/siteassets/om-forskingsradet/foresight-report-summary.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

RAND / Research Council of Norway (2021a), „Addressing societal challenges in Norway – detailed methodology report“, https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA900/RRA966-1/RAND_RRA966-2.pdf, abgerufen am 09.10.2024.

RAND / Research Council of Norway (2021b), „Oceans“, <https://www.forskingsradet.no/siteassets/om-forskingsradet/foresight-report-oceans.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

RAND / Research Council of Norway (2021c), „Green Transition“, <https://www.forskingsradet.no/siteassets/om-forskingsradet/foresight-report-green-transition.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

RAND / Research Council of Norway (2021d), „Health and Welfare“, <https://www.forskingsradet.no/siteassets/om-forskingsradet/foresight-report-health-and-welfare.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

RAND / Research Council of Norway (2021e), „Technology and Digitalisation“, <https://www.forskingsradet.no/siteassets/om-forskingsradet/foresight-report-technology-and-digitalisation.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

RAND / Research Council of Norway (2021f), „Cohesion and Globalisation“, <https://www.forskingsradet.no/siteassets/om-forskingsradet/foresight-report-cohesion-and-globalisation.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

RAND / Research Council of Norway (2021g), „A summary of potential cross-cutting missions to address future societal challenges in Norway“, <https://www.forskingsradet.no/siteassets/om-forskingsradet/foresight-report-cross-cutting-missions.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

RAND / Research Council of Norway (2021h), „Structural measures to develop a resilient research and innovation environment in Norway“, <https://www.forskingsradet.no/siteassets/om-forskingsradet/foresight-report-structural-measures.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

Research Council of Norway (2020), „Empowering Ideas for a Better World: Strategy for the Research Council of Norway 2020–2024“, https://www.forskningsradet.no/contentassets/6ccb7b14c18a48ee974acd78fc64efba/strategi_2020-2024_en.pdf, abgerufen am 26.04.2023.

Research Council of Norway (2021), „A future-proof and inclusive research and innovation agenda“, Policy Brief, Issue 5, Jan. 2021, <https://www.forskningsradet.no/contentassets/5358f3a91d2046818ca271c3f9209cf3/policy-brief-121.pdf>, abgerufen am 27.04.2023.

RFTE Rat für Forschung und Entwicklung Wien (2021), Strategische Foresight-Prozesse: Übersicht und Handlungsoptionen, https://www.rat-fte.at/files/rat-fte-pdf/publikationen/2021/211115_EBP_Foresight_Schlussbericht_anFTE.pdf, abgerufen am 26.04.2023.

Rijkers-Defrasne, S., Braun, A., Holtmannspötter, D., Zweck, A. (2021), „Internationale Technologieprognosen und Zukunftsstudien in der Übersicht“, VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Zukünftige Technologien Nr. 107, ISSN 1436-5928, Düsseldorf. <https://www.vditz.de/service/publikationen/details/internationale-technologieprognosen-und-zukunftsstudien-in-der-uebersicht>, abgerufen am 04.12.2024.

Seiler, P., Holtmannspötter, D., Albertshausen, U. (2004), „Internationale Technologieprognosen im Vergleich. Übersichtsstudie“. VDI Technologiezentrum GmbH (Hrsg.), Zukünftige Technologien Nr. 52, ISSN 1436-5928, Düsseldorf. <https://www.vditz.de/service/publikationen/details/internationale-technologieprognosen-im-vergleich-uebersichtsstudie-2004>, abgerufen am 04.12.2024.

Slaughter, R. (2023), Lighting future days: The Swiburne Foresight Program, https://foresightinternational.com.au/wp-content/uploads/2023/02/Slaughter_Lighting_Future_Days_Compass_Feb_2023.pdf, abgerufen am 31.07.2023.

Technopolis (2019), „The Industrial Development Corporation of Norway (SIVA) - Norway’s current instruments and agencies supporting innovation“, <https://kudos.dfo.no/documents/12893/files/13018.pdf>, abgerufen am 31.07.2023.

UK BEIS (2018), Department for Business, Energy & Industrial Strategy, „UKRI Framework Document“, UKRI Framework Document, abgerufen am 31.01.2023.

UK BEIS (2020), UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, „UK Research and Development Roadmap“, <https://www.gov.uk/government/publications/uk-research-and-development-roadmap>, abgerufen am 30.01.2023.

UK BEIS (2021), UK Innovation Strategy: leading the future by creating it, <https://www.gov.uk/government/publications/uk-innovation-strategy-leading-the-future-by-creating-it/uk-innovation-strategy-leading-the-future-by-creating-it-accessible-webpage>, abgerufen am 30.01.2023.

UNESCO (2021), „Science Report: the race against time for smarter development“, ISBN:978-92-3-100450-6, https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000377433&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_07223302-8f4a-4e99-9997-d370ea8d1818%3F_%3D377433eng.pdf&locale=en&multi=true&ark=/ark:/48223/pf0000377433/PDF/377433eng.pdf#%5B%7B%22num%22%3A6861%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C-1%2C842%2C0%5D, abgerufen am: 26.04.2023.

Wipo (2022), „Global Innovation Index 2022 – What’s the future of innovation-driven growth?“, <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2022-en-main-report-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

Wipo (2023), „Global Innovation Index 2023 – Innovation in the face of uncertainty“, <https://www.wipo.int/documents/d/global-innovation-index/docs-en-wipo-pub-2000-2023-en-main-report-global-innovation-index-2023-16th-edition.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

Wipo (2023a), „Global Innovation Index 2023 – Zusammenfassung“, <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/de/wipo-pub-2000-2023-exec-de-global-innovation-index-2023.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

Wipo (2023b), „Australia ranking in the Global Innovation Index 2023“, <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2023/au.pdf>, abgerufen am 09.10.2024.

Zweck, A., Braun, A., Rijkers-Defrasne, S., Holtmannspötter, D., Abdel-Galil, A. (2023), „Übersicht internationaler Technologieprognosen und Zukunftsstudien“ in: Vorausschau und Technologieplanung, Dumitrescu, R., Hölzle, K. (Hrsg.) (2023), Tagungsband zum 17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung 14./15. September 2023, Band 413 der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, ISBN: 978-3-947647-32-3, Paderborn, 2023. <https://digital.ub.uni-paderborn.de/hs/download/pdf/7280681>, abgerufen am 04.12.2024.

VDI Technologiezentrum GmbH
VDI Research
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Telefon: +49 211 6214-536
E-Mail: foresight@vdi.de
www.vditz.de