

Ulrich Schmoch
Bernd Beckert
Thomas Reiß
Peter Neuhäusler
Oliver Rothengatter

Identifizierung und Bewertung von Zukunftstechnologien für Deutschland

Endbericht an die KfW

Fraunhofer ISI
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe

Karlsruhe, Dezember 2020

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	A
1 Einführung	1
2 Rahmenbedingungen für Zukunftstechnologien in Deutschland	3
2.1 Das deutsche Innovationsprofil.....	3
2.2 Die Diskussion über Technologiesouveränität	5
2.3 Die Situation nach Corona.....	7
3 Technologische Analysen	9
3.1 Die Auswahl der Technologien	9
3.2 Bewertung der Technologien mit Hilfe von Patenten, Publikationen und Marken	16
3.2.1 Auswertung von Patentindikatoren	16
3.2.1.1 Methodische Konzepte	16
3.2.1.2 Ergebnisse der Auswertung der Patentindikatoren	20
3.2.1.3 Die Beteiligung kleiner und mittlerer Unternehmen an Zukunftstechnologien	22
3.2.1.4 Zukunftstechnologien mit großer strategischer Bedeutung	24
3.2.2 Auswertung von Publikationsindikatoren	26
3.2.2.1 Methodische Konzepte	26
3.2.2.2 Ergebnisse der Auswertung von Publikationsindikatoren.....	28
3.2.3 Auswertung von Markenindikatoren.....	30
3.2.3.1 Methodische Konzepte	30
3.2.4 Auswertung der Gesamtindikatoren.....	34

4	Spezielle Patentanalysen zu einzelnen Technologien	36
4.1	Konvergenz in der Informationstechnik	36
4.1.1	Strukturen des Feldes Künstliche Intelligenz	39
4.2	Entwicklung der Robotik	44
4.3	Bedeutung der Informationstechnik für Zukunftstechnologien	47
5	Bewertung der Technologien nach wirtschaftlichem Impact	49
5.1	Das Bewertungsverfahren durch Marktstudien	49
5.1.1	Methodik der Bewertung	49
5.2	Das Bewertungsverfahren über Patentanmeldungen	51
5.2.1	Methodik der Bewertung	51
5.3	Gesamtergebnis der ökonomischen Bewertung	53
6	Wirtschaftlicher Impact und technologische Gesamtindikatoren	57
7	Wirtschaftspolitische Maßnahmen	61
8	Literatur	65
Anhang	69

Tabellen und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 2-1:	Bruttowertschöpfung wichtiger Wirtschaftszweige in Deutschland, 2017.....	5
Tabelle 3-1:	Zukunftstechnologien für die Analyse im Rahmen dieser Studie	9
Tabelle 3-2:	Spektrum der Ausprägung der Teilindikatoren zu Patenten für die Technologiefelder der Analyse und Zuordnung von Skalenwerten.....	19
Tabelle 3-3:	Rangfolge der Zukunftstechnologien nach Patentindikatoren in ihrer Relevanz für Deutschland.....	21
Tabelle 3-4:	Beteiligung von KMU an Zukunftstechnologien, 2015-2017	23
Tabelle 3-5:	Zukunftstechnologien mit großer strategischer Bedeutung nach Rangfolge der Patentindikatoren und deren Spezialisierungsindex (Hervorhebung in Fett- und Kursivschrift).....	25
Tabelle 3-6:	Spektrum der Ausprägung der Teilindikatoren zu Publikationen für die Technologiefelder der Analyse und Zuordnung von Skalenwerten	27
Tabelle 3-7:	Rangfolge der Zukunftstechnologien nach Publikationsindikatoren in ihrer Relevanz für Deutschland und Vergleich mit Patentindikatoren	28
Tabelle 3-8:	Spektrum der Ausprägung der Teilindikatoren zu Marken für die Technologiefelder der Analyse und Zuordnung von Skalenwerten.....	32
Tabelle 3-9:	Rangfolge der Zukunftstechnologien nach Markenindikatoren in ihrer Relevanz für Deutschland und Vergleich mit Patentindikatoren.....	34
Tabelle 3-10:	Rangfolge der Zukunftstechnologien nach den technologischen Gesamtindikatoren in ihrer Relevanz für Deutschland	35
Tabelle 4-1:	Vernetzung zwischen Zukunftstechnologien der Informationstechnik, 2014 und 2018	38
Tabelle 4-2:	Wichtige Unterklassen für die Einordnung von Patentanmeldungen zur Künstlichen Intelligenz, 2018.....	43

Tabelle 4-3:	Größte Anmelder in der Künstlichen Intelligenz, 2018.....	44
Tabelle 4-4:	Deutsche Anmelder von Roboterpatenten, 2018.....	47
Tabelle 4-5:	Anteil von Informationstechnik bei Patentanmeldungen zu Zukunftstechnologien, 2018.....	49
Tabelle 5-1:	Berechnung des aktuellen Marktwertes einer Technologie am Beispiel des Autonomen Fahrens	54
Tabelle 5-2:	Ranking der Zukunftstechnologien nach Marktwert für deutsche Unternehmen, 2020	55
Tabelle A-1:	Rangfolge der Zukunftstechnologien bei den technologischen Gesamtindikatoren bei der Berücksichtigung des KMU-Anteils bei Patenten.....	74
Tabelle A-2:	Umrechnungsfaktoren für die Marktwerte, 2020	82
Abbildung 1-1:	Arbeitsablauf zur Analyse von Zukunftstechnologien	1
Abbildung 2-1:	Spezialisierungsprofil Deutschlands bei transnationalen Patenten, 2018.....	4
Abbildung 4-1:	Netzwerk der Zukunftstechnologien in der Informationstechnik, 2018.....	40
Abbildung 4-2:	Zahl der Transnationalen Patentanmeldungen zur Künstlichen Intelligenz	42
Abbildung 4-3:	Zahl der Transnationalen Patentanmeldungen für wichtige Länder, 2018	42
Abbildung 4-4:	Transnationale Anmeldungen zu Robotern	46
Abbildung 4-5:	Herkunftsländer von Anmeldungen zu Robotern, 2018 ...	47
Abbildung 5-1:	Verteilung des Wertes bei deutschen Unternehmen für Zukunftstechnologien, 2020	57
Abbildung 6-1:	Ranking der Technologien nach wirtschaftlichem Impact und nach technologischen Gesamtindikatoren	61

Zusammenfassung

Ausgangssituation

Das Engagement in Zukunftstechnologien ist wichtig für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung, um im internationalen Wettbewerb zu bestehen. Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Identifikation von Zukunftstechnologien und ihrer Bedeutung für Deutschland. Wesentliches Kriterium für die Auswahl war, dass die Technologien schon mittelfristig eine hohe Relevanz am Markt erreichen, womit Technologien angesprochen sind, die schon aktuell kommerziell genutzt werden und ein deutliches Wachstumspotenzial haben.

Eine wesentliche Rahmenbedingung für die Einschätzung der Bedeutung für Deutschland ist die seit Jahren stabile Orientierung deutscher Unternehmen auf Kraftfahrzeuge, Maschinenbau, elektrische Ausrüstungen und Chemie, wogegen Mikroelektronik, Informationstechnik und Biotechnologie nicht zu den Schwerpunkten gehören. Durch diese langfristige Spezialisierung auf wenige Bereiche, oft als Pfadabhängigkeit bezeichnet, haben deutsche Unternehmen dauerhaft große wirtschaftliche Erfolge erzielt. Vor diesem Hintergrund können Zukunftstechnologien aus diesen Spezialisierungsbereichen leicht aufgegriffen werden, während solche aus anderen Bereichen mit einem größeren Aufwand verbunden sind.

Vorgehensweise

Zur Untersuchung der Zukunftstechnologien und ihrer Bedeutung für Deutschland wurde der in Abbildung Z-1 skizzierte Arbeitsablauf verfolgt.

Abbildung Z-1: Arbeitsablauf zur Analyse von Zukunftstechnologien



Zur Identifikation von Zukunftstechnologien wurden verschiedene Zukunftsstudien aus dem nationalen und internationalen Raum, Technologien, die im Kontext nationaler und internationaler gesellschaftlicher Herausforderungen diskutiert werden, sowie Fraunhofer-interne und externe Experten herangezogen. Auf dieser Basis wurde eine Liste von 32 Technologien zusammengestellt, die sich auf die Bereiche Informationstechnik, Produktionstechnik, Werkstoffe, Gesundheit, Verkehr, Umwelt/Klima und Energie beziehen und somit ein breites Technologiespektrum abdecken (siehe Tabelle 3-1 auf Seite 99).

Für diese Technologien wurden Recherchestrategien für Patente, Publikationen und Marken entwickelt. Auf dieser Basis konnte für jede Technologie ein Satz von Indikatoren zur technologischen Position Deutschlands ermittelt werden. Diese Indikatoren wurden in einen zusammengesetzten Indikator (Composite Indicator) überführt, mit dessen Hilfe ein Ranking durchgeführt wurde.

Zusätzlich wurden die folgenden Vertiefungsthemen analysiert:

- Konvergenz in der Informationstechnik
- Strukturen des Feldes Künstliche Intelligenz
- Entwicklung in der Robotik und
- Bedeutung der Informationstechnik für Zukunftstechnologien

Die Bewertung der wirtschaftlichen Relevanz einer Technologie erweist sich als schwierig, weil es keine amtlichen Statistiken zum ökonomischen Wert von Technologien gibt. Auch eine Ableitung aus Produktstatistiken (Außenhandel) oder Daten zu Wirtschaftssektoren ist nicht möglich, weil diese zu grob klassifiziert und zu veraltet sind. Deshalb wurden zwei andere Ansätze zur Bewertung des ökonomischen Impacts gewählt. Zum einen wurden Marktstudien ausgewertet, die die Technologien direkt betreffen oder die vermittelt über Patentanalysen in die Technologien dieser Studie überführbar sind. Auf diese Weise konnten zu allen Technologien Marktstudien ermittelt werden.

Als zweiter Ansatz wurde der Marktwert aus Patentanalysen abgeleitet. Dieses ist möglich, weil in der Patentdatenbank des Fraunhofer-ISI (einer Version von PATSTAT) neben den üblichen Patentklassifikationen auch eine Zuordnung der Patentanmeldungen zu den Wirtschaftszweigklassifikationen der Anmelder realisierbar ist. Dadurch kann ein Bezug zur amtlichen Statistik der Wirtschaftszweige hergestellt werden. Bei dem gewählten Verfahren kann für einen großen Teil der Technologien ein Wert ermittelt werden, der in der Größenordnung der Ergebnisse aus den Marktstudien liegt. Durch den

Vergleich der verschiedenen Marktstudien und der Patentanalysen war es möglich, zu allen Technologien realistische Marktwerte zu bestimmen.

Auf der Basis der Marktwerte ergibt sich eine andere Rangfolge der Zukunftstechnologien als bei der Bewertung über Technologieindikatoren. Aufschlussreich ist ein Vergleich beider Listen. Damit kann abgeschätzt werden, ob der angenommene Marktwert aufgrund der technologischen Kompetenz Deutschlands realistisch erreicht werden kann.

Ergänzend wurden Wirtschaftsverbände befragt. Diese sehen in der Digitalisierung ein zentrales Ziel ihres zukünftigen Engagements. Weitere zentrale Themen sind Nachhaltigkeit, Ressourcen- und Energieeinsparung.

In der Gesamtschau ergeben sich im Wesentlichen vier Bereiche von Zukunftstechnologien, die für Deutschland relevant sind. Dies sind Technologien im Bereich der Kraftfahrzeugtechnik, der Informationstechnik, von Ressourcen/Umwelt/Klima sowie der Produktionstechnik. Die Technologien zur **Kraftfahrzeugtechnik** haben ein großes Marktvolumen und knüpfen an die hohen deutschen Kompetenzen in diesem Bereich an. Allerdings ist eine konsequente Orientierung auf Elektromobilität und die zugrundeliegenden Technologien erforderlich.

In der **Informationstechnik** liegt Deutschland im internationalen Vergleich deutlich zurück. Ein stärkeres Engagement ist nötig, da die Informationstechnik ein zentrales Element in den deutschen Wirtschaftsschwerpunkten Kraftfahrzeuge, Maschinenbau, Elektrische Ausrüstungen und Chemie geworden ist. Zentrale Zukunftstechnologien wie 5G, Internet der Dinge, Cybersecurity oder Künstliche Intelligenz sind wesentliche Elemente bei der neuen Automatisierung der Produktionstechnik, die unter dem Stichwort Industrie 4.0 läuft. Sie können daher nicht im Sinne der traditionellen internationalen Arbeitsteilung ausländischen Unternehmen überlassen werden, sondern müssen auch von deutschen Unternehmen in die Produktionstechnik integriert werden.

Eine ausreichende Kompetenz in der Informationstechnik ist eine wichtige Voraussetzung, um in den eigenen Kernkompetenzen eine hinreichende Selbständigkeit zu bewahren. Diese Frage wird aktuell unter dem Thema der „technologischen Souveränität“ diskutiert. Die Intensivierung der Digitalisierung wird auch von den Wirtschaftsverbänden als zentrale Aufgabe gesehen. Wesentlich ist hier vor allem, dass deutsche Unternehmen bei der Anwendung von Digitalisierungstechnologien international wettbewerbsfähig werden.

Auch die Thematik **Ressourcen/Umwelt/Klima** ist für die Wirtschaftsverbände unter dem Stichwort Nachhaltigkeit ein wichtiges Thema. Die entsprechenden Technologien

werden in den üblichen Zukunftsstudien meist nicht benannt, wahrscheinlich, weil sie nicht genügend innovativ erscheinen. Sie haben jedoch ein relevantes Marktvolumen und sind daher auch aus ökonomischer Sicht zunehmend wichtig. Hierzu zählen Technologien wie Biomaterialien, Recycling oder CO₂-Management. Sie sind eine Stärke der deutschen Wirtschaft und sollten konsequent weiterverfolgt werden.

Bei den **Produktionstechnologien** sind deutsche Unternehmen vor allem bei der Additiven Fertigung technologisch gut aufgestellt. Allerdings wird hier das erzielbare Marktvolumen begrenzt sein. Aus Marktperspektive interessanter ist die Robotik. Hier sind deutsche Unternehmen gut vertreten, es gibt aber eine erhebliche Konkurrenz aus den USA, Japan, China und Südkorea. In den letzten Jahren konzentriert sich der technologische Wettbewerb weniger auf die mechanischen Aspekte, sondern vielmehr auf die Steuerung und Vernetzung, d. h. auch hier spielt eine fortgeschrittene Informationstechnik eine zentrale Rolle.

Die Corona-Krise hat bisher noch nicht zu einer erkennbaren grundsätzlichen Neuorientierung bei zukünftigen Technologien geführt. In einzelnen Branchen gibt es jedoch Überlegungen, Lieferketten wieder stärker nach Europa zurückzuholen. Weiterhin ist eine deutliche Beschleunigung der Digitalisierung zu erkennen.

Schlussfolgerungen

Da die untersuchten Zukunftstechnologien schon jetzt am Markt präsent sind, kann Forschungsförderung nur ein Teilelement politischer Unterstützungsmaßnahmen sein. Ein gesamthafter innovationspolitischer Ansatz ist erforderlich. Dazu zählen auch wirtschaftspolitische Maßnahmen wie die Schaffung klarer und verbesserter Rahmenbedingungen, Steueranreize, finanzielle Förderung beim Aufbau neuer Aktivitäten im Unternehmen oder am Markt oder gezielte öffentliche Nachfrage.

Die größte Herausforderung ist der Aufbau von höheren Kompetenzen in der Informationstechnik. Hier sollte schon im Bereich der Bildung angesetzt werden und auch eine Intensivierung der Forschung ist sinnvoll. Weiterhin müssen Unternehmen in den Kernbereichen der deutschen Wirtschaft eigene Kompetenzen in der Informationstechnik ausbauen. Bei Dienstleistern in der Informationstechnik sollten ergänzend Kompetenzen in der Produktionstechnik aufgebaut werden, um Unternehmen, vor allem KMU, kompetent beraten zu können.

In der Informationstechnik erweist sich die Künstliche Intelligenz als zentral mit einer Vielzahl von Vernetzungen zu anderen Feldern der Informationstechnik, aber auch zu anderen Anwendungsbereichen. Die Künstliche Intelligenz ist somit eine typisch generische Technologie.

Insgesamt können deutsche Unternehmen bei Zukunftstechnologien in der Kraftfahrzeugtechnik an traditionelle Kompetenzen anknüpfen, allerdings nur, wenn sie sich stärker auf neue Antriebskonzepte und dabei insbesondere Elektromobilität orientieren. Hier gibt es eine starke Konkurrenz von amerikanischen, französischen, japanischen und neuerdings auch chinesischen Unternehmen.

Die neuen Umwelttechnologien können sich für deutsche Unternehmen zu einem wichtigen Bereich mit einem relevanten ökonomischen Potenzial entwickeln. Es wird entscheidend sein, bei neuen Feldern wie dem CO₂-Management eigene Kompetenzen aufzubauen und bei Themen wie Recycling deutlich verbesserte Ansätze bei Kunststoffen, Elektronik, Batterien oder Kraftfahrzeugen zu entwickeln.

Die Produktionstechnik, insbesondere der Maschinenbau, die Chemie und elektrische Ausrüstungen werden wichtige Bereiche bleiben. Um die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, wird schon mittelfristig die kompetente Integration der Informationstechnik wesentlich sein.

Da Maschinenbau, Chemie, Elektrotechnik, Biotechnologie oder Kraftfahrzeugtechnik nicht mehr als eigenständige Bereiche angesehen werden können, sondern eine erhebliche Durchdringung aller Technologien durch die Informationstechnik besteht, muss über eine Anpassung des deutschen technologischen Profils nachgedacht werden. Zumindest in der Anwendung von Informationstechnik sollten verstärkt Kompetenzen aufgebaut werden. Das haben auch die deutschen Wirtschaftsverbände mit der Betonung der Digitalisierung erkannt. Da zahlreiche, insbesondere größere Unternehmen über ausreichende ökonomische Reserven verfügen, bestehen gute Aussichten, dass sie diese Ziele erreichen. Bei anderen Unternehmen besteht die Gefahr, dass sie sich mit den Folgen der Corona-Krise beschäftigen müssen und sich nicht genügend mit den neuen technologischen Ansätzen auseinandersetzen können. Deshalb ist es bei der Förderung wichtig, die Maßnahmen nicht zu eng auf aktuell erkennbare Corona-Folgen zu konzentrieren.

1 Einführung

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, Zukunftstechnologien für Deutschland zu identifizieren, die schon mittelfristig eine relevante volkswirtschaftliche Wirkung haben. Dabei geht es um Felder, die schon jetzt existieren, einen relevanten Umfang sowie ein Wachstumspotenzial für die nächsten Jahre haben.

Als ein Grund für das Interesse an Zukunftstechnologien ist ein sich wandelndes Umfeld zu nennen, das eine zielgerichtete Ausgestaltung der Wirtschaftspolitik erfordert, um so eine schnellere Anpassung an neue politische Herausforderungen, neue technologische Gegebenheiten und sich daraus ergebende wirtschaftliche Potenziale zu ermöglichen. Nicht zuletzt werden auch die tiefen Spuren, die die Corona-Krise in der Wirtschaft und bei den Staatsfinanzen hinterlassen wird, zusätzlichen Druck darauf ausüben, dass staatliches Handeln effizienter wird. Dazu wird es notwendig sein, insbesondere staatliche Fördermaßnahmen verstärkt in möglichst zukunftssträchtige Felder zu lenken, so dass sie einen möglichst starken Beitrag zur Steigerung von Wertschöpfung und Beschäftigung und zum Wiederanspringen der Produktivitätsentwicklung beitragen.

In der Studie geht es zunächst darum, die Rahmenbedingungen für Zukunftstechnologien in Deutschland näher zu beleuchten (Kapitel 2). In Bezug auf die technologische und ökonomische Analyse von Zukunftstechnologien und ihrer Bedeutung für Deutschland wurde ein Arbeitsablauf verfolgt, wie er in Abbildung 1-1 skizziert ist.

Abbildung 1-1: Arbeitsablauf zur Analyse von Zukunftstechnologien



Die Auswahl der Zukunftstechnologien wird in Kapitel 3.1 beschrieben, die technologischen Analysen im weiteren Verlauf des Kapitel 3 und die Untersuchung einzelner Technologien in Kapitel 4. Die ökonomische Bewertung der Technologien erfolgt in Kapitel 5

und die gemeinsame Betrachtung der technologischen und ökonomischen Bewertungen in Kapitel 6. In Kapitel 7 werden wirtschaftspolitische Maßnahmen beschrieben, wie relevante Zukunftstechnologien gefördert werden können.

2 Rahmenbedingungen für Zukunftstechnologien in Deutschland

Zukunftstechnologien werden in der Regel in einem globalen Zusammenhang diskutiert, sie wirken jedoch in den verschiedenen nationalen Systemen unterschiedlich. Deshalb ist es wichtig, zunächst einmal die spezifischen Rahmenbedingungen in Deutschland näher zu beleuchten, um die Relevanz von verschiedenen Technologien besser beurteilen zu können.

2.1 Das deutsche Innovationsprofil

Nationale Innovationssysteme zeichnen sich dadurch aus, dass sie ein sehr spezifisches, über viele Jahre stabiles Technologieprofil aufweisen. Hintergrund ist, dass in einem internationalen Handelssystem jedes Land dem Prinzip des komparativen Kostenvorteils folgt, das von Ricardo bereits 1817 erkannt wurde. Danach verfolgt jedes Land die Technologien, in denen es die größten Kompetenzen und Kostenvorteile im Vergleich zu anderen Ländern hat und exportiert diese.

Aus der Sicht einzelner Unternehmen bedeutet diese Orientierung, dass die Produkte weiterverfolgt werden, bei denen die größten Gewinne erzielt wurden. Im Falle von Problemen werden die Produkte verbessert, um an die alten Erfolge anzuknüpfen. In diesen Bereichen wurden hohe Kompetenzen und stabile Beziehungen zu Lieferanten und Kunden aufgebaut. Deshalb wäre die Umstellung auf andere Bereiche mit hohen Kosten verbunden. In der Innovationsforschung wird dieses Phänomen als Pfadabhängigkeit beschrieben. Auf diese Weise können ökonomische Erfolge erzielt werden. Eine Gefahr besteht darin, dass bestimmte Produktlinien zu lange verfolgt werden, auch wenn sie an Relevanz verlieren, und neue Optionen zu spät aufgegriffen werden (Barnes u. a. 2004).

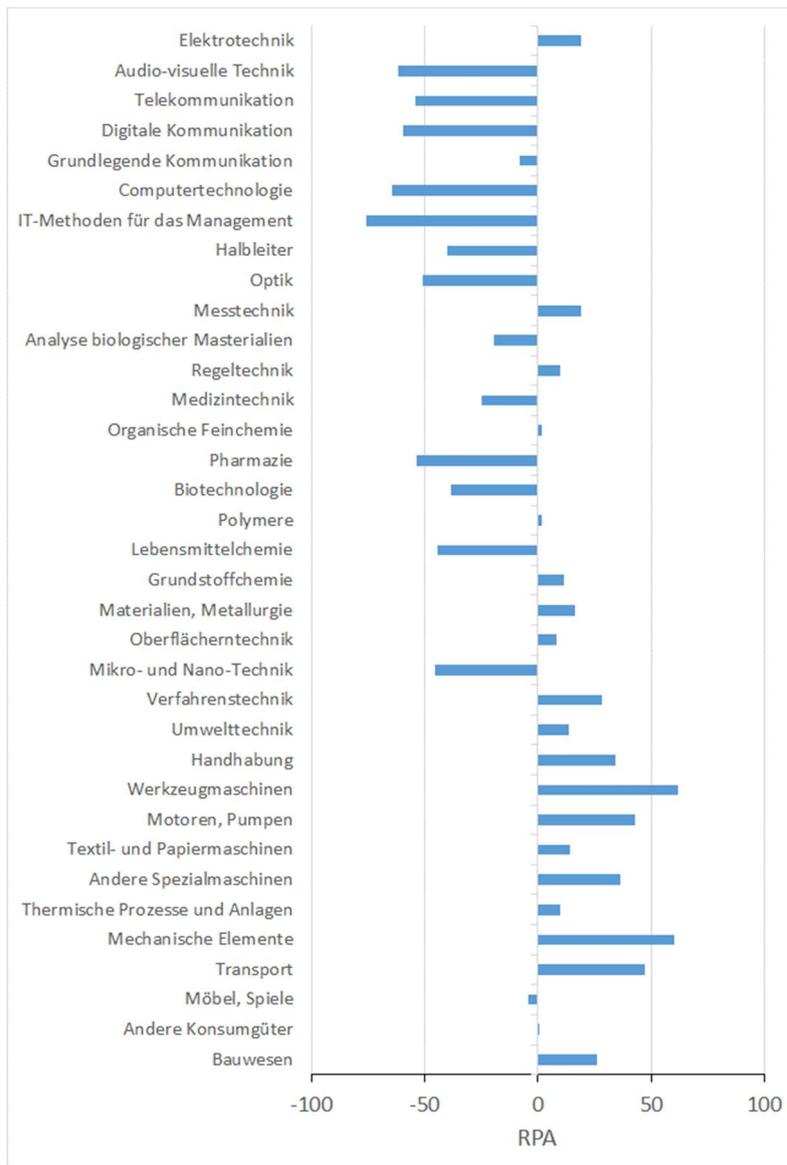
Das lässt sich am besten durch die Ermittlung des Spezialisierungsprofils bei Patenten illustrieren. Dabei wird die Orientierung eines Landes auf spezifische Technologien im Vergleich zum Weltdurchschnitt errechnet. Der entsprechende Indikator RPA errechnet sich folgendermaßen:

$$RPA_{kj} = 100 * \tanh \left(\ln \left[\frac{(P_{kj} / \sum_j P_{kj})}{(\sum_k P_{kj} / \sum_{kj} P_{kj})} \right] \right) \quad [1]$$

Darin steht der Index k für das Land und der Index j für die Technologie. Der Wertebereich geht von -100 bis +100, der Neutralwert liegt bei 0. Positive Werte stehen für überdurchschnittliche Spezialisierung, negative für unterdurchschnittliche.

Für Deutschland ergibt sich für transnationale Patente im Jahr 2018 ein Profil nach Abbildung 2-1. Dabei wurden sämtliche Patentanmeldungen insgesamt 34 Technologien zugeteilt. Diese wurden auf der Basis einer Liste der World Intellectual Property Organisation (WIPO) definiert (Schmoch 2008).

Abbildung 2-1: Spezialisierungsprofil Deutschlands bei transnationalen Patenten, 2018



Derartige Länderprofile bleiben im Zeitverlauf sehr stabil. Im Falle Deutschlands liegen die Schwerpunkte in den verschiedenen Teilfeldern des Maschinenbaus, in der Kfz-

Technik (Transport), der Grundstoffchemie und der (Starkstrom)-Elektrotechnik. Negative Spezialisierungen sind dagegen in der Mikroelektronik und der EDV-Technik zu finden sowie in der Biotechnologie und Pharmazie.

Dieses Profil bei Technologien findet sich auch in der Bedeutung der Wirtschaftszweige wieder (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Bruttowertschöpfung wichtiger Wirtschaftszweige in Deutschland, 2017

WZ-Code	Wirtschaftszweig	Bruttowertschöpfung (Mrd. €)	Anteil an Gesamt-Bruttowertschöpfung (%)
29	Kraftwagen	138,361	4,7
28	Maschinenbau	102,854	3,5
62	IT-Dienstleister	78,560	2,7
20	Chemie	49,842	1,7
27	Elektr. Ausrüstungen	44,845	1,5
26	DV-Geräte	40,545	1,4
21	Pharmazie	22,186	0,8

Quelle: Statistisches Bundesamt (2020)

Danach ist der Wirtschaftszweig (Branche) Kraftwagen mit Abstand dominierend. Die Spezialisierung der Kfz-Technik (Transport) nach Abbildung 2-1 ist weniger deutlich positiv als andere Technologien, weil auch andere Länder wie Japan einen Schwerpunkt auf Kraftwagen haben. Außerdem hängt der Sektor Kraftwagen eng mit dem Maschinenbau zusammen.

Trotz der negativen Spezialisierung bei Technologien sind die Wirtschaftszweige DV-Geräte und vor allem IT-Dienstleister relativ stark, weil die Informationstechnik für die deutsche Wirtschaft insgesamt eine wesentliche Funktion hat, was weiter unten genauer diskutiert wird. Das ändert jedoch nichts daran, dass die meisten Technologien bei der Informationstechnik aus den USA und China kommen, was zu den negativen Spezialisierungsindizes in den entsprechenden Teilfeldern in Abbildung 2-1 für Deutschland führt.

2.2 Die Diskussion über Technologiesouveränität

Das folgende Kapitel zur Technologiesouveränität erweist sich im Kontext von Zukunftstechnologien als relevant, weil sich häufig die Frage stellt, ob bei Technologien, die eigentlich nicht zu den Stärken deutscher Unternehmen zählen, eigene Kompetenzen aufgebaut werden sollten oder ob die Zulieferung durch ausländische Partner beibehalten werden soll.

Technologiesouveränität wird definiert „als die Fähigkeit eines Staates oder Staatenbundes, die Technologien, die sie für sich als kritisch für Wohlfahrt, Wettbewerbsfähigkeit und staatliche Handlungsfähigkeit definieren, selbst vorzuhalten und weiterentwickeln zu können oder ohne einseitige strukturelle Abhängigkeit von anderen Wirtschaftsräumen beziehen zu können“.

Technologiesouveränität bedeutet in dieser Definition also keinesfalls umfassende technologische Autarkie, welche die internationale Arbeitsteilung oder die Globalisierung in Frage stellt und anstrebt, jegliche als kritisch eingestufte Technologie selbst vorzuhalten. In erster Linie bezeichnet sie die Wahrung von Optionen durch den Aufbau und Erhalt eigener Fähigkeiten und die Vermeidung einseitiger Abhängigkeiten. Technologiesouveränität ist damit eine notwendige, aber keinesfalls hinreichende Bedingung für die selbstbestimmte Erstellung und Diffusion von kritischen Innovationen (Innovationssouveränität) und damit für selbstbestimmtes wirtschaftliches Handeln (wirtschaftliche Souveränität).“ (Edler u. a. 2020: 4)

Grundsätzlich ist im Falle Deutschlands die Informationstechnik wichtig für die Wettbewerbsfähigkeit, da sie im Rahmen der Digitalisierung der Produktion zunehmend eine wichtige Funktion in Kernbereichen der deutschen Wirtschaft erhalten hat. Hier ist anzustreben, dass deutsche Unternehmen mehr Kompetenz aufbauen, um sich unabhängiger von externen Anbietern zu machen und die Informationstechnik spezifischer an die eigenen Bedürfnisse anpassen zu können.

Wichtig ist eine differenzierte Betrachtung des Einzelfalls. So gibt es im Falle der 5G-Technik zwar Abhängigkeiten von US-amerikanischen und chinesischen Anbietern, es gibt aber auch kompetente europäische Unternehmen, die weltweit wettbewerbsfähig sind, sodass aus deutscher Sicht die Situation weniger prekär ist (Edler u. a. 2020: 24 ff.).

Zu dieser Thematik gibt es eine Reihe von technologiepolitischen Beiträgen, z. B. aus deutscher Sicht von March und Schieferdecker (2020). Insgesamt muss in jedem Fall die Bedeutung der Informationstechnik für Deutschland hervorgehoben werden. Hier besteht für deutsche Unternehmen in der Produktionstechnik das Problem, dass sie in zunehmendem Maße die Informationstechnik integrieren müssen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Deshalb reicht es nicht aus, informationstechnische Komponenten extern zuzukaufen, sondern es müssen eigene Kompetenzen entwickelt werden. Hier trifft genau die obige Definition von Technologiesouveränität zu: „Technologien, die sie für sich als kritisch für ... Wettbewerbsfähigkeit und ... Handlungsfähigkeit definieren, selbst vorzuhalten und weiterentwickeln zu können ... ohne einseitige strukturelle Abhängigkeit von

anderen Wirtschaftsräumen“. Da, wie weiter unten ausgeführt, verschiedene Informationstechnologien, die für die Produktionstechnik relevant sind, zu den wichtigen Zukunftstechnologien gehören, ist diese Thematik für diese Studie von großer Bedeutung.

2.3 Die Situation nach Corona

Durch die Corona-Krise haben sich die wirtschaftlichen Bedingungen in Deutschland erheblich verändert. Im Frühjahr 2020 wurde als Lehre aus der Corona-Krise vor allem genannt, dass eine zu große Abhängigkeit von globalen Lieferketten bestünde. Wir haben deshalb im Rahmen dieser Studie bei zwölf Wirtschaftsverbänden nachgefragt, welche Konsequenzen aus deren Sicht für die technologische Entwicklung bestehen.

Der ZVEI konstatiert auf der einen Seite eine Verschlechterung des Geschäftsklimas, auf der anderen Seite eine erhebliche Beschleunigung der Digitalisierung im geschäftlichen und privaten Bereich. Neben dem Homeoffice und Videokonferenzen werden Remote-Anwendungen im Fabrikkontext oder digitale Geschäftsmodelle genannt. Viele Unternehmen überlegen auch, ihre Lieferketten zu diversifizieren und ihre Supply Chain verstärkt auf Europa auszurichten sowie Investitionen und Forschung in Europa auszubauen. In mittelfristiger Sicht haben sich für den ZVEI die Bedingungen für die Digitalisierung verbessert.

Aus Sicht des VCI hat die Abhängigkeit der EU von Drittländern zur Herstellung von Chemikalien – z. B. Rohstoffe, Zwischenprodukte, pharmazeutische Wirkstoffe – in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Die Corona-Krise hat deutlich gemacht, dass diese Abhängigkeit erhebliche Auswirkungen haben kann, z. B. auf die Verfügbarkeit von Medikamenten und auf die Fähigkeit der EU, angemessen und rechtzeitig auf Gesundheitskrisen zu reagieren. Man hat erkannt, dass eine widerstandsfähigere Gesellschaft eine ausreichend diversifizierte, lokale chemische Produktionskapazität in Europa erfordert. Auch für den VCI ergeben sich damit mittelfristig positive Konsequenzen aus der Corona-Krise.

Auch der Verband BIO Deutschland betont die Notwendigkeit einer stärkeren Vernetzung in Europa als Folgerung aus der Corona-Krise. Er sieht gute Chancen bei der Entwicklung von Diagnostika und bei Impfstoffen.

Der Bundesverband Arzneimittel-Hersteller (BAH) nennt als wichtige Entwicklungen nach der Corona-Krise die Verstärkung der Nachhaltigkeit bei der Produktion und eine Intensivierung bei der Digitalisierung in Produktion und Vertrieb.

Der Bundesverband Medizintechnologie (BVMed) sieht sich durch die neue Nachfrage im Rahmen der Corona-Krise gestärkt. Auch hier spielen Digitalisierung und eine bessere Vernetzung in Europa eine wichtige Rolle.

Auch aus Sicht des Verbandes Bitkom ist ähnlich wie beim ZVEI die Verstärkung der Digitalisierung eine wesentliche Konsequenz der Corona-Krise. Einige, aber nicht alle Unternehmen im Verband denken an eine Rückverlagerung der Lieferketten nach Europa.

Der Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie (BPI) erkennt die Notwendigkeit die Produktion wieder stärker von China nach Europa zurückzuholen, mahnt aber eine Verbesserung der preislichen Rahmenbedingungen und der Auflagen in Deutschland an. Auch hier werden Nachhaltigkeit und Digitalisierung als wichtige Entwicklungen genannt.

Die Mitglieder des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) werden im Wesentlichen an internationalen Lieferketten festhalten. Auch der VDA sieht Technologien zur Energie- und Rohstoffeinsparung sowie eine verstärkte Digitalisierung als wichtige Trends, die allerdings schon vor Corona verfolgt wurden.

Der Verband des Maschinenbaus (VDMA) ist von der Corona-Krise hart betroffen, weil er eine hohe Exportquote von rund 75 Prozent hat. Auch dieser Verband misst der Digitalisierung eine große Bedeutung zu.

Der Bundesverband der deutschen Industrie (BDI) sieht als übergreifender Verband insgesamt das kritische Nachdenken über internationale Lieferketten und das Bedürfnis zu mehr Autonomie. Technologisch ist das Thema Nachhaltigkeit zentral. Weiterhin sind die verschiedenen Bereiche der Digitalisierung von großer Bedeutung. Es wird hier die Möglichkeit gesehen, ein deutsches oder europäisches Alleinstellungsmerkmal zu entwickeln mit der Konzentration auf die industrielle Anwendung der Digitalisierung und insbesondere von KI.

Der Verband für Anlagentechnik (VAIS) nimmt durch die Corona-Krise eine Tendenz zur Optimierung innerbetrieblicher Prozesse insbesondere in Richtung Digitalisierung wahr. Auch hier wird die Notwendigkeit zur Verlagerung der Lieferketten nach Europa gesehen. Die Ressourcen- und Energieeinsparung ist ein wichtiges Thema, das allerdings schon vor Corona bedeutsam war.

Beim Gesamtverband der deutschen Textil- und Modeindustrie ist die Betonung des Recyclings eine Besonderheit sowie der Einsatz von Biotechnologie zur Entwicklung neuer biobasierter Materialien. Bei den Lieferketten sieht der Verband nur eine marginale Reorientierung auf Europa.

Insgesamt ergibt sich zwar bei den meisten Verbänden durch die Corona-Krise ein kurzfristiger Rückgang der Geschäfte, es werden aber auch Veränderungen in Richtung Digitalisierung und Nachhaltigkeit immer wieder genannt. Es gibt nur teilweise eine Veränderung der Lieferketten in Richtung Europa. Hier wird es vor allem Auswirkungen auf die Produktion pharmazeutischer Wirkstoffe geben. Eine größere Eigenständigkeit wird in erster Linie im Kontext der Digitalisierung als zentraler Punkt genannt.

3 Technologische Analysen

3.1 Die Auswahl der Technologien

Zur Ermittlung von potenziell interessanten Zukunftstechnologien wurden verschiedene Quellen herangezogen. Neben aktuellen Studien zu Zukunftstechnologien wurden Technologien zu gesellschaftlichen Herausforderungen geprüft, Experten innerhalb des Fraunhofer ISI befragt sowie Experten von wichtigen deutschen Wirtschaftsverbänden konsultiert. Dieses breite Vorgehen erwies sich als sinnvoll, weil Studien zu Zukunftstechnologien häufig auf spektakuläre Technologien abzielen und Technologien zu gesellschaftlichen Herausforderungen eher vernachlässigen, obwohl diese gesellschaftlich und auch ökonomisch eine erhebliche Relevanz haben. Diese Quellen werden im Anhang in Kapitel A.1 näher beschrieben.

In einem ersten Schritt wurden auf der Basis der oben beschriebenen Quellen 49 Technologien ausgewählt, die als Zukunftstechnologien im Sinne dieser Studie geeignet waren. Kriterien für deren Auswahl waren vor allem die Nennung in mehreren Zukunftsstudien und die schon mittelfristig relevante volkswirtschaftliche Wirkung. Außerdem wurde eine Patentanalyse zu Umfang und zeitlicher Entwicklung dieser Technologien und dem Anteil Deutschlands durchgeführt, um eine erste Einschätzung zu erhalten. Diese erste Liste wurde in Abstimmung mit der KfW auf 32 Technologien reduziert, um den Arbeitsaufwand zur detaillierteren Analyse im Rahmen dieser Studie in sinnvollen Grenzen zu halten. Diese Liste von 32 Technologien ist in Tabelle 3-1 wiedergegeben.

Tabelle 3-1: Zukunftstechnologien für die Analyse im Rahmen dieser Studie

Nr.	Technologie
	Informationstechnik
1	Blockchain
2	Cybersecurity
3	Künstliche Intelligenz
4	Authentifizierung (Sicherheit)
5	Internet der Dinge (IoT)
6	5G, 6G
7	Quantencomputer
	Produktionstechnik
8	3D-Druck, Additive Fertigung
9	Soft robotics
10	Mensch-Maschine-Schnittstelle
11	Augmented und Virtual Reality

Nr.	Technologie
	Werkstoffe
12	Low-carbon steelmaking
13	Carbon Nanotube (CNT)
14	2D-Materialien, Graphen
	Gesundheit
15	Mikrobiom
16	Digitale Medizin, Geräte
17	Neue Impfstoffe
	Verkehr
18	Hybridelektrische Kfz
19	Brennstoffzellen für Kfz, insbesondere Lkw
20	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz
21	Autonomes Fahren
22	Leichtbau bei Kfz
23	E-Highway
	Umwelt, Klima
24	CO2-Management
25	Recycling
26	Umweltorientierte Biozide
27	Biomaterialien
	Energie
28	Batterietechnik
29	Alternative Solarzellen
30	Smart grid
31	Energiespeicherung (außer Batterien)
32	Wasserstoffproduktion

Diese Liste ist die Basis für die weiteren technologischen und ökonomischen Analysen im Rahmen dieses Berichtes.

Im Folgenden werden die Technologien kurz beschrieben:

1 Blockchain: Diese Technologie ist im Zusammenhang mit Kryptowährungen bekannt geworden. Es gibt aber eine Vielzahl anderer Anwendungen. Technisch geht es darum, eine Reihe von Informationen zu sicheren Ketten zu verbinden, indem ein Glied an das nächste über eine sichere Authentifizierung angekoppelt wird. Die Technik eignet sich auch für sichere Lieferketten, den Stromhandel oder das Settlement von Finanzprodukten. Kritisiert werden die langen Datenketten und der hohe Energieverbrauch (TA Swiss

2020). Ein wichtiger Anwendungsbereich ist die Dokumentation von Transaktionen mit dezentraler Verwaltung, die als Distributed Ledger bezeichnet wird.

2 Cybersecurity: Die Sicherheit im Internet ist ein zentrales Thema, da es eine Vielzahl von Hackerangriffen und eine erhebliche Industriespionage gibt. Durch die ständigen technischen Fortschritte der Angreifer ist die Verbesserung der Cybersicherheit ein Dauerthema. Cybersecurity ist eine wichtige Voraussetzung für die Digitalisierung. Ein gutes Beispiel ist die Vernetzung von Produzenten und Kunden im Kontext von Industrie 4.0.

3 Künstliche Intelligenz: Bei dieser Technologie geht es um fortgeschrittene selbstlernende Computersysteme. Typische Probleme, bei denen künstliche Intelligenz (KI) hilfreich ist, sind Klassifikationen, statistische Schätzungen, Clusterungen, Entdeckung von Anomalien, Rankings usw. KI ist für eine Vielzahl von Problemen in Technik und Verwaltung vom autonomen Fahren bis zu fortgeschrittenen Versicherungsproblemen (McKinsey Global Institute 2018) einsetzbar.

4 Authentifizierung: Die sichere Authentifizierung ist ein zentrales Problem der Sicherheit im Internet. Etwa beim Kauf im Internet oder der Übermittlung von Produktionsdaten ist eine sichere Authentifizierung Voraussetzung, um einen Missbrauch zu vermeiden.

5 Internet der Dinge: Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) bezeichnet Technologien, physische und virtuelle Gegenstände miteinander zu vernetzen. Dazu werden z. B. bei der Produktion Mini-Sensoren und -Rechner auf Maschinen implementiert, so dass diese miteinander kommunizieren können. IoT ist ein wesentliches Element von Industrie 4.0.

6 5G, 6G: 5G, die fünfte Generation des Mobilfunks, ist ein Mobilfunkstandard, der 2019 Verbreitung gewann. Wesentlich ist vor allem, spezifische Anwendungen etwa im Kontext IoT zu entwickeln. Neben dem privaten Bereich (schnelle Übertragung von Bilddaten usw.) ist 5G vor allem im Kontext von Industrie 4.0, Smart Cities und dem Autonomen Fahren ein wichtiges Element. Aktuell gibt es bereits Forschungen zu 6G, mit dem noch höhere Datentransferraten erreicht werden sollen.

7 Quantencomputer: Im Unterschied zum klassischen Computer arbeiten Quantencomputer nicht auf der Basis der Gesetze der klassischen Physik, sondern auf der Basis quantenmechanischer Zustände. Die Verarbeitung dieser Zustände erfolgt nach quantenmechanischen Prinzipien. Theoretische Studien zeigen, dass unter Ausnutzung dieser Effekte bestimmte Probleme der Informatik, z. B. die Suche in extrem großen Datenbanken (z. B. Grover-Algorithmus) oder die Faktorisierung großer Zahlen (z. B. Shor-Algorithmus) effizienter gelöst werden können als mit klassischen Computern.

Im Bereich der Informationstechnik wurden von den Vertretern der Wirtschaftsverbände häufig auch das Cloud Computing und die damit verbundenen Plattformen sowie im Rahmen der Digitalisierung Ferndienstleistungen (Remote Service) genannt. Diese Technologien wurden wegen zu geringer Dynamik und Trefferzahlen bei der Patentanalyse nicht in die Liste aufgenommen.

8 3D-Druck: Der 3D-Druck, auch bekannt unter den Bezeichnungen Additive Fertigung, ist eine umfassende Bezeichnung für alle Fertigungsverfahren, bei denen Material Schicht für Schicht aufgetragen und so dreidimensionale Gegenstände erzeugt werden. Das Verfahren eignet sich vor allem für die Fertigung hochpräziser Werkstücke mit hoher geometrischer Komplexität in kleinen Serien.

9 Soft robotics: Dies ist ein neues Teilgebiet der Robotik, das sich stark an die Bewegung lebender Organismen anlehnt. Im Unterschied zu Standardrobotern aus festen Materialien, ermöglichen Soft Robots eine erhöhte Flexibilität und Anpassung an die Aufgaben sowie eine erhöhte Sicherheit beim Arbeiten in der Nähe von Menschen. Einsatzgebiete liegen in der Medizin und der Produktion.

10 Mensch-Maschine-Schnittstelle: Die Benutzerschnittstelle ist die Stelle oder Handlung, mit der ein Mensch mit einer Maschine oder einem Gerät in Interaktion tritt. Diese gilt für Produktionsmaschinen oder Computer. Es wird an avancierten Methoden wie Spracheingabe gearbeitet. Ziel ist die leichtere Bedienbarkeit, die bessere Kontrolle des Prozesses und eine geringere Fehleranfälligkeit.

11 Augmented und Virtual Reality: Als virtuelle Realität, kurz VR, wird die Darstellung und gleichzeitige Wahrnehmung der Wirklichkeit und ihrer physikalischen Eigenschaften in einer in Echtzeit computergenerierten, interaktiven virtuellen Umgebung bezeichnet. In der Industrie wird diese Technologie verstärkt eingesetzt, vor allem zur Erstellung von virtuellen Prototypen, für Produktionsplanungen, für virtuelles Training, für ergonomische Bewertungen oder für räumliche Studien in der Geologie. Damit lässt sich häufig der Bau von Prototypen zur Erprobung der Nutzung einsparen. Bei Augmented Reality geht es darum, dass zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt werden.

12 Low-carbon steelmaking: Im Rahmen der Klimadebatte ist Stahlproduktion wegen ihrer hohen CO₂-Emission häufig kritisiert worden. Lösungen sind hier die Direktreduktion oder der Einsatz von Wasserstoff bei der Produktion. Dieses Thema gehört zu den gesellschaftlichen Herausforderungen.

13 Carbon Nanotube, CNT: Eines der wichtigsten Produkte der Nanotechnologie sind Kohlenstoffnanoröhren mit besonderen Eigenschaften bei Leitfähigkeit und Festigkeit. Sie werden in der Mikroelektronik oder bei faserverstärkten Kunststoffen eingesetzt.

14 2D-Materialien: 2D-Materialien sind Materialien, die aus nur einer Lage von Atomen oder Molekülen bestehen und damit faktisch zweidimensional sind. Aufgrund ungewöhnlicher Eigenschaften sind sie Gegenstand umfangreicher Forschungen. Das bekannteste 2D-Material ist Graphen, das Anwendungen in der Batterietechnik, in der Halbleitertechnik, bei der Verstärkung von Kunststoffen, hochfeinen Filtern und anderem hat. Für 2025 wird eine größere Verbreitung der Anwendungen gesehen (Ren und Cheng 2014).

15 Mikrobiom: Das Mikrobiom ist die Gesamtheit aller Mikroorganismen, die ein vielzelliges Lebewesen natürlicherweise besiedeln. Das Mikrobiom bewirkt die Stimulation des Immunsystems, die Verdrängung von Krankheitserregern und mehr. Veränderungen des Darmmikrobioms stehen unter anderem mit Erkrankungen wie Darmentzündungen, Darmtumoren und Darmkrebs, Adipositas, metabolischem Syndrom, Arthritis, MS und auch bestimmte Formen des Autismus und Morbus Alzheimer in Zusammenhang. Von daher werden in der Beeinflussung des Mikrobioms große medizinische Potenziale gesehen.¹

16 Digitale Medizin, Geräte: Die Digitalisierung hält auch bei medizinischen Geräten in großem Umfang Einzug. Die Methoden der Bildauswertung werden immer genauer, teilweise mit der Unterstützung von künstlicher Intelligenz, die Diagnostik ist enger mit der Digitalisierung verbunden oder bei chirurgischen Robotern ist der Anteil der Informationstechnik erheblich.

17 Neue Impfstoffe: Mit der Corona-Pandemie ist das Thema der Entwicklung neuer Impfstoffe, d. h. die Entwicklung mit neuen Methoden und die Entwicklung für neue Krankheiten, in den Fokus gerückt und wird relevant bleiben, da mit einer ständigen Veränderung des Corona-Virus und anderen Pandemien zu rechnen ist. Aktuell wird insbesondere an RNA- und DNA-Impfstoffen mit gentechnischen Verfahren gearbeitet.

18 Hybridelektrische Kfz: Bei hybridelektrischen Kfz werden Verbrennungs- und Elektromotoren kombiniert. Ihr wesentlicher Vorteil gegenüber Kfz ausschließlich mit Verbrennungsmotoren ist eine deutliche Verminderung des Kraftstoffverbrauchs und damit des CO₂-Ausstoßes. Der Vorteil gegenüber reinen Elektrofahrzeugen ist die größere Reichweite. Derartige Hybridfahrzeuge sind zwar schon am Markt, werden aber ständig weiterentwickelt als Alternative oder Ergänzung zu reinen Elektrofahrzeugen.

¹ <https://www.aerzteblatt.de/archiv/127068/Mikrobiomforschung-Wie-koerpereigene-Keime-als-Superorgan-agieren>

19 Brennstoffzellen für Kfz: Bei Brennstoffzellen wird die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie gewandelt. Bei Kfz werden Brennstoffzellen meist mit Wasserstoff betrieben und haben dadurch keine schädlichen Abgase. Gegenüber Elektrofahrzeugen haben sie den Vorteil großer Reichweiten. Von besonderem Interesse sind Anwendungen für Lkw.

20 Elektrische Traktionsmotoren für Kfz: Bei der Umstellung hin zur Elektromobilität wird meist die Batterietechnik als Herausforderung betont. Für die speziellen Anforderungen an Kfz ist aber auch die Entwicklung spezifischer Elektromotoren ein wichtiger Aspekt.

21 Autonomes Fahren: Das autonome Fahren befindet sich aktuell in einem intensiven Stadium der Entwicklung. Experten rechnen für 2025 mit einer funktionsfähigen technischen Realisierung, im Jahre 2035 soll bereits etwa ein Drittel des Kfz-Marktes von autonomen Fahrzeugen abgedeckt werden. Vorteile liegen in der Reduzierung der Unfallwahrscheinlichkeit, dem Vermeiden von menschlichen Fahrfehlern und auch einer Reduzierung von umweltschädlichen Emissionen. Durch die Nutzung der Fahrzeuge durch größere Gruppen und damit einen kontinuierlichen Betrieb kann auch der Bedarf an Parkraum verringert werden.

22 Leichtbau bei Kfz: Der Leichtbau reduziert den Kraftstoffverbrauch bei Kfz mit Verbrennungsmotoren und erhöht die Reichweite bei solchen mit Elektroantrieb. Wesentliche Ansätze sind die Verwendung von Leichtmetallen und vor allem von faserverstärkten Kunststoffen.

23 E-Highway: Bei dieser Technologie werden Autobahnen mit Oberleitungen oder Induktionsschienen ausgestattet. Damit soll es entsprechend umgerüsteten LKWs ermöglicht werden, lange Strecken mit elektrischer Energie zurückzulegen und damit Emissionen relevant zu senken. Es zeigte sich bei der Analyse der Indikatoren, dass zu der Technologie E-Highway lediglich 17 Patentanmeldungen weltweit im Zeitraum 2015 bis 2017, neun Publikationen im Zeitraum 2017 bis 2019 und keine Marken gefunden wurden. Diese Zahlen sind für die Bildung aussagefähiger Indikatoren zu niedrig. Diese Technologie erweist sich als wenig forschungsintensiv und es basiert lediglich auf einer Entwicklung auf der Basis bekannter Technologien. Es gibt aktuell lediglich drei kurze Teststrecken in Schweden, Schleswig-Holstein und südlich von Frankfurt und ein großes deutsches Unternehmen, das ein Konzept entwickelt hat. Eine breitere technologische Ausstrahlung in andere Wirtschaftszweige ist nicht gegeben. Von daher wird die Technologie in der weiteren Analyse nicht mehr betrachtet.

24 CO₂-Management: Zum Erreichen der Klimaziele ist es nicht nur wichtig, die Emission von CO₂ zu reduzieren, sondern CO₂ kann auch aus der Luft abgefangen, aus Erdöl usw. abgetrennt und gespeichert werden.

25 Recycling: Das Recycling ist angesichts der Verknappung der Rohstoffe ein wichtiges aktuelles Problem. Es steht nicht nur im Kontext gesellschaftlicher Ziele, sondern die Verknappung führt auch zu steigenden Rohstoffpreisen und ist damit ein ökonomisches Problem. Betroffen sind nicht nur Kunststoffe und Metalle, sondern das Recycling bezieht sich auf alle Arten von Rohstoffen, z. B. Lösungsmittel, Baustoffe usw.

26 Umweltorientierte Biozide: Als Reaktion auf die aktuelle Diskussion über das Artensterben gibt es zunehmend Bemühungen für die Entwicklung von besser umweltverträglichen Bioziden. Biozide sind Substanzen und Produkte, die Schädlinge und Lästlinge wie Insekten, Mäuse oder Ratten, aber auch Algen, Pilze oder Bakterien bekämpfen. Biozide sollten nicht mit Pflanzenschutzmitteln verwechselt werden.²

27 Biomaterialien: Angesichts der Verknappung von Rohstoffen gibt es im politischen Raum erhebliche Bemühungen, Biomaterialien als nachwachsende Rohstoffe zu fördern. Es geht somit um gesellschaftliche und ökonomische Ziele.

28 Batterietechnik: Die Batterietechnik hat mit der Elektromobilität eine große Bedeutung erhalten. Dabei geht es mittelfristig nicht nur um Lithium-Ionen-Batterien, sondern auch um Festkörperbatterien, die eine höhere Leistungsdichte ermöglichen und bei denen die Rohstoffbeschaffung weniger prekär als bei Lithium ist. Untersucht werden in dieser Studie Batterien für größere Verbraucher, insbesondere Kfz, nicht Batterien für Kleingeräte.

29 Alternative Solarzellen: Mit der wachsenden Bedeutung von regenerativen Energien werden Solarzellen immer wichtiger. Aktuell sind neue Typen wie Perovskite-Zellen, Dünnschichtzellen oder Zellen mit Tandemtechnik in der Entwicklung.

30 Smart grids: Intelligente Stromnetze (engl. „smart grids“), umfassen die kommunikative Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern, elektrischen Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen der Elektrizitätsversorgung. Dieses ermöglicht eine Optimierung und Überwachung der miteinander verbundenen Bestandteile. Ziel ist die Sicherstellung der Energieversorgung auf Basis eines effizienten und zuverlässigen Systembetriebs. Vor allem im Kontext der unregelmäßigen Einspeicherung von regenerativen Energiequellen werden Smart Grids bedeutsamer.

31 Energiespeicherung (außer Batterien): Angesichts der unregelmäßigen Energieerzeugung von Wind- oder Solarenergie sind Energiespeicher ein zentrales Element der

2 https://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/DE/Biozide/Definition/Definition_node.html

Energieversorgung. Batterien allein können diese erheblichen Energiemengen nicht aufnehmen. Deshalb sind andere Speicher wie Power to Gas, Power to Liquid, Power to Heat oder Metallhydrid-Wasserstoffspeicher im Gespräch.

32 Wasserstoffproduktion: Wasserstoff als Energiequelle kann in erheblichem Maße zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes beitragen etwa bei Kfz-Antrieben oder der Stahlproduktion. Trotz der hohen Kosten der Wasserstoffproduktion ist es ein wichtiges politisches Ziel, die Wasserstoffproduktion voranzutreiben. Damit steigen auch die Bemühungen zur Entwicklung effizienterer Verfahren.

3.2 Bewertung der Technologien mit Hilfe von Patenten, Publikationen und Marken

Die Liste nach Tabelle 3-1 wurde mit Hilfe von Patent-, Publikations- und Markenindikatoren genauer analysiert.

Zur Analyse der technologischen Relevanz der einzelnen Technologien wurden zu jeder Technologie Patent-, Publikations- und Markenmeldungen ermittelt und daraus Indikatoren gebildet. Diese wurden zu sogenannten Composite Indicators zusammengeführt und zur Bewertung herangezogen. Die Methodik ist in Munda und Nardo (2005) erläutert. Composite Indicators sind z. B. ein zentrales Instrument beim European Innovation Scoreboard.³

3.2.1 Auswertung von Patentindikatoren

3.2.1.1 Methodische Konzepte

Die Patente wurden auf der Basis von Transnationalen Patentanmeldungen mit Hilfe der Datenbank World Patents Index (WPI) erhoben, nach PATSTAT überführt und dort statistisch ausgewertet.

Transnationale Patentanmeldungen sind Erfindungen, die entweder am Europäischen Patentamt oder als internationale Anmeldungen nach der Patent Cooperation Treaty (PCT) angemeldet werden. Es geht in beiden Fällen um Patentanmeldungen, die an mehreren externen Märkten angemeldet werden sollen. Da dies mit erheblichen Anmeldekosten verbunden ist, handelt es sich um Patente, bei denen ein hoher Gewinn erwartet wird, also um wertvollere Patente. Ein wichtiger Vorteil Transnationaler Patente ist, dass sie einen aussagefähigen Vergleich von Ländern erlauben. Dieser Ansatz hat sich

³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_20_1150

in der Praxis anderen Verfahren zum Ländervergleich überlegen erwiesen (Schmoch und Khan 2019, Frietsch und Schmoch 2010).

Die Recherchen wurden mit Hilfe der Datenbank WPI durchgeführt, weil diese in Form von Patentfamilien organisiert ist, bei der alle Patentanmeldungen in verschiedenen Ländern, die zu einer Erfindung gehören, in einem Record zusammengeführt sind. Dadurch lassen sich Transnationale Patente leicht recherchieren. Außerdem ist die Datenbank sehr stichwortstark, sodass auch neue Technologien untersucht werden können, für die es noch keine geeignete Patentklassifikation gibt. Dieses ist bei den meisten Zukunftstechnologien der Fall.

Eine Überführung dieser Rechercheergebnisse mit Hilfe von Patentanmeldenummern in die Datenbank PATSTAT, eine mit SQL auswertbare In-house-Datenbank, erwies sich als sinnvoll, weil diese bessere statistische Analysen, etwa der Familiengröße, ermöglicht. Außerdem können die Patentanmeldungen Wirtschaftszweigen zugeordnet werden, was eine wesentliche Grundlage für die Analyse der wirtschaftlichen Relevanz ist. Eine direkte Recherche in PATSTAT wäre in diesem Kontext nicht sinnvoll gewesen, weil Stichwortrecherchen in PATSTAT sehr aufwändig und wenig effektiv sind. Durch den Transfer der Daten aus WPI wurde dieser Mangel ausgeglichen.

Bei den Jahren der Untersuchung ist zu beachten, dass Patentanmeldungen erst 18 Monate nach der ersten Anmeldung, der Prioritätsanmeldung, veröffentlicht werden. Diese gesetzliche Regelung ermöglicht es dem Patentanmelder, die Patentanmeldung im Falle von technischen oder Vermarktungsproblemen zurückzuziehen, ohne dass die Erfindung einer breiten Öffentlichkeit bekannt wird. Das bedeutet, dass seit Juli 2020 alle Anmeldungen zum Jahr 2018 vorliegen. Im Falle der Datenbank PATSTAT, die vom Europäischen Patentamt bereitgestellt wird, gibt es eine aktualisierte Version erst im November 2020, sodass vor diesem Zeitpunkt nur Analysen bis 2017 realisierbar sind.

Im Einzelnen wurden zur Bewertung der technologischen Relevanz zu jedem Feld die Indikatoren weltweiter Trend, Spezialisierung Deutschlands, absolutes Volumen Deutschlands und Familiengröße Deutschlands bestimmt.

Der Indikator weltweiter Trend wurde als Relation der weltweiten Patentanmeldungen von 2017 zu denen von 2010 definiert. Er zeigt, was im Kontext von Zukunftstechnologien wichtig ist, wie stark die betrachtete Technologie wächst und damit in den kommenden Jahren relevanter wird.

Die Spezialisierung Deutschlands wird mit dem Indikator RPA entsprechend Formel [1] (siehe S. 3) für den Zeitraum 2015 bis 2017 berechnet. Der Indikator basiert letztlich auf

dem Konzept von Soete und Wyatt (1983) und wird immer wieder zur Analyse der Patentanmeldungen von Ländern benutzt, z. B. in Khramova u. a. (2013) oder Frietsch u. a. (2011). Im vorliegenden Kontext wird durch den RPA illustriert, wie die Stärke Deutschlands im Vergleich zu anderen Ländern beurteilt werden kann.

Das Volumen Deutschlands wird über die Zahl der Patentanmeldungen im Zeitraum 2015 bis 2017 bestimmt. Da es sich um Transnationale Patentanmeldungen handelt, reflektiert das Volumen das wirtschaftliche Gewicht.

Die Familiengröße Deutschlands wird ermittelt über die durchschnittliche Familiengröße deutscher Patentanmeldungen in einer Technologie im Zeitraum 2014 bis 2016. Diese wird in Relation zur durchschnittlichen Familiengröße deutscher Patentanmeldungen für alle deutschen Transnationalen Patentanmeldungen gesetzt, die 5,29 beträgt. Liegt diese Relation über 1, ist von einer überdurchschnittlichen Qualität der Anmeldungen in dem Feld auszugehen, bei Werten unter 1 von einer unterdurchschnittlichen. Dieser Indikator reflektiert somit die Qualität deutscher Anmeldungen.

Da diese vier Teilindikatoren verschiedene Dimensionen haben, können sie nicht direkt miteinander verrechnet werden. Ein sinnvoller Ansatz ist hier die Überführung in eine einfache qualitative Skala mit den Werten

- 1 für sehr schlecht, sehr schwach
- 2 für schlecht, schwach
- 3 für durchschnittlich
- 4 für gut, stark
- 5 für sehr gut, sehr stark

Um eine gleichwertige Einteilung für alle Teilindikatoren für alle Technologien zu erreichen, wird für jeden Teilindikator das Spektrum der Ausprägung ermittelt. Da die Verteilung nicht linear über die Technologien verläuft, muss auf der Basis von Expertenwissen eine qualitative Entscheidung über die Zuordnung der Ausprägung der Teilindikatoren zu der qualitativen Skala gefällt werden. Entscheidend ist hier, dass die Zuordnung für alle Technologien auf der gleichen Basis erfolgt. Die Einteilung in fünf Stufen ist bei sogenannten Likert-Skalen üblich.⁴

⁴ https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/82/likert_skala/

Beim Trend/Wachstum wird mit den Punkten 4 und 5 eine Unterscheidung zwischen starkem und sehr starkem Wachstum gemacht, wobei die Grenze beim Faktor 40 gezogen wird. Die nächste Wachstumsrate ist mit 19,0 deutlich niedriger. Der neutrale Bereich liegt in dem Spektrum 0,98 bis 1,49.

Bei der Spezialisierung liegt der neutrale Bereich in etwa bei 0, hier erhält der RPA-Index 4 den Skalenwert 3 (durchschnittlich), der gute Bereich (Skalenwert 4) reicht von 11 bis 15, der sehr gute von 30 bis 78, der schlechte (Skalenwert 2) von -8 bis -23, der sehr schlechte von -40 bis -94. Diese Einteilung folgt der Erfahrung mit Technologien, die in der Projektserie „Technologische Leistungsfähigkeit“ des BMBF von 1994 bis 2007 und verschiedenen Projekten für die Expertenkommission Forschung und Innovation von 2008 bis 2019 gewonnen wurden.

Beim Volumen der Patentanmeldungen liegt das Spektrum zwischen 6 und 1295 Patentanmeldungen von Deutschen in den letzten drei Jahren. Die Grenzen zwischen den Punktwerten wurden bei größeren Stufen vorgenommen.

Bei der Familiengröße musste die Abstufung unregelmäßig erfolgen, weil ein großer Teil der Technologien unterhalb des Neutralwerts liegt.

In Tabelle 3-2 ist für die vier Teilindikatoren zu Patenten das Spektrum der ermittelten Werte zu den 31 Technologien aufgeführt sowie die jeweilige Zuordnung von Skalenpunkten.

Tabelle 3-2: Spektrum der Ausprägung der Teilindikatoren zu Patenten für die Technologiefelder der Analyse und Zuordnung von Skalenwerten

Punkte	Trend	Punkte	RPA	Punkte	Vol.	Punkte	Fam.
5	1611	5	78	5	1295	5	2,03
5	606	5	63	5	818	5	1,10
5	529	5	55	5	798	5	1,09
5	307	5	53	5	762	5	1,09
5	40	5	37	5	707	4	1,08
4	19	5	32	4	629	4	1,07
4	18,9	5	30	4	513	3	0,97
4	11,3	4	15	4	485	3	0,97
4	6,71	4	15	4	369	3	0,96
4	5,08	4	11	4	329	3	0,96
4	4,78	3	4	4	317	3	0,94
4	4,58	2	-8	4	255	3	0,93
4	3,25	2	-12	4	254	3	0,93
4	3	2	-17	4	238	2	0,89

Punkte	Trend	Punkte	RPA	Punkte	Vol.	Punkte	Fam.
4	1,98	2	-23	3	214	2	0,87
4	1,84	1	-40	3	212	2	0,86
4	1,81	1	-48	3	198	2	0,86
3	1,49	1	-49	3	171	2	0,86
3	1,24	1	-51	3	167	2	0,84
3	1,2	1	-53	3	160	2	0,84
3	1,09	1	-56	2	119	2	0,81
3	1,05	1	-66	2	75	2	0,8
3	0,98	1	-67	2	71	2	0,8
3	0,98	1	-67	2	70	1	0,78
2	0,94	1	-72	2	70	1	0,75
2	0,93	1	-73	1	36	1	0,71
2	0,84	1	-77	1	33	1	0,71
1	0,77	1	-82	1	18	1	0,69
1	0,75	1	-90	1	11	1	0,69
1	0,58	1	-92	1	9	1	0,66
1	0,56	1	-94	1	6	1	0,5

Quelle: PATSTAT, eigene Recherchen und Berechnungen

Bei der Zusammenführung wurden die Punkte der Teilindikatoren addiert, allerdings die Punkte für Volumen (Marktwert) und Familie (Qualität) jeweils mit dem Faktor 1,5 etwas höher gewichtet.

3.2.1.2 Ergebnisse der Auswertung der Patentindikatoren

Bei der Bewertung der Technologien können mindestens 5 und maximal 25 Punkte erreicht werden. Die Bewertung bezieht sich nicht auf die Technologien allgemein, sondern ihre Relevanz aus deutscher Sicht. Die Auswertung der Patentindikatoren führt zu einem Ranking nach Tabelle 3-3.

Bei Biomaterialien resultiert die hohe Punktzahl aus einer sehr hohen Zahl deutscher Patente, aus einer positiven deutschen Spezialisierung und einer großen durchschnittlichen Familiengröße. Die Maximalpunktzahl von 25 wird nicht erreicht, weil es in den letzten Jahren kein Wachstum gab. Die Patentzahlen sind aber über viele Jahre hoch geblieben.

Für die Additive Fertigung sprechen ein sehr hohes Wachstum, eine sehr stark überdurchschnittliche deutsche Spezialisierung und eine hohe Zahl von Patentanmeldungen.

Tabelle 3-3: Rangfolge der Zukunftstechnologien nach Patentindikatoren in ihrer Relevanz für Deutschland

Rang	Technologie	Indexpunkte
1	Biomaterialien	22,0
2	3D-Druck, Additive Fertigung	20,5
3	Leichtbau bei Kfz	19,5
4	Autonomes Fahren	19,0
5	Alternative Solarzellen	18,0
6	Recycling	17,5
7	Batterietechnik	17,5
8	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	17,0
9	Umweltorientierte Biozide	16,5
10	Hybridelektrische Kfz	16,0
11	CO2-Management	15,5
12	Augmented- u. Virtual Reality	15,0
13	Brennstoffzellen für Kfz	14,5
14	Cybersecurity	14,0
15	2D-Materialien, Graphen	14,0
16	Digitale Medizin, Geräte	14,0
17	Wasserstoffproduktion	14,0
18	Künstliche Intelligenz	12,5
19	Authentifizierung (Sicherheit)	12,5
20	Mensch-Maschine-Schnittstelle	12,5
21	Low-carbon steelmaking	12,5
22	Neue Impfstoffe	12,5
24	Energiespeicherung	12,5
25	Internet der Dinge (IoT)	12,0
26	5G, 6G	10,5
27	Carbon Nanotube (CNT)	10,0
28	Soft robotics	9,5
29	Blockchain	9,0
30	Quantencomputer	9,0
31	Mikrobiom	9,0
32	Smart grid	8,0

Wesentliche Argumente für Technologien aus dem Kfz-Bereich (Hybride, Leichtbau, Elektromotoren für Kfz, Autonomes Fahren) sind eine sehr starke deutsche Spezialisierung, ein hohes Patentaufkommen und beim Autonomen Fahren zusätzlich das sehr starke Wachstum. Diese Zukunftstechnologien knüpfen an traditionelle Stärken des deutschen Innovationssystems an.

Bei den Technologien Blockchain, Quantencomputer, Mikrobiom und Smart Grid liegt das Patentaufkommen sehr niedrig. Hinzu kommt eine sehr niedrige Spezialisierung deutscher Anmelder auf diese Bereiche. Bei Quantencomputer ist zwar das Wachstum stark, dies kann aber die übrigen niedrigen Indikatorwerte nicht ausgleichen. Nach Fraunhofer (2020:38) ist die Technologie Quantencomputer zwar grundsätzlich hochinteressant, befindet sich aktuell aber noch in einem sehr frühen Stadium. Relevante Marktvolumina werden danach erst in 20 bis 30 Jahren erreicht werden.

3.2.1.3 Die Beteiligung kleiner und mittlerer Unternehmen an Zukunftstechnologien

Mit Hilfe von Patentanmeldungen ist es möglich, weitere Merkmale neben Anzahl, Länderbeteiligung usw. zu analysieren. Ein für die Innovationspolitik interessantes Merkmal ist dabei, die Beteiligung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) an Technologien.

Die PATSTAT-Version des Fraunhofer ISI hat eine Verbindung zur Unternehmensdatenbank ORBIS hergestellt, wodurch eine Zuordnung von Patentanmeldern zu Unternehmen und damit zu Unternehmensgrößen, Wirtschaftszweigen usw. möglich ist.

Im Falle von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) ergibt sich ein durchschnittlicher Anteil von KMU-Patenten an allen Patenten von 16,9 Prozent für die Jahre 2015 bis 2017. Werden die KMU-Anteile für die einzelnen Zukunftstechnologien mit dem Durchschnittswert normiert, so ergeben sich Index-Werte leicht oberhalb oder unterhalb von 1,0. Tabelle 3-4 zeigt die Rangfolge der Zukunftstechnologien nach dem Kriterium KMU-Index.

Bei etwa einem Drittel der Zukunftstechnologien ist die Beteiligung der KMU überdurchschnittlich. Die wesentliche Übereinstimmung mit der Rangfolge nach Technologierelevanz (Tabelle 3-3) gibt es bei der Technologie Recycling. Überdurchschnittliche KMU-Beteiligungen finden sich bei Technologien im Kontext Umwelt/Klima/Energie. Unterdurchschnittliche Indizes finden sich erwartungsgemäß bei allen Technologien im Kontext von Kraftfahrzeugen, aber auch im Bereich Informationstechnik. Allerdings wird hier in der Technologie Digitale Medizin ein Durchschnittswert erreicht.

Tabelle 3-4: Beteiligung von KMU an Zukunftstechnologien, 2015-2017

Rang	Technologie	KMU-Index
1	Carbon Nanotube (CNT)	1,65
2	Smart grid	1,61
3	Recycling	1,42
4	Soft robotics	1,32
5	Energiespeicherung (außer Batterien)	1,27
6	CO2-Management	1,19
7	Wasserstoffproduktion	1,14
8	Low-carbon steelmaking	1,11
9	2D-Materialien, Graphen	1,04
10	Digitale Medizin, Geräte	0,97
11	Biomaterialien	0,80
12	Augmented- und Virtual Reality	0,74
13	Authentifizierung (Sicherheit)	0,65
14	Cybersecurity	0,63
15	3D-Druck, Additive Fertigung	0,62
16	Leichtbau bei Kfz	0,60
17	Umweltorientierte Biozide	0,60
18	Alternative Solarzellen	0,53
19	Künstliche Intelligenz	0,45
20	Batterietechnik	0,44
21	Mensch-Maschine-Schnittstelle	0,37
22	Autonomes Fahren	0,37
24	Blockchain	0,36
25	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	0,36
26	5G, 6G	0,34
27	Brennstoffzellen für Kfz	0,34
28	Neue Impfstoffe	0,33
29	Internet der Dinge (IoT)	0,15
30	Hybridelektrische Kfz	0,12
31	Quantencomputer	0,00
32	Mikrobiom	0,00

Quelle: PATSTAT, eigene Erhebungen und Berechnungen

3.2.1.4 Zukunftstechnologien mit großer strategischer Bedeutung

Im Kontext der Technologiesouveränität wird von der Bundesregierung und auch Vertretern der Wirtschaftsverbände immer wieder die Informationstechnik genannt. Diesen Technologien kann für Deutschland eine große strategische Bedeutung zugemessen werden. Die Bundesregierung hat deshalb eine Initiative zur Förderung der Künstlichen Intelligenz initiiert.⁵ Die Technologien zur Informationstechnik sind in Tabelle 3-5 in Fettschrift hervorgehoben.

Aufgrund der Klimaproblematik und der Ressourcenknappheit sind außerdem Technologie zur Ressourcenschonung und zur Emissionsreduktion strategisch relevant. Diese Technologien sind in Tabelle 3-5 in Fett- und zusätzlich Kursivschrift hervorgehoben.

Nach diesem Kriterium sind 22 der 32 Zukunftstechnologien strategisch bedeutsam. Um zu prüfen, wie stark Deutschland schon aktuell auf diese Themen orientiert ist, ist in Tabelle 3-5 zusätzlich der Spezialisierungsindex ausgewiesen. Während bei den Technologien zur Emissionsreduzierung und Ressourcenschonung die Spezialisierungsindizes in der Regel positiv oder zumindest nur schwach negativ sind, sind sie bei Informationstechnologien stark negativ.

Es ist wenig wahrscheinlich, dass deutsche Unternehmen in den nächsten Jahren in den grundlegenden Entwicklungen zur Informationstechnik eine führende Rolle einnehmen werden. Sie können jedoch in den Anwendungen dieser Technologien eine wichtige Rolle spielen, wie jetzt schon die stark positive Spezialisierung beim Autonomen Fahren zeigt. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang die Beobachtung, dass viele Patentanmeldungen zu den Technologien der Informationstechnik von Unternehmen aus den Wirtschaftszweigen Maschinenbau, Kraftfahrzeugbau und Elektrische Ausrüstungen kommen und diese derartige Innovationen nicht an externe Unternehmen aus den Sektoren DV-Geräte oder IT-Dienstleister delegieren. IT-Dienstleister können beispielsweise wesentliche Beiträge beim Aufbau eines unternehmensinternen IT-Systems leisten, kennen sich aber in der Regel nicht mit den besonderen Eigenschaften von Produktionssystemen aus, die über Embedded Systems gesteuert werden sollen.⁶

⁵ <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>

⁶ <https://www.embedded-software-engineering.de/was-ist-ein-embedded-system-a-665424/>

Tabelle 3-5: Zukunftstechnologien mit großer strategischer Bedeutung nach Rangfolge der Patentindikatoren und deren Spezialisierungsindex (Hervorhebung in Fett- und Kursivschrift)

Rang	Technologie	Indexpunkte	RPA
1	<i>Biomaterialien</i>	22,0	15
2	3D-Druck, Additive Fertigung	20,5	37
3	<i>Hybridelektrische Kfz</i>	19,5	76
4	Leichtbau bei Kfz	19,5	63
5	Autonomes Fahren	19,0	53
6	<i>Alternative Solarzellen</i>	18,0	32
7	<i>Recycling</i>	17,5	-8
8	<i>Batterietechnik</i>	17,5	11
9	<i>Elektr. Traktionsmotoren für Kfz</i>	17,0	78
10	Umweltorientierte Biozide	16,5	-23
11	<i>CO2-Management</i>	15,5	15
12	<i>Augmented- und Virtual Reality</i>	15,0	-67
13	<i>Brennstoffzellen für Kfz</i>	14,5	30
14	<i>Cybersecurity</i>	14,0	-40
15	2D-Materialien, Graphen	14,0	-67
16	<i>Digitale Medizin, Geräte</i>	14,0	-48
17	<i>Wasserstoffproduktion</i>	14,0	4
18	<i>Künstliche Intelligenz</i>	12,5	-73
19	<i>Authentifizierung (Sicherheit)</i>	12,5	-53
20	<i>Mensch-Maschine-Schnittstelle</i>	12,5	-56
21	<i>Low-carbon steelmaking</i>	12,5	-12
22	Neue Impfstoffe	12,5	-51
24	<i>Energiespeicherung (außer Batterien)</i>	12,5	-17
25	<i>Internet der Dinge (IoT)</i>	12,0	-77
26	<i>5G, 6G</i>	10,5	-90
27	Carbon Nanotube (CNT)	10,0	-82
28	Soft robotics	9,5	-49
29	<i>Blockchain</i>	9,0	-72
30	<i>Quantencomputer</i>	9,0	-94
31	Mikrobiom	9,0	-92
32	<i>Smart grid</i>	8,0	-66

Quelle: WPI, PATSTAT, eigene Erhebungen und Berechnungen

3.2.2 Auswertung von Publikationsindikatoren

Zu den 32 Zukunftstechnologien wurden neben Recherchestrategien für Patente auch solche für Publikationen entwickelt. Publikationen sind ein guter Indikator für wissenschaftliche Aktivitäten. Untersuchungen zu forschungsintensiven Technologien haben gezeigt, dass neben den Forschungen in den Unternehmen auch parallel Forschungen in wissenschaftlichen Einrichtungen durchgeführt werden, die einen leichten Vorlauf zur industriellen Forschung haben und wichtige Impulse für die Entwicklung des jeweiligen Gebiets geben (Schmoch 2007). Von daher ist eine gute wissenschaftliche Basis eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Zukunftstechnologien.

3.2.2.1 Methodische Konzepte

Die Recherchen zu Publikationen wurden in der multidisziplinären Datenbank Web of Science (WoS) in der Version Scisearch des Anbieters STN durchgeführt. Bei den Publikationen wurden ähnlich wie bei Patenten Teilindikatoren gebildet zu dem globalen Trend (Wachstum), der deutschen Spezialisierung, dem deutschen Volumen sowie der Zitatrate von deutschen Publikationen:

- Der Teilindikator zu Trend/Wachstum wird errechnet als Relation der Publikationszahlen von 2019 zu denen von 2010. Bei Publikationen waren im Jahr 2020 die vollständigen Publikationszahlen von 2019 verfügbar.
- Bei der Spezialisierung Deutschlands erfolgte die Berechnung analog zum Spezialisierungsindex für Patente, allerdings für den Zeitraum 2017 bis 2019.
- Bei der Zahl der deutschen Publikationen wurde ebenfalls der Zeitraum 2017 bis 2019 zugrunde gelegt.

Bei Zitaten wurden die Zitate auf deutsche Publikationen aus dem Jahr 2017 ermittelt. Dieses frühere Jahr ist erforderlich, weil ein Zeitraum von etwa drei Jahren erforderlich ist, bis sich in Bezug auf ein Publikationsjahr eine stabile Zitatquote bestimmen lässt. Diese Zitatquote für deutsche Publikationen wurde auf die Zitatquote aller Publikationen aus dem Jahr 2017 für dieses Gebiet bezogen, um eine über- oder unterdurchschnittliche Zitatquote feststellen zu können. Der Vergleich erfolgte innerhalb der Technologie, weil aus verschiedenen Gründen die Zitatquote zwischen Gebieten variiert (Van Raan 2004).

Diese Teilindikatoren wurden analog zu den Patentindikatoren in eine 5-stufige Skala überführt, um sie miteinander verrechnen zu können (Tabelle 3-6).

Tabelle 3-6: Spektrum der Ausprägung der Teilindikatoren zu Publikationen für die Technologiefelder der Analyse und Zuordnung von Skalenwerten

Punkte	Trend	Punkte	Spez. RLA	Punkte	Volumen	Punkte	Zitatrate
5	143,0	5	50	5	6178	5	1,88
5	80,0	5	37	5	3177	5	1,61
5	50,0	5	34	5	2092	5	1,59
5	33,0	5	33	5	1834	5	1,54
4	13,8	4	23	5	1468	5	1,53
4	10,5	4	23	5	1269	5	1,35
4	10,2	4	17	5	1253	4	1,21
4	9,5	4	15	5	1074	4	1,21
3	6,5	4	8	4	732	4	1,20
3	6,3	4	6	4	618	4	1,14
3	6,2	4	6	4	532	4	1,14
3	4,9	3	3	4	510	4	1,13
2	4,1	3	3	4	493	4	1,11
2	4,0	3	-3	4	455	4	1,11
2	3,7	3	-5	3	367	4	1,10
2	3,4	2	-16	3	326	3	1,07
2	3,2	2	-19	3	289	3	1,06
2	3,0	2	-19	3	263	3	1,05
2	2,9	2	-22	3	251	3	1,03
2	2,8	2	-22	2	184	3	1,02
2	2,7	1	-34	2	175	3	0,98
1	2,3	1	-35	2	168	3	0,96
1	2,3	1	-38	2	137	3	0,95
1	2,1	1	-47	2	107	3	0,94
1	2,1	1	-48	1	53	2	0,90
1	2,0	1	-55	1	49	2	0,88
1	2,0	1	-60	1	43	2	0,83
1	1,9	1	-61	1	40	1	0,74
1	1,8	1	-63	1	34	1	0,72
1	1,8	1	-65	1	18	1	0,65
1	1,3	1	-86	1	12	1	0,55

Die Vergabe von Punkten erfolgte ähnlich wie bei Patenten. Es ist lediglich anzumerken, dass auch bei Technologien mit sehr geringem Wachstum die niedrigste Wachstumsrate über 1 liegt, was mit dem grundsätzlichen Wachstum der Datenbank WoS zusammenhängt (Michels und Schmoch 2012).

Die vier Teilindikatoren bei Publikationen wurden gleich gewichtet.

3.2.2.2 Ergebnisse der Auswertung von Publikationsindikatoren

Für die einzelnen Technologien sind bei Publikationen 4 bis 20 Punkte möglich. Auch hier steht die Bewertung der deutschen Position im Vordergrund. Es ergibt sich ein Ranking nach Tabelle 3-7.

Tabelle 3-7: Rangfolge der Zukunftstechnologien nach Publikationsindikatoren in ihrer Relevanz für Deutschland und Vergleich mit Patentindikatoren

Rang	Technologie	Publ.-Index	Pat.-Index
1	3D-Druck, Additive Fertigung	18,0	20,5
2	Mikrobiom	18,0	9,0
3	Quantencomputer	15,0	9,0
4	Augmented- und Virtual Reality	15,0	15,0
5	Alternative Solarzellen	14,0	18,0
6	Künstliche Intelligenz	13,0	12,5
7	Internet der Dinge (IoT)	13,0	12,0
8	5G, 6G	13,0	10,5
9	2D-Materialien, Graphen	13,0	14,0
10	CO2-Management	13,0	15,5
11	Biomaterialien	13,0	22,0
12	Batterietechnik	13,0	17,5
13	Energiespeicherung (außer Batterien)	13,0	12,5
14	Cybersecurity	12,0	14,0
15	Soft robotics	12,0	9,5
16	Autonomes Fahren	12,0	19,0
17	Neue Impfstoffe	11,0	12,5
18	Brennstoffzellen für Kfz	11,0	14,5
19	Umweltorientierte Biozide	11,0	16,5
20	Wasserstoffproduktion	11,0	14,0
21	Digitale Medizin, Geräte	10,0	14,0
22	Recycling	10,0	17,5
24	Blockchain	9,0	9,0
25	Mensch-Maschine-Schnittstelle	9,0	12,5
26	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	9,0	17,0
27	Leichtbau bei Kfz	9,0	19,5
28	Low-carbon steelmaking	8,0	12,5
29	Carbon Nanotube (CNT)	8,0	10,0
30	Smart grid	8,0	8,0
31	Hybridelektrische Kfz	7,0	19,5
32	Authentifizierung (Sicherheit)	6,0	12,5

Quellen: WoS, WPI, PATSTAT, eigene Erhebungen und Berechnungen

Die Rangfolge bei Publikationen unterscheidet sich deutlich von der bei Patenten.

Bei den Publikationen zur Additiven Fertigung ist das Wachstum sehr stark und auch die deutsche Spezialisierung ist stark überdurchschnittlich, die Zahl der deutschen Publikationen liegt hoch und auch die deutsche Zitatquote. Beim Mikrobiom, das bei den Patentindikatoren niedrig liegt, sind das Wachstum und die deutsche Publikationszahl stark überdurchschnittlich, die deutsche Spezialisierung und die Zitatquote gut. Grund dafür ist, dass die Publikationsindikatoren stärker zukunftsorientiert als die Patentindikatoren sind. Beim Mikrobiom ist bei wichtigen Krankheiten noch nicht der Durchbruch erreicht. Wenn das der Fall ist, werden sich auch bei den Patentindikatoren die Zahlen erheblich verbessern. Auch die Additive Fertigung ist noch in einer Erprobungsphase. Wenn sich hier erprobte Konzepte durchgesetzt haben, werden auch die Patentindikatoren höhere Werte annehmen.

Die Zukunftsorientierung der Publikationsindikatoren wird bei den Quantencomputern noch deutlicher. Hier gibt es eine sehr hohe Spezialisierung Deutschlands, was auch für die Zitatrate gilt. Das lässt in etwa zehn Jahren auch eine gute Positionierung Deutschlands in der Technologie erwarten.

Auch im Gebiet Augmented und Virtual Reality liegen die Werte bei Spezialisierung, Publikationszahl und Zitatrate gut oder sehr gut, was eine Verbesserung der Technologieindikatoren in mittelfristiger Sicht erwarten lässt.

Auch bei Alternativen Solarzellen, Künstliche Intelligenz, Internet der Dinge und 5G ist die Positionierung in der Wissenschaft besser als in der Technologie, was auf den absoluten Trend, das Publikationsvolumen und die Zitatquote zurückzuführen ist. Allerdings ist nur bei den Solarzellen die deutsche Spezialisierung durchschnittlich. Bei Künstlicher Intelligenz, Internet der Dinge und 5G ist sie wie bei Patenten stark unterdurchschnittlich, womit in diesen strategisch wichtigen Technologien erhebliche Anstrengungen unternommen werden müssen, um eine ausreichende Eigenständigkeit zu erreichen.

Bei den 2D-Materialien könnte die deutsche Spezialisierung besser sein, beim CO₂-Management sind die Werte insgesamt gut und bei den Biomaterialien ist wie bei den Patenten das Wachstum mäßig, die absoluten Publikationszahlen sind aber hoch. Auch bei diesen Technologien ist mittelfristig mit einer Verbesserung der deutschen Position in der Technologie zu rechnen.

Insgesamt weichen die Zahlen bei Publikationen von denen für die Patente ab, sie sagen aber etwas über die Zukunftsorientierung der Gebiete aus. Da im Kontext dieser Studie

die aktuelle technologische Position im Vordergrund steht, werden die Publikationsindikatoren im Gesamtindex mit dem Faktor 0,5 gewichtet. Bei einer Gewichtung mit 1,0 ergeben sich allerdings in der Gesamtbewertung bei der Kombination von Patent-, Publikations- und Markenindikatoren nur geringfügige Veränderungen. Nur die Technologien Mikrobiom und Quantencomputer kommen auf höhere Platzierungen.

3.2.3 Auswertung von Markenindikatoren

Neben Patent- und Publikationsindikatoren wurden zu den 32 Zukunftstechnologien auch Markenindikatoren ausgewertet. Marken werden angemeldet, um den Verkauf eines Produktes oder einer Dienstleistung zu fördern. Marken bilden damit die Diffusion ab. Sie zeigen, wie stark Produkte und Dienstleistungen aktuell am Markt etabliert sind.

3.2.3.1 Methodische Konzepte

Für die vorliegende Untersuchung wurden Europäische Marken am Amt der Europäischen Union für Geistiges Eigentum (EUIPO, Alicante) untersucht. Es handelt sich dabei um Marken, die in den Ländern der EU wirksam sind, die also einen Schutz im Europäischen Raum bieten. Sie ermöglichen damit eine gute Vergleichbarkeit von Ländern. Es besteht allerdings ein Regionalvorteil gegenüber nicht-europäischen Ländern wie USA oder China.

Die Analysen wurden zunächst im DPMAregister des Deutschen Patent- und Markenamtes durchgeführt, das neben deutschen auch europäische Marken umfasst. Marken sind nur nach einer groben Klassifikation von 45 Klassen eingeordnet, die für eine Untersuchung von Zukunftstechnologien nicht geeignet sind. Die Recherche wurde deshalb auf der Basis der Stichworte durchgeführt, mit denen die Anmelder die Waren und Dienstleistungen beschreiben, die durch die Marke geschützt werden sollen.

Die zu schützenden Waren und Dienstleistungen können in einer Reihe von unterschiedlichen Sprachen benannt werden, meist wird aber Englisch oder Deutsch verwendet, auch etwa von spanischen oder italienischen Anmeldern.

Mit dem DPMAregister werden Stichwortrecherchen sehr effektiv durchgeführt. Ein Problem ist aber, dass größere Anmelder zu einer Marke eine Vielzahl von Waren und Dienstleistungen in verschiedenen Klassen anmelden, sodass zu kombinierende Stichworte manchmal weit auseinanderstehen und damit die gesuchte Technologie nicht gut erfasst wird. Deshalb muss jede Strategie anhand der Durchsicht von Stichproben der gefundenen Marken geprüft werden.

Die am Ende zu einer Technologie gefundenen Marken wurden mit Hilfe des Aktenzeichens an die In-house-Version des Europäischen Markenregisters TMview überführt,

weil sich hier geeignete statistische Analysen über SQL durchführen lassen. Eine direkte Analyse in der In-house-Version wäre nicht sinnvoll gewesen, weil sich hier die Stichwort-Recherchen nur mit einem erheblichen Aufwand durchführen lassen.

Bei den Europäischen Marken wurden drei Teilindikatoren gebildet:

- Trend/Wachstum wurde als Relation der weltweiten Anmeldungen von 2018 in Relation zu 2010 berechnet.
- Die deutsche Spezialisierung wurde bei Marken analog zu der bei Patenten für den Zeitraum 2016 bis 2018 berechnet. Referenz waren dabei nicht alle Markenmeldungen in diesem Zeitraum, sondern nur die Anmeldungen in den Markenklassen, die sich auf Technologien oder technologiebezogene Dienstleistungen beziehen (Schmoch und Gauch 2009).
- Das deutsche Volumen wurde als Zahl der Markenmeldungen im Zeitraum 2016 bis 2018 ermittelt.

Das Spektrum der Ausprägung der Teilindikatoren bei Europäischen Marken und die Zuordnung von Skalenwerten ist in Tabelle 3-8 aufgelistet.

Bemerkenswert ist dabei, dass bei Marken insgesamt für zwei Felder überhaupt keine Anmeldungen gefunden wurden. Bei CNT ist die Technologie jeweils in anderen Waren eingebaut und wird nicht separat vertrieben, Soft Robots sind eine spezielle Variante von Robotern. Es werden nur Roboter als Waren aufgeführt, die nicht weiter spezifiziert werden können. Im Falle von Low-carbon steelmaking und von 5G sind die weltweiten Anmeldungen sehr niedrig und es gibt keine deutschen Anmeldungen. Im Falle von 5G melden nur einige wenige große Anbieter das System als solches an und es gibt keine Anmeldungen zu spezifischen Anwendungen etwa in der Produktion.

Insgesamt können die Indikatoren bei Marken einen Gesamtwert zwischen 3 und 15 einnehmen.

Tabelle 3-8: Spektrum der Ausprägung der Teilindikatoren zu Marken für die Technologiefelder der Analyse und Zuordnung von Skalenwerten

Punkte	Trend	Punkte	Spez. RMA	Punkte	Volumen
5	107,0	5	85	5	719
5	59,0	5	80	5	538
5	56,0	5	80	5	473
4	18,5	5	67	5	430
4	11,3	5	61	5	389
4	11,1	5	53	4	298
4	8,5	5	46	4	289

Punkte	Trend	Punkte	Spez. RMA	Punkte	Volumen
4	7,0	5	40	4	139
4	6,9	5	38	4	137
4	6,8	5	37	4	95
4	5,0	5	27	4	92
4	5,0	4	20	4	82
4	4,8	4	15	3	68
3	4,0	4	11	3	48
3	4,0	3	6	3	37
3	3,6	3	5	3	30
3	3,5	1	0	2	24
3	3,0	1	0	2	19
3	3,0	1	0	2	10
3	2,9	1	0	2	9
3	2,9	1	0	1	4
2	2,4	2	-14	1	4
2	2,3	2	-18	1	3
2	2,3	2	-20	1	2
2	2,1	1	-24	1	2
2	2,0	1	-27	1	1
2	1,9	1	-43	1	0
1	0,9	1	-50	1	0
1	0,1	1	-67	1	0
1	0,0	1	-74	1	0
1	0,0	1	-77	1	0

3.2.3.2 Ergebnisse der Auswertung von Markenindikatoren

Das Ergebnis der Auswertung für Marken ist in Tabelle 3-9 dokumentiert und dem Ergebnis zu Patenten gegenübergestellt.

Tabelle 3-9: Rangfolge der Zukunftstechnologien nach Markenindikatoren in ihrer Relevanz für Deutschland und Vergleich mit Patentindikatoren

Rang	Technologie	Marken-Index	Pat.-Index
1	Authentifizierung (Sicherheit)	14	13
2	Brennstoffzellen für Kfz	13	15
3	Autonomes Fahren	13	19
4	Mensch-Maschine-Schnittstelle	12	13
5	Cybersecurity	11	14
6	Internet der Dinge (IoT)	11	12

Rang	Technologie	Marken-Index	Pat.-Index
7	3D-Druck, Additive Fertigung	11	21
8	Digitale Medizin, Geräte	11	14
9	Energiespeicherung (außer Batterien)	11	13
10	Leichtbau bei Kfz	10	20
11	Recycling	10	18
12	Biomaterialien	10	22
13	Batterietechnik	10	18
14	Augmented- und Virtual Reality	9	15
15	Mikrobiom	9	9
16	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	9	17
17	CO2-Management	9	16
18	Smart grid	9	8
19	Wasserstoffproduktion	9	14
20	Blockchain	8	9
21	Künstliche Intelligenz	7	13
22	Quantencomputer	6	9
24	Hybridelektrische Kfz	6	20
25	Umweltorientierte Biozide	6	17
26	Alternative Solarzellen	6	18
27	2D-Materialien, Graphen	4	14
28	Neue Impfstoffe	4	13
29	5G, 6G	3	11
30	Soft robotics	3	10
31	Low-carbon steelmaking	3	13
32	Carbon Nanotube (CNT)	3	10

Quelle: DPMAregister, TMview, eigene Erhebungen und Berechnungen

Auch bei Markenindikatoren ergibt sich eine andere Rangfolge als bei Patentindikatoren. Auffällig ist, dass Zukunftstechnologien der Informationstechnik wie Cybersecurity oder Internet der Dinge relativ weit oben stehen. Das ist möglich, weil die Spezialisierung deutscher Anbieter nur negativ, aber nicht stark negativ ist. Es geht dabei um deutsche IT-Dienstleister, die ihre Dienste auf der Basis ausländischer Produkte anbieten. Weiterhin gibt es gute Positionen der Technologien, die mit Kfz zusammenhängen.

Weil die Marken vor allem die gegenwärtige Marktsituation abbilden, es in dieser Studie aber in erster Linie um Zukunftstechnologie geht, werden im Gesamtindikator die Markenindikatoren mit dem Faktor 0,3 gewichtet.

3.2.4 Auswertung der Gesamtindikatoren

Bei der Zusammenführung der Patent-, Publikations- und Markenindikatoren ergibt sich eine Rangfolge nach Tabelle 3-10.

Erwartungsgemäß ist die Rangfolge sehr ähnlich zu der der Patentindikatoren. Die Additive Fertigung und die Biomaterialien stehen aus technologischer Sicht mit deutlichem Abstand vorne. Erwähnenswert ist die gute Stellung der Batterietechnik, die einige Experten wegen der chinesischen und japanischen Stärke für Deutschland verloren geben. Hier haben deutsche Hersteller gut aufgeholt und können besondere Eigenschaften wie alternative Werkstoffe zu Lithium, hoher Kapazitäten oder Wiederverwertbarkeit betonen. Mit der Umstellung auf Elektromobilität wird es wichtig sein, diese Stärken am Markt durchzusetzen. Auffällig ist schließlich die niedrige Positionierung von Blockchain, das in vielen Zukunftsstudien als eine zentrale Zukunftstechnologie dargestellt wird. Bei Patent-, Publikations- und Markenindikatoren sind alle Werte wie deutsche Spezialisierung, deutsches Volumen, Größe der Patentfamilie oder Beteiligung von KMU auf der niedrigsten Stufe. Nur das Wachstum ist sehr stark.

Die Ergebnisse der Gesamtauswertung hängen von den zugrunde liegenden Annahmen ab, hier insbesondere von der Auswahl der Indikatoren und deren Gewichtung. Wird beispielsweise die Gewichtung der Publikationsindikatoren von 0,5 auf 1 angehoben, verändert sich in der Rangfolge der Technologien nur wenig. Die größte Veränderung betrifft die Technologien Mikrobiom, die dann vom 22. auf den 11. Rang vorrückt und Quantencomputer vom 27. auf den 22. Rang. Größer sind die Veränderungen, wenn zusätzlich bei den Patentindikatoren der Anteil von KMU mit dem Gewicht 1,5 eingeführt wird. Hierdurch rücken vor allem einige Technologien im Bereich Umwelt/Klima weiter nach oben (siehe Tabelle A-1 im Anhang).

Tabelle 3-10: Rangfolge der Zukunftstechnologien nach den technologischen Gesamtindikatoren in ihrer Relevanz für Deutschland⁷

Rang	Technologie	Gesamt-Index
1	3D-Druck, Additive Fertigung	33
2	Biomaterialien	32
3	Autonomes Fahren	29
4	Leichtbau bei Kfz	27
5	Batterietechnik	27
6	Alternative Solarzellen	27

⁷ In dieser Tabelle ist das Feld 23 zu E-Highway, das von der Analyse ausgenommen wurde, nicht aufgeführt.

Rang	Technologie	Gesamt-Index
7	Recycling	26
8	Augmented- und Virtual Reality	25
9	CO2-Management	25
10	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	24
11	Brennstoffzellen für Kfz	24
12	Umweltorientierte Biozide	24
13	Cybersecurity	23
14	Digitale Medizin, Geräte	22
15	Energiespeicherung	22
16	Wasserstoffproduktion	22
17	Internet der Dinge (IoT)	22
18	2D-Materialien, Graphen	22
19	Künstliche Intelligenz	21
20	Hybridelektrische Kfz	21
21	Mikrobiom	21
22	Mensch-Maschine-Schnittstelle	21
24	Authentifizierung (Sicherheit)	20
25	Neue Impfstoffe	19
26	Quantencomputer	18
27	5G, 6G	18
28	Low-carbon steelmaking	17
29	Soft robotics	16
30	Blockchain	16
31	Carbon Nanotube (CNT)	15
32	Smart grid	15

4 Spezielle Patentanalysen zu einzelnen Technologien

Aus der Auswertung der 32 Zukunftstechnologien ergeben sich Fragen zu Einzelaspekten, die im folgenden Kapitel näher analysiert werden sollen. Behandelt werden insbesondere

- Konvergenz in der Informationstechnik
- Strukturen des Feldes Künstliche Intelligenz
- Entwicklung in der Robotik und
- Bedeutung der Informationstechnik für Zukunftstechnologien

Diese Analysen wurden durchgeführt, weil sich bei der inhaltlichen Betrachtung der Einzeltechnologien der Informationstechnik der Eindruck aufgedrängt hat, dass diese inhaltlich eng verbunden sind und manche Aspekte schwer trennbar sind. Dieser Eindruck sollte systematisch geprüft werden.

Bei der Künstlichen Intelligenz ergibt sich aus den Beschreibungen der Zukunftsstudien, dass sehr viele Anwendungsbereiche betroffen sind. Hier sollte geprüft werden, inwieweit sich das auf die technologischen Aktivitäten auswirkt.

Die Robotik wird in aktuellen Zukunftsstudien nicht als Zukunftstechnologie genannt. Der Hinweis auf Soft Robotics als besonders dynamisches Feld stammt von einem Fraunhofer-Experten. Im Gutachten der Expertenkommission Forschung und Innovation 2016 wird allerdings auch die Robotik insgesamt als Zukunftstechnologie herausgestellt (EFI 2016). Vor diesem Hintergrund sollte geprüft werden, ob auch aktuell noch die Robotik insgesamt als Zukunftstechnologie bezeichnet werden kann.

Bei der Zusammenstellung der Zukunftstechnologien ist immer wieder deutlich geworden, dass die Informationstechnik auch für viele Technologien anderer Bereiche eine wichtige Rolle spielt. Dieser Frage sollte in systematischer Form nachgegangen werden.

4.1 Konvergenz in der Informationstechnik

Die erste Frage stellt sich bei zukunftsorientierten Informationstechnologien, in welchem Ausmaß es hier eine Konvergenz zwischen den Technologien gibt oder ob davon einzelne weitgehend separat zu sehen sind. So ist zu vermuten, dass es eine enge Verbindung zwischen den Technologien Internet der Dinge (IoT) und 5G gibt, da z. B. über IoT die Kommunikation zwischen Maschinen organisiert wird und über 5G die physikalische Verbindung zwischen den Maschinen hergestellt wird, oder es ist eine enge Verbindung zwischen Künstlicher Intelligenz und Autonomem Fahren anzunehmen.

Zur genaueren Überprüfung dieser Hypothesen wurde für die Jahre 2014 und 2018 ermittelt, wie groß die Überschneidung der Patentanmeldungen für die Technologien

- Künstliche Intelligenz
- Cybersecurity
- 5G
- Internet der Dinge
- Mensch-Maschine-Schnittstelle
- Blockchain
- Autonomes Fahren
- Augmented und Virtual Reality

ist. Die Technologie Authentifizierung wurde nicht betrachtet, weil sie ein Teilgebiet von Cybersecurity ist.

Daraus ergeben sich Vernetzungsmatrizen nach Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1: Vernetzung zwischen Zukunftstechnologien der Informationstechnik, 2014 und 2018

2014									
	KI	BLC	CYS	IoT	5G	MM	VIRT	AUTF	SMGR
KI	1887	0	43	3	0	5	20	18	2
BLC	0	5	2	0	0	0	0	0	0
CYS	43	2	8686	37	17	3	6	0	8
IoT	3	0	37	186	4	0	1	0	3
5G	0	0	17	4	226	1	1	0	3
MM	5	0	3	0	1	230	2	5	0
VIRT	20	0	6	1	1	2	447	1	0
AUTF	18	0	0	0	0	5	1	169	0
SMGR	2	0	8	3	3	0	0	0	67

2018									
	KI	BLC	CYS	IoT	5G	MM	VIRT	AUTF	SMGR
KI	7446	37	185	75	8	23	109	216	0
BLC	37	1216	434	53	4	1	6	4	0
CYS	185	434	11728	355	195	5	58	3	12
IoT	75	53	355	1882	111	5	53	8	23
5G	8	4	195	111	2006	0	45	1	20
MM	23	1	5	5	0	295	15	2	0
VIRT	109	6	58	53	45	15	2135	27	14
AUTF	216	4	3	8	1	2	27	808	4
SMGR	0	0	12	23	20	0	14	4	122

Quelle: WPI, eigene Erhebungen und Berechnungen

mit

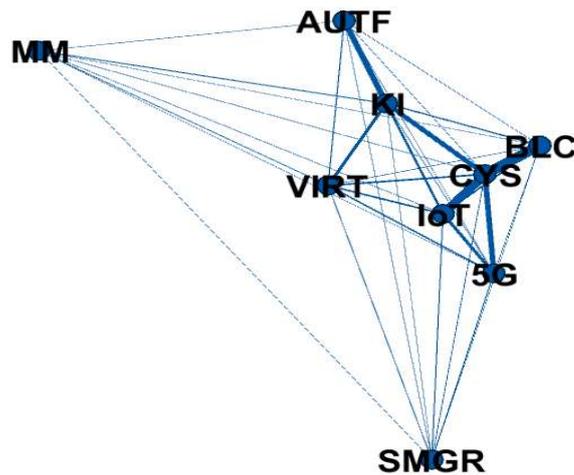
KI = Künstliche Intelligenz, BLC = Blockchain, CYS = Cybersecurity, IoT = Internet der Dinge, 5G = 5G, MM = Mensch-Maschine-Schnittstelle, VIRT = Augmented und Virtual Reality, AUTF = Autonomes Fahren, SMGR = Smart grid

In den einzelnen Zellen ist die Anzahl der Patentanmeldungen wiedergegeben, die gleichzeitig in zwei Technologien eingeordnet sind, z. B. für 2018 185 sowohl in Künstlicher Intelligenz als auch Cybersecurity.

2014 zeigen sich erste Überschneidungen zwischen Künstlicher Intelligenz, Cybersecurity, Virtueller Realität und Autonomem Fahren. Weiterhin kommen Verbindungen zwischen Cybersecurity, Internet der Dinge und 3G heraus. Viele Verbindungsstellen zwischen den Technologien bleiben leer. Blockchain steckt noch in einer frühen Phase und weist kaum Patentanmeldungen auf.

Das Netz in 2018 ist wesentlich dichter geworden. Die Verbindungen zwischen Künstlicher Intelligenz, Cybersecurity, Virtueller Realität und Autonomem Fahren sind wesentlich enger geworden. Das Internet der Dinge ist neu hinzugekommen. Bei Cybersecurity kommt als neue Verbindung Blockchain heraus. Es gibt in der Matrix nur noch wenige Leerstellen bei Smart Grid und bei Mensch-Maschine-Schnittstelle. Eine graphische Darstellung des Netzes von 2018 ist in Abbildung 4-1 wiedergegeben.

Abbildung 4-1: Netzwerk der Zukunftstechnologien in der Informationstechnik, 2018



Quelle: WPI, eigenen Erhebungen und Berechnungen

Das Netzwerk zeigt eine zentrale Stellung der Technologien Künstliche Intelligenz, Cybersecurity, Blockchain, Internet der Dinge, 5G sowie angebunden an Künstliche Intelligenz das Autonome Fahren. Die zentrale Stellung der Künstlichen Intelligenz wird im folgenden Abschnitt genauer untersucht. Smart Grid und Mensch-Maschine-Schnittstelle haben dagegen eine Randstellung mit nur leichten Kopplungen an die anderen Technologien.

Es bestätigt sich insgesamt die Hypothese einer zunehmenden Konvergenz der Zukunftstechnologien in der Informationstechnik.

4.1.1 Strukturen des Feldes Künstliche Intelligenz

Die Technologie Künstliche Intelligenz hat, wie schon in der Netzwerkanalyse gezeigt, eine zentrale Stellung in der neuen Informationstechnik und vielfältige Anwendungsgebiete. Deshalb wird diese Technologie an dieser Stelle genauer betrachtet.

Ein zentrales Merkmal von Künstlicher Intelligenz (KI) ist das maschinelle Lernen, vor allem basierend auf neuronalen Netzen. Diese simulieren natürliche neuronale Netze. Wesentlich ist dabei, wie viele Schichten von Neuronen simuliert werden. Bei etwa zehn Schichten wird von Deep Learning gesprochen (McKinsey 2018:4).

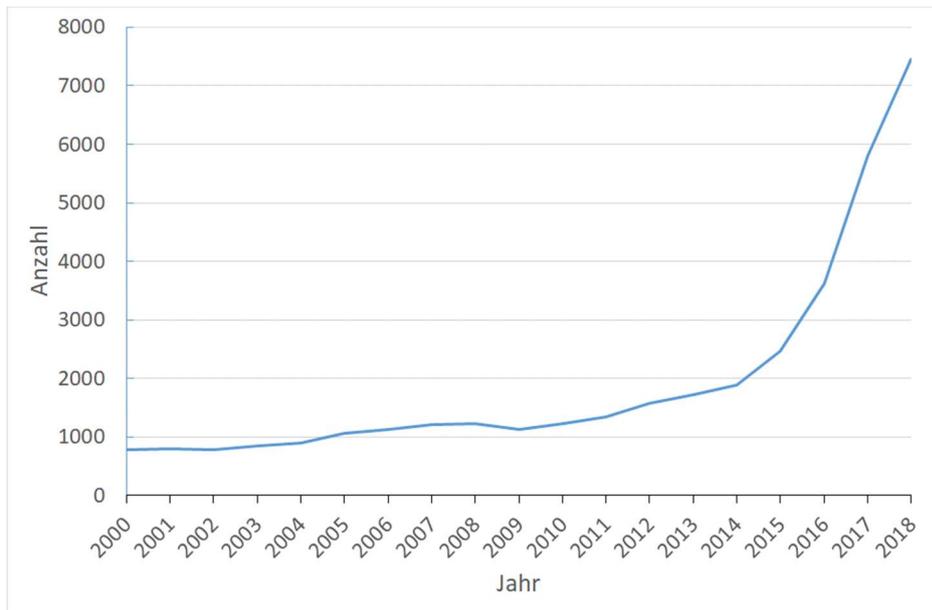
Wichtige Problemtypen, bei denen KI angewandt wird sind

- Klassifikationen
- Abschätzungen
- Clusterung
- Optimierung
- Erkennung von Anomalien
- Rangbildung
- Empfehlungen
- Datenerzeugung in besonderer Form (McKinsey 2018:5)

Es geht somit um Probleme der unscharfen Logik, die auf der Basis von Erfahrungen (Lernen, Training) gelöst werden. Es gibt Anwendungen in einer Vielzahl von Wirtschaftszweigen. McKinsey (2018a:9) benennt allein 18 sehr verschiedene Wirtschaftszweige wie Mikroelektronik, Bankwesen, Versicherungen, Reiseorganisation, Transport oder Medizintechnik. Besondere Schwerpunkte werden gesehen bei Mikroelektronik, Automobilproduktion, Bankwesen, Medizintechnik, sehr stark Versicherungen, Pharmazie, Einzelhandel, Sozialwesen und Telekommunikation. Aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten ist eine belastbare Ermittlung des Marktwertes sehr schwierig (McKinsey 2018:18).

Zur Analyse der Patentanmeldungen wurde eine sehr aufwändige Strategie der OECD benutzt, die aktuell der beste Vorschlag zu diesem Thema ist (Baruffaldi u. a. 2020). Aus technischer Sicht ist zunächst einmal festzustellen, dass es KI als Forschungsfeld schon seit mehr als 20 Jahren gibt, dass die Zahl der Patentanmeldungen jedoch seit 2014 massiv angestiegen ist (Abbildung 4-2). Es ist davon auszugehen, dass die Zahlen weiter steigen werden.

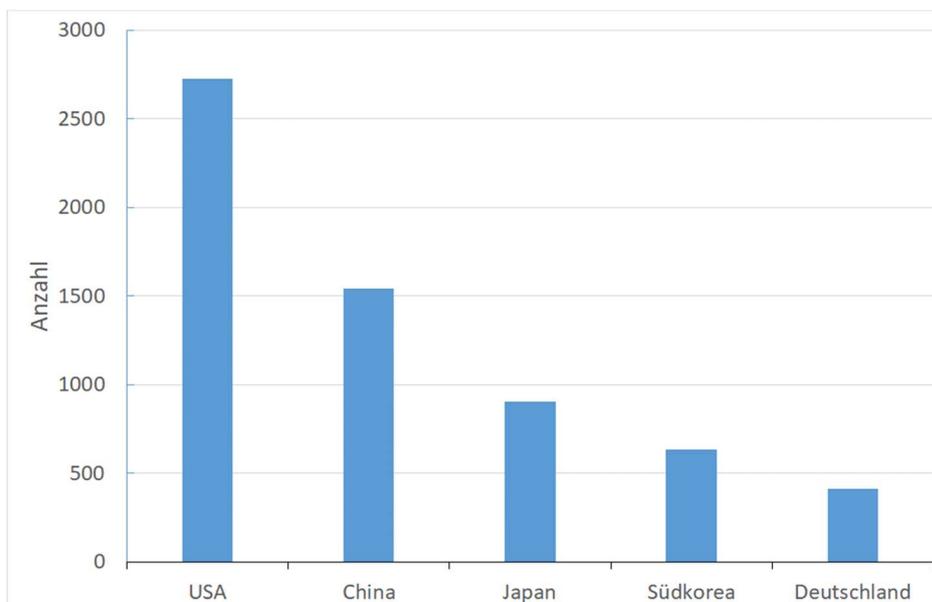
Abbildung 4-2: Zahl der Transnationalen Patentanmeldungen zur Künstlichen Intelligenz



Quelle: WPI, eigenen Erhebungen

Abbildung 4-3 zeigt die Anmeldezahlen für wichtige Länder. Die USA sind mit Abstand führend gefolgt von China. Die Zahl der deutschen Anmeldungen liegt bei dem Vergleich mit diesen wichtigen Ländern am niedrigsten.

Abbildung 4-3: Zahl der Transnationalen Patentanmeldungen für wichtige Länder, 2018



Quelle: WPI, eigene Erhebungen

Die Vielzahl von Anwendungen von KI zeigt sich auch in der Vielzahl von Patentunterklassen, in denen Patentanmeldungen zu KI eingeordnet sind. Insgesamt sind 299 Unterklassen von insgesamt 325 betroffen, also fast die gesamte Technik. Die am häufigsten betroffenen Unterklassen sind in Tabelle 4-2 aufgelistet.

Tabelle 4-2: Wichtige Unterklassen für die Einordnung von Patentanmeldungen zur Künstlichen Intelligenz, 2018

Unterklasse	Anzahl	Gegenstand
G06N	5295	Spezielle Rechnermodelle
G06F	2592	Elektr. digitale Datenverarbeitung
G06K	2362	Erkennen von Daten
G06T	1876	Bildverarbeitung
G06Q	1073	Datenverarbeitung für geschäftliche Zwecke
H04N	576	Bildübertragung
H04L	572	Übertragung digitaler Informationen
A61B	465	Med. Diagnostik, Chirurgie
G16H	440	Medizinische Informatik
G05D	404	Steuer- und Regelsysteme für nichtelektrische Größen
G10L	372	Analyse und Synthese von Sprache, Spracherkennung
G05B	292	Steuer- und Regelsysteme allgemein
G08G	285	Steuern und Überwachen des Verkehrs
B60W	284	Steuerung und Regelung bei Fahrzeugen
G01N	246	Analysieren von Stoffen
H04W	203	Drahtlose Kommunikationsnetze
G01C	193	Navigation
G01S	163	Funknavigation
G16B	121	Bioinformatik

Quelle: WPI, eigene Erhebungen

In der Unterklasse G06N werden Neuronale Netze eingruppiert. Ansonsten wird die Breite der Anwendungen von der Bildverarbeitung über geschäftliche Zwecke (Banken, Versicherungen), Spracherkennung, Verkehrssteuerung und Chirurgie (Chirurgieroboter) bis hin zur Bioinformatik deutlich. Aufgrund dieser eminenten Bedeutung ist die Initiative der Bundesregierung zur Stärkung der Künstlichen Intelligenz in Deutschland nachdrücklich zu begrüßen.⁸

Die Liste der größten Anmelder in der Künstlichen Intelligenz wird von Unternehmen aus den USA, China, Südkorea und Japan dominiert, aber auch Siemens und Bosch erscheinen an prominenter Position in Tabelle 4-3. Siemens war ein Pionier bei den Neuronalen Netzen (Schmoch u. a. 1996). Insgesamt gibt es 2018 rund 1400 Anmelder in der Künstlichen Intelligenz, d. h. durch die vielen Anwendungsmöglichkeiten haben sich viele Mittelständler auf spezielle Anwendungen spezialisiert. Hier bestehen auch für deutsche Mittelständler große Chancen, interessante Anwendungen zu erschließen.

Tabelle 4-3: Größte Anmelder in der Künstlichen Intelligenz, 2018

Unternehmen	Land	Anzahl
SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD	Südkorea	168
MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING LLC	USA	146
HUAWEI TECHNOLOGIES CO LTD	China	82
NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE CORP	Japan	81
GOOGLE LLC	USA	62
NEC CORP	Japan	58
SONY CORP	Japan	55
SIEMENS AG	Deutschland	50
TATA CONSULTANCY SERVICES LTD	Indien	45
INT BUSINESS MACHINES CORP	USA	43
BOSCH GMBH ROBERT	Deutschland	40
IBM UK LTD	USA	39
LG ELECTRONICS INC	Südkorea	38
FUJITSU LTD	Japan	36
ALIBABA GROUP HOLDING LTD	China	30
CANON KK	Japan	30
IBM CHINA INVESTMENT CO LTD	USA/China	30
KONINK PHILIPS NV	Niederlande	30
FUJI FILM CORP	Japan	28
WAYMO LLC	USA	28

⁸ <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>

Unternehmen	Land	Anzahl
GENERAL ELECTRIC CO	USA	27
NOKIA TECHNOLOGIES OY	Finnland	24
SIEMENS HEALTHCARE GMBH	Deutschland	24
OMRON CORP	Japan	23
BEIJING DIDI INFINITY TECHNOLOGY & DEV	China	22
INTEL CORP	USA	22
OMRON KK	Japan	22
ACCENTURE GLOBAL SOLUTIONS LTD	Irland	21
ELEMENT AI INC	Kanada	21
DAJIANG INNOVATIONS TECHNOLOGY CO LTD	China	20
DIDI RES AMERICA LLC	USA	20
HERE GLOBAL BV	USA	20
NEC LAB AMERICA INC	Japan	20
SZ DJI TECHNOLOGY CO LTD	China	20
ZOOX INC	USA	20

Quelle: WPI, eigene Recherchen

Eine ausführlichere Untersuchung der Teilfelder der Künstlichen Intelligenz ist grundsätzlich möglich, würde aber den Rahmen dieser Studie übersteigen.

4.2 Entwicklung der Robotik

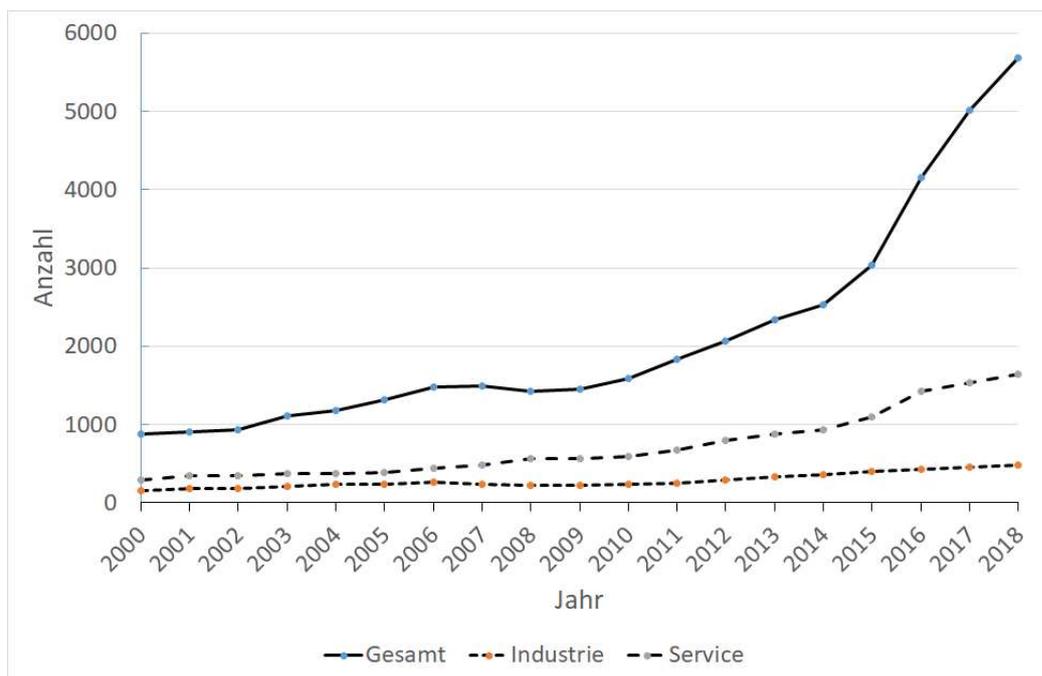
Die Zukunftstechnologie Soft Robotics ist ein besonders anspruchsvolles Teilfeld der Robotik, bei dem es um die präzise Handhabung besonders empfindlicher Güter geht. Insgesamt ist das Gebiet der Robotik deutlich größer. Die ersten Anmeldungen zu Robotern wurden bereits in den 1970er-Jahren registriert. Das Gebiet hat sich aber ständig weiterentwickelt, insbesondere seit die Informationstechnik zur Steuerung der Roboter kompakter, leistungsfähiger und kostengünstiger geworden ist (etwa seit 1995). Etwa seit dem Jahr 2000 bekommen Serviceroboter neben Industrierobotern ein immer größeres Gewicht. Sie sind von der Regelung her aufwändiger, weil sie nicht wie Industrieroboter in einem definierten Raum arbeiten und damit mit neuen Situationen konfrontiert werden. So arbeiten z. B. Reinigungsroboter in der Nähe von Menschen und es müssen Unfälle ausgeschlossen werden. Dienstleistungsroboter werden nicht nur im gewerblichen Kontext verwendet; es werden zunehmend auch Dienstleistungsroboter für den privaten Bereich angeboten, etwa zum Staubsaugen oder Rasenmähen. Die Expertenkommission Forschung und Innovation stellte in ihrem Gutachten von 2006 die Robotik als Zukunftstechnologie heraus (EFI 2006).

Für die Anmeldungen zu Robotern ergibt sich ein Zeitverlauf nach Abbildung 4-4. Danach ist ein gleichmäßiger Anstieg, seit 2014 ein starker Anstieg zu beobachten. Die Anmeldungen zu Service-Robotern liegen höher als die zu Industrie-Robotern. Inzwischen liegen auch die Umsätze von Service-Robotern höher (Beckert u. a. 2016). Seit 2014 ist auch bei Service-Robotern ein stärkeres Wachstum zu beobachten.

Eine erhebliche Menge von Anmeldungen kann weder Industrie- noch Service-Robotern zugeordnet werden. Dabei geht es vor allem um datentechnische Fragen zu Bildübertragung, Bildererkennung, Regeln usw.

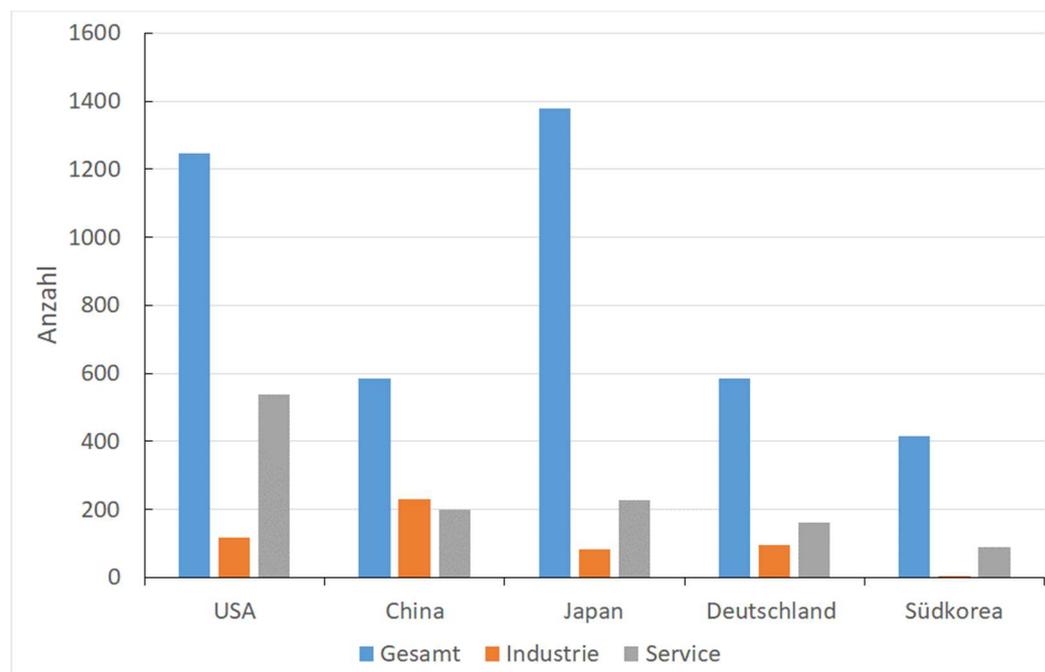
Bei einer Analyse der Herkunftsländer ergibt sich bei Robotern insgesamt eine führende Stellung von Japan dicht gefolgt von den USA. Die USA sind bei den Service-Robotern an erster Stelle, China führt bei Industrierobotern. Deutschland liegt etwa gleichauf mit China und ist stärker als Südkorea (Abbildung 4-5).

Abbildung 4-4: Transnationale Anmeldungen zu Robotern



Quelle: WPI, eigene Erhebungen

Abbildung 4-5: Herkunftsländer von Anmeldungen zu Robotern, 2018



Quelle: WPI, eigene Erhebungen

In Tabelle 4-4 sind die deutschen Anmelder von Roboterpatenten aufgelistet. Der einzige originäre Hersteller von Industrierobotern, Kuka, ist zwar formal ein deutsches Unternehmen und produziert in Deutschland, gehört jedoch einem chinesischen Unternehmen.⁹

Tabelle 4-4: Deutsche Anmelder von Roboterpatenten, 2018

Unternehmen	Anzahl
SIEMENS AG	42
KUKA DEUT GMBH	39
BOSCH GMBH ROBERT	38
VOLKSWAGEN AG	20
SICK AG	18
FRANKA EMIKA GMBH	16
ABB SCHWEIZ AG	14
KRONES AG	9
FRAUNHOFER GES FOERDERUNG ANGEWANDTEN EV	8
SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO KG	8

⁹ <https://www.handelsblatt.com/meinung/kommentare/kommentar-kuka-wird-zum-testfall-fuer-chinesische-investoren-in-deutschland/23679014.html?ticket=ST-2306577-K7TSxfAypSpYaU4JJkH7-ap5>

Unternehmen	Anzahl
BSH HAUSGERAETE GMBH	7
BRAINLAB AG	6
SCHMALZ GMBH J	6
AUDI AG	5
MIELE & CIE KG	5
OERLIKON TEXTILE GMBH & CO KG	5
BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG	4
CONTINENTAL REIFEN DEUT GMBH	4
EISENMANN SE	4
IGUS GMBH	4
SIEMENS HEALTHCARE GMBH	4
THYSSEN KRUPP AG	4
TRINAMIX GMBH	4

Quelle: WPI, eigene Erhebungen

Insgesamt ist die Robotertechnik schon relativ alt, kann aber aufgrund der starken aktuellen Wachstumsraten durchaus zu den Zukunftstechnologien gerechnet werden und hat auf jeden Fall eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung.

4.3 Bedeutung der Informationstechnik für Zukunftstechnologien

Bei der Analyse der Zukunftstechnologien ist immer wieder die große Bedeutung der Informationstechnik deutlich geworden. Vor diesem Hintergrund soll systematisch untersucht werden, in welchem Ausmaß die ausgewählten Zukunftstechnologien von der Informationstechnik abhängen. Zu diesem Zweck wurden zunächst einmal Patentunterklassen (IPC-4-Steller) zusammengestellt, in die Patentanmeldungen zur Informationstechnik eingruppiert werden. Neben den hier zentralen Codes der Klasse G06 kommen die zur Spracherkennung (G10L), zur Medizininformatik (G16H) sowie zur Bioinformatik (G16B) hinzu. Weiterhin wurden die Unterklassen zur Klasse H04 für die elektrische Nachrichtentechnik hinzugenommen, weil viele Operationalisierungen der Informationstechnik mit der Übertragung von Daten, insbesondere der drahtlosen Übertragung, verbunden sind. Im zweiten Schritt wurde dann ermittelt, welcher Anteil der Patentanmeldungen zu einer Technologie in der Informationstechnik eingruppiert ist.

Aus dieser Analyse ergibt sich ein Bild nach Tabelle 4-5. Der Anteil von Informationstechnik beträgt im Durchschnitt der Technologien 36 Prozent. Es gibt natürlich Technologien mit einem sehr geringen Anteil von Informationstechnik, aber es fällt auf, dass die Informationstechnik immer stärker in Bereiche der Mechanik, Medizin oder Chemie wie

Additive Fertigung, Robotik, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Mikrobiom, Digitale Medizin oder Hybridelektrische Kfz vordringt. Dieser Befund unterstreicht erneut, welche große strategische Bedeutung die Informationstechnik für Zukunftstechnologien hat.

Tabelle 4-5: Anteil von Informationstechnik bei Patentanmeldungen zu Zukunftstechnologien, 2018

Nr.	Technologie	Anteil IT-Technologien
	Informationstechnik	
1	Blockchain	99,1
2	Cybersecurity	99,9
3	Künstliche Intelligenz	98,3
4	Authentifizierung (Sicherheit)	100,0
5	Internet der Dinge (IoT)	89,6
6	5G, 6G	89,8
7	Quantencomputer	90,1
	Produktionstechnik	
8	3D-Druck, Additive Fertigung	7,2
9	Soft robotics	12,8
10	Mensch-Maschine-Schnittstelle	91,6
11	Augmented- und Virtual Reality	68,4
	Werkstoffe	
12	Low-carbon steelmaking	0,3
13	Carbon Nanotube (CNT)	1,9
14	2D-Materialien, Graphen	2,4
	Gesundheit	
15	Mikrobiom	18,8
16	Digitale Medizin, Geräte	100,0
17	Neue Impfstoffe	1,0
	Verkehr	
18	Hybridelektrische Kfz	30,0
19	Brennstoffzellen für Kfz	4,6
20	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	0,5
21	Autonomes Fahren	43,1
22	Leichtbau bei Kfz	0,7
	Umwelt, Klima	
24	CO2-Management	1,6
25	Recycling	3,9
26	Umweltorientierte Biozide	0,3
27	Biomaterialien	0,5

Nr.	Technologie	Anteil IT-Technologien
	Energie	
28	Batterietechnik	1,8
29	Alternative Solarzellen	1,9
30	Smart grid	82,0
31	Energiespeicherung (außer Batterien)	6,7
32	Wasserstoffproduktion	0,8

Quelle: WPI, eigene Erhebungen und Berechnungen

5 Bewertung der Technologien nach wirtschaftlichem Impact

Die Verbindung von Technologien mit einem wirtschaftlichen Impact ist grundsätzlich schwierig, weil die amtlichen Statistiken zu Umsatz, Beschäftigung oder Wertschöpfung sich auf Wirtschaftszweige, nicht aber Technologien beziehen. Eine etwas engere Verbindung gibt es beim Außenhandel, der nach Produktgruppen klassifiziert ist. Die entsprechenden Klassifikationen SITC oder HS sind aber zu veraltet und zu grob und nicht zur Beschreibung von Zukunftstechnologien geeignet.

Deshalb bleiben nur zwei Möglichkeiten der ökonomischen Bewertung von Zukunftstechnologien. Zum einen gibt es eine Reihe von Marktstudien, die sich mit Zukunftstechnologien befassen und neben anderen Informationen auch Umsatzzahlen angeben. Zum anderen lassen sich aus Patentanmeldungen Beziehungen zu ökonomischen Daten herstellen, weil in der Version des Fraunhofer ISI alle Patentanmeldungen auch in der Klassifikation der Wirtschaftszweige eingruppiert sind. Das ist möglich, weil die Anmelder in PATSTAT mit Unternehmen assoziiert werden, die in der Datenbank ORBIS erfasst sind.

Beide Ansätze haben methodische Vor- und Nachteile. Deshalb wurden beide Ansätze für alle Technologien durchgeführt und die Ergebnisse wechselseitig miteinander verglichen. Im Falle größerer Abweichungen wurde geprüft, wo die Ursache liegen könnte und welches Ergebnis plausibler ist. Auf diese Weise konnte für alle Technologien eine ökonomische Bewertung erreicht werden. Dieses führt zu einer anderen Rangliste als die technologische. Da es sich um verschiedene Dimensionen der Bewertung handelt, macht es keinen Sinn, diese miteinander zu verrechnen. Vielmehr müssen beide Formen der Bewertung nebeneinandergestellt werden.

5.1 Das Bewertungsverfahren durch Marktstudien

Die Bewertung über Marktstudien scheint auf den ersten Blick der sicherste Weg zu sein, den Marktwert einer Technologie zu ermitteln. Bei genauerem Hinsehen zeigt sich allerdings, dass es eine Reihe von methodischen Problemen gibt, die stets beachtet werden müssen.

5.1.1 Methodik der Bewertung

Eine grundsätzliche Frage bei Marktstudien ist immer, auf welche Weise die Daten erhoben werden (Unternehmensbefragung, Expertenbefragung usw.) und wie die jeweiligen Technologien definiert werden. In einer Untersuchung von Hullmann (2007) zur Nanotechnologie zeigt sich beispielsweise, dass verschiedene Marktstudien zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen kommen.

Ein weiteres Problem im vorliegenden Kontext, bei dem es um die Bedeutung für Deutschland geht, ist die Frage, für welche Einheit der Marktwert jeweils angegeben wird. Üblich ist der globale Wert am Weltmarkt. Einzelne Studien geben auch den Wert am amerikanischen und europäischen Markt an. In wenigen Fällen wird auch der Wert am deutschen Markt angegeben. Auch in diesem Fall ist aber nicht klar, wer die Technologien bereitstellt. Denn neben deutschen agieren auch ausländische Unternehmen am deutschen Markt. Außerdem gibt der Wert am deutschen Markt keine Auskunft darüber, wie hoch der Export deutscher Unternehmen ist.

Angesichts dieser Probleme wurde in den meisten Fällen der Wert am Weltmarkt herangezogen und über den Anteil bei Patentanmeldungen der deutsche Anteil ermittelt.¹⁰ Das ist natürlich nur eine Näherung, weil am Weltmarkt nicht nur die technologische Stärke, sondern auch Faktoren wie Preis, Qualität, Kundenfreundlichkeit usw. eine Rolle spielen. Dafür ist bei diesem Vorgehen die gesamte Produktion deutscher Unternehmen für den Binnenmarkt und für den Export erfasst.

Zusätzlich muss jeweils geprüft werden, ob in einer Zukunftsstudie eine spezifische Technologie so wie im Rahmen dieser Studie definiert ist. Oftmals werden nur Segmente betrachtet.

Schließlich gibt es zu speziellen Technologien wie Soft Robotics keine Marktstudien, wohl aber zu übergeordneten Technologien wie Industrieroboter. Auch hier wurde mit Patentanteilen gearbeitet.¹¹

Aufgrund dieser vielfältigen Probleme ist kein einheitliches Vorgehen möglich. Deshalb wurden die Technologien einzeln behandelt. Die Ergebnisse aus den Marktstudien für die einzelnen Technologien sind in Anhang A.3 dokumentiert.

Insgesamt war es möglich, zu allen außer zwei Technologien geeignete Marktstudien zu finden.¹² In einigen Fällen haben verschiedene Quellen zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen geführt, sodass genauer geprüft werden musste, wie die Gebiete genau definiert sind und wie sie zu den Definitionen dieser Studie passen. In acht Fällen war

¹⁰ Die entsprechenden Anteilswerte sind in Tabelle A-2 im Anhang zusammengestellt.

¹¹ Siehe Tabelle A-2 im Anhang.

¹² Es gab keine Marktstudien zu Authentifizierung und E-Highways.

es auch erforderlich, die Angaben der Marktstudien über Patentanalysen an die spezifische Definition der Technologie im Rahmen dieser Studie anzupassen.¹³

¹³ Anpassungen über Patentanalysen waren erforderlich für Soft robots, Low-carbon steelmaking, Digitale Medizin, Brennstoffzellen für Kfz, Elektr. Traktionsmotoren für Kfz, umweltorientierte Biozide, Batterien für Kfz und alternative Solarzellen.

5.2 Das Bewertungsverfahren über Patentanmeldungen

Das zweite Bewertungsverfahren über Patente ermöglicht es, zwei Ansätze gegenüberzustellen und bei deutlichen Abweichungen genauer zu prüfen, wo die Ursachen für die Unterschiede liegen und auszuwählen, welche Variante adäquater ist.

5.2.1 Methodik der Bewertung

Die Bewertung über Patente basiert auf der Möglichkeit, in der Version der Patentdatenbank PATSTAT des Fraunhofer ISI Patentanmelder über die Unternehmensdatenbank ORBIS Wirtschaftszweigen (WZ) zuzuordnen.

Es wurde ein einfacher Ansatz gewählt, der die Berechnungsschritte nachvollziehbar macht. Umfangreichere Modelle mit Zeitreihen für mehrere Länder verknüpft mit Zeitreihen von Makrodaten für Wirtschaftszweige und Außenhandelsströme wären grundsätzlich möglich, aber die Ergebnisse schwer interpretierbar.

Ziel der Analyse war letztendlich die Bestimmung des Marktwertes einer Technologie für deutsche Unternehmen am aktuellen Rand, da die vorliegende Studie auf die Identifizierung von Zukunftstechnologien und deren Bedeutung für Deutschland abzielt.

Ausgangspunkt der Berechnung sind die aktuellen Patentanmeldungen von deutschen Unternehmen zu einer Technologie. Im Falle von PATSTAT sind das die Patentanmeldungen von 2017. Für jede Technologie wurde für einen etwas längeren aktuellen Zeitraum, hier 2015 bis 2017, um eine größere Stabilität der Daten zu erreichen, ermittelt, welchen Wirtschaftszweigen die Patentanmeldungen zugeordnet sind.

Im Hintergrund wurde für die Patentanmeldungen von 2015 bis 2017 ermittelt, wieviel Patentanmeldungen insgesamt auf alle Wirtschaftszweige entfielen. Auf dieser Grundlage kann errechnet werden, welcher Anteil der Patentanmeldungen in einem WZ auf die jeweilige Technologie entfallen.

Eine zentrale Annahme ist, dass Patentanmeldungen eng mit Verkaufszahlen am Markt zusammenhängen. Dieser Zusammenhang wurde schon früh von Narin und Noma (1987) entdeckt und wird von Faber (2004) ausführlicher untersucht. Selbstverständlich spielen für den Markterfolg neben der technologischen Stärke auch andere Faktoren, wie Preis, Qualität, Kundennähe usw. eine Rolle. Bei forschungsintensiven Gütern, wie das bei Zukunftstechnologien der Fall ist, kann jedoch angenommen werden, dass die Technologie im Vordergrund steht. Eine weitere sinnvolle Annahme in diesem Kontext ist, dass es einen Vorlauf von Patentanmeldungen zum Verkauf gibt, sodass die Patentanmeldungen von 2017 den Markterfolg von 2020 widerspiegeln.

Der Markterfolg eines Wirtschaftszweiges hängt zu einem großen Teil von Gütern ab, die nicht innovativ sind und die nicht zum Patent angemeldet werden. Deshalb können die Patentanmeldungen zu einem Wirtschaftszweig nur mit einem Teil des gesamten Umsatzes assoziiert werden. Hier bietet es sich an, den Umsatzanteil mit innovativen Produkten heranzuziehen, der für die verschiedenen Wirtschaftszweige in Rammer u. a. (2020:12) ausgewiesen wird.

Aus der Addition der Werte für alle Wirtschaftszweige, die zu einer Technologie gehören, ergibt sich der Marktwert für die jeweilige Technologie.

Das Verfahren soll im Folgenden am Beispiel des Autonomen Fahrens illustriert werden (Tabelle 5-1). Zunächst einmal wird festgestellt, in welchen WZ die meisten Patente zu einer Technologie angemeldet werden. Das sind beim Autonomen Fahren erwartungsgemäß Kraftfahrzeuge, Maschinenbau und DV-Geräte. Zu diesen wird neben den Patenten für die Technologie auch die Zahl der Gesamtanmeldungen in diesem Zeitraum eingetragen, im Falle des WZ Kraftfahrzeuge 87 Anmeldungen für die Technologie und 7755 Anmeldungen für den gesamten Wirtschaftszweig. Daraus lässt sich errechnen, welchen Anteil die Patente der Technologie an denen des gesamten Wirtschaftszweiges haben, im vorliegenden Fall 1,12 Prozent. Für den Wert eines Patenten der Technologie in dem Wirtschaftszweig in einem Jahr muss zunächst einmal der Gesamtwert für den WZ mit dem Anteil der Technologie multipliziert werden, dann mit dem Anteil von Produktneuheiten an dem WZ, dieser mit 0,75 (da nicht alle Produktneuheiten patentiert werden). Für den Wert pro Patent für ein Jahr darf natürlich nur ein Drittel der Patente gezählt werden, da sich die Patenzahlen auf einen Drei-Jahres-Zeitraum beziehen. Abschließend müssen die Einzelwerte für die Wirtschaftszweige zusammengerechnet werden.

Im Falle des Autonomen Fahrens gibt es eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Marktwert von PwC für 2020. Damit konnte der stark abweichende Marktwert von Kordes verworfen werden, bei dem neben dem autonomen Fahren auch Fahrassistenzsysteme eingeschlossen sind. Das Beispiel zeigt auch gut, wo die Unsicherheiten des Verfahrens liegen. So kann es bei Wirtschaftszweigen ohne eigene Produktion und wenig Patenten, wie z. B. Unternehmensberatung, zu unrealistisch hohen Werten pro Patent kommen, was im Beispiel durch eine geringe Patenzahl und damit einen geringen Technologiewert ausgeglichen wird. Eine weitere Unsicherheit ist die Annahme des Wertes pro Patent bei den sonstigen Patenten, die auf eine Vielzahl von Wirtschaftszweigen verstreut sind. Im Beispiel wurde ein Wert von 0,03 gewählt, weil der höchste Wert pro Patent bei Kraftfahrzeugen liegt und die übrigen Wirtschaftszweige deutlich niedrigere Werte pro Patent etwa bei 0,03 aufweisen. An diese wurde der Wert für die sonstigen Patente angepasst.

Es gibt bei etwa 2 Drittel der Technologien eine gute Übereinstimmung zwischen der Patentbewertung und den Marktstudien mit ± 30 Prozent. In einigen Fällen sind allerdings die Unterschiede erheblich und die Ursachen sind nicht offensichtlich. Von daher werden die Ergebnisse aus den Marktstudien bevorzugt, auch wenn es manchmal deutliche Abweichungen zwischen den verschiedenen Quellen gibt. Insgesamt ist es möglich, aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse der verschiedenen Marktstudien und der Patentanalysen ein adäquates Ergebnis für den Marktwert zu bestimmen.

Tabelle 5-1: Berechnung des aktuellen Marktwertes einer Technologie am Beispiel des Autonomen Fahrens

		2015-2017	2017	2018	2015-2017	2015-2017	2017	2020
			(Mrd. €)				(Mrd. €)	(Mrd. €)
WZ	Gegenstand	Patente WZ gesamt	Prod.-Wert WZ	Anteil Prod.-Neuh. an WZ (%)	Patente Technol.	Anteil Tech. an WZ (%)	Wert/ Patent	Wert Technol.
29	Kraftfahrzeuge	7755	414,2	0,480	87	1,12	0,160	1,673
28	Maschinenbau	22254	271,1	0,200	57	0,26	0,037	0,104
26	DV-Geräte	7104	88,2	0,366	38	0,53	0,037	0,130
70	Unternehmensb.	1837	179,3	0,131	10	0,54	0,293	0,096
27	Elektr. Ausrüst.	4838	109,3	0,295	12	0,25	0,068	0,060
	Sonstige			0,400	102		0,030	0,306
	Pat./Wert gesamt				246			2,455

Quelle: Destatis (2020:117f.), Rammer (2000), PATSTAT, eigene Recherchen und Berechnungen (Technol. = Technologie)

5.3 Gesamtergebnis der ökonomischen Bewertung

Bei der ökonomischen Bewertung im Kontext dieser Studie geht es nicht um den globalen Marktwert der Technologien, sondern nur um die Bedeutung für deutsche Unternehmen, also auch nicht um die Bedeutung am deutschen Markt, bei der auch ausländische Unternehmen einen relevanten Stellenwert haben können. Insgesamt ergibt sich eine Rangfolge nach Tabelle 5-2. In dieser Liste sind auch Roboter insgesamt aufgeführt, für die die Daten gesondert recherchiert wurden.

Tabelle 5-2: Ranking der Zukunftstechnologien nach Marktwert für deutsche Unternehmen, 2020

Nr.	Technologie	Mrd. €	Trend
1	Hybridelektrische Kfz	34,989	↗
2	Recycling	22,232	↗
3	Internet der Dinge (IoT)	15,439	?
4	Biomaterialien	14,803	↗
5	Wasserstoffproduktion	14,143	↗
6	Augmented- u. Virtual Reality	7,534	↗
7	Roboter	3,593	↗
8	Leichtbau bei Kfz	2,886	→
9	Digitale Medizin, Geräte	2,526	↗
10	Autonomes Fahren	2,468	↗
11	Low-carbon steelmaking	2,385	↗
12	5G, 6G	2,216	↑
13	Cybersecurity	2,176	↗
14	Additive Fertigung	2,153	↑
15	Batterietechnik	1,937	↗
16	Energiespeicherung	1,916	↗
17	Künstliche Intelligenz	1,849	↗
18	Alternative Solarzellen	1,671	↗
19	Authentifizierung	1,491	↗
20	Smart grid	1,448	↗
21	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	0,994	↗
22	Neue Impfstoffe	0,523	↗
23	Soft robotics	0,336	↗
24	CO2-Management	0,319	→
25	Mensch-Maschine-Schnittstelle	0,242	↗
26	Carbon Nanotube (CNT)	0,226	↗
27	Umweltorientierte Biozide	0,186	→
28	Blockchain	0,109	↑
29	Brennstoffzellen für Kfz	0,071	↗
30	2D-Materialien, Graphen	0,020	↗
31	Quantencomputing	0,008	↗
32	Mikrobiom	0,002	↗

Quelle: Verschiedene Marktstudien, eigene Berechnungen

Zu jeder Technologie ist auch der Wachstumstrend für die nächste Dekade aufgeführt. Bei fast allen Technologien wird, wie bei Zukunftstechnologien zu erwarten, ein signifikantes Wachstum prognostiziert. Wesentliche Ausnahmen sind Leichtbau bei Kfz, umweltorientierte Biozide und CO₂-Management. Das ergibt sich zumindest aus Marktstudien, Patentanalysen, Publikationsanalysen sowie Markenanalysen. Die Wachstumsprognose erklärt auch, warum Blockchain in Zukunftsstudien so hoch gehandelt wird. Hier wird für die nächsten Jahre ein extremes Wachstum prognostiziert. Gleiches gilt für 5G und Additive Fertigung.

Auffällig ist die sehr ungleiche Verteilung der Marktwerte (Abbildung 5-1). Es gibt sehr hohe Werte bei Wasserstoffproduktion bis Hybridelektrische Kfz, mittlere Werte im Korridor Elektrische Traktionsmotoren bis Roboter. Augmented und Virtual Reality steht am Übergang dieser Bereiche. Sehr niedrig sind die Werte von Neue Impfstoffe bis Mikrobiom.

Mit den Hybridelektrischen Kfz an erster Stelle wird an die traditionelle deutsche Stärke bei Kraftfahrzeugen angeknüpft. Mit Recycling, Biomaterialien und Wasserstoffproduktion stehen drei Technologien im Kontext Gesellschaftlicher Herausforderungen weit vorne, die in üblichen Zukunftsstudien nicht erscheinen.

Von den Informationstechnologien gehören Internet der Dinge und Augmented und Virtual Reality zu den bedeutenden Technologien. 5G, Cybersecurity und Künstliche Intelligenz gehören gegenwärtig noch zum mittleren Wertebereich, könnten aufgrund ihres Wachstums in den nächsten Jahren aber eine größere Bedeutung erlangen.

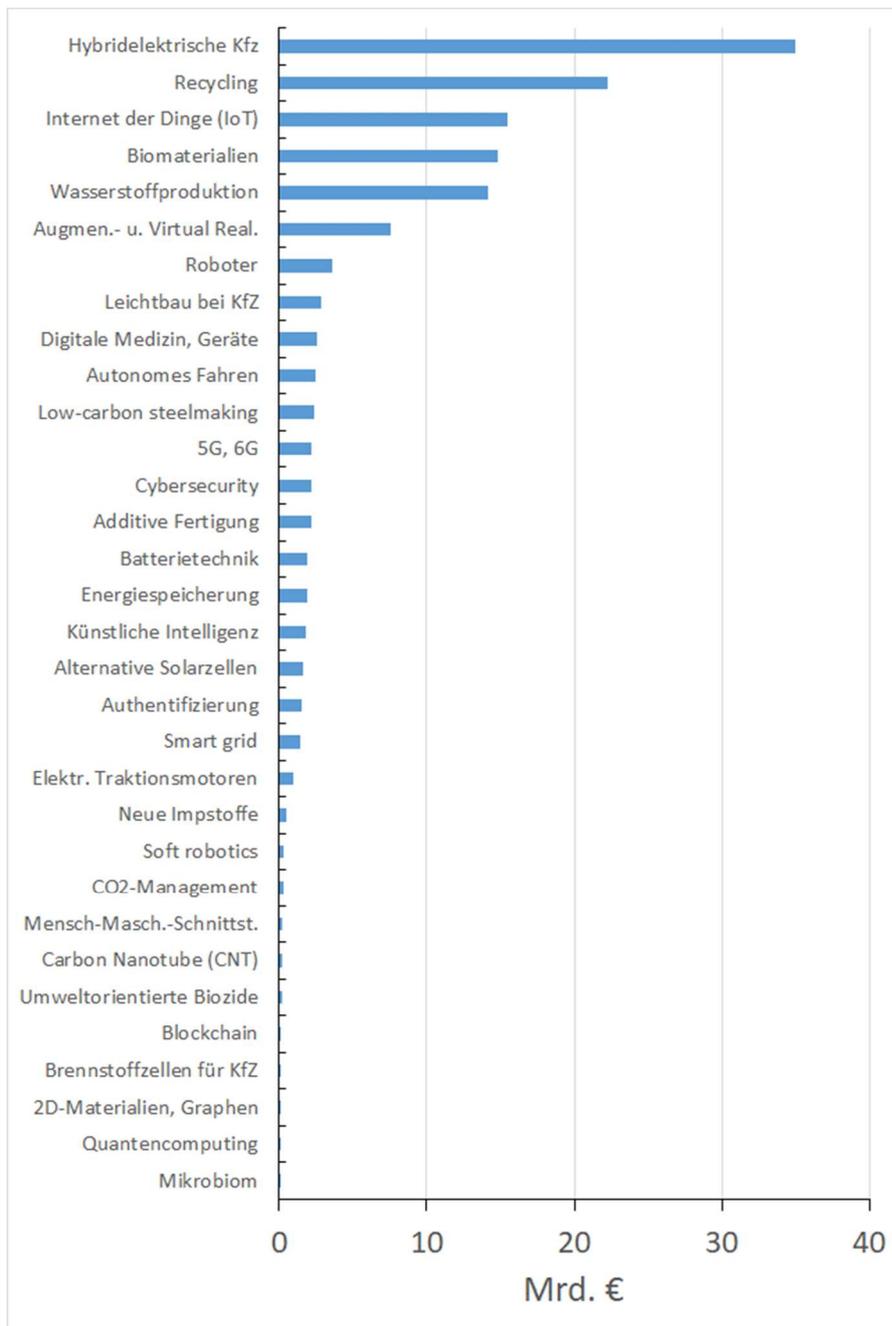
Der Marktwert bezieht sich auf Umsätze, bei Informationstechnologien mit Hard- und Software. McKinsey (2018b) sieht allerdings bei der Künstlichen Intelligenz erhebliche Wirkungen auf die Gesamtwirtschaft im Wesentlichen durch Produktivitätserhöhungen bei Verarbeitendem Gewerbe und Dienstleistungen (ebenda 13 ff.). Für den Zeitraum bis 2030 wird ein jährlicher Beitrag zur Gesamtwirtschaft von 1,2 Prozent gesehen, während es für Industrieroboter ein Produktivitätszuwachs von 0,4 Prozent war. Diese Sekundäreffekte sind somit massiv und setzen die Künstliche Intelligenz faktisch auf die führende Position der Zukunftstechnologien. Aufgrund der Einführungskosten sind die gesamten Sekundäreffekte allerdings aktuell leicht negativ, werden aber 2030 einen erheblichen Umfang haben (ebenda 23). Lundvall (2020), einer der führenden Innovationsökonomien stellt entsprechend fest: "AI is at the core of the second phase of the ICT-revolution." Auch die Analysen in Kapitel 4.1 bestätigen diese zentrale Rolle der Künstlichen Intelligenz für die Informationstechnik insgesamt.

Die Darstellung nach Abbildung 5-1 ist für den aktuellen Zeitraum noch zutreffend, schon mittelfristig müsste die Künstliche Intelligenz ein größeres Gewicht erhalten. Natürlich

haben auch andere Technologien wie 5G oder Internet der Dinge deutliche Sekundäreffekte; diese werden aber im Vergleich zur Künstlichen Intelligenz weniger ausgeprägt sein.

Die Technologien aus dem unteren Wertebereich sind aktuell noch in einer sehr frühen Phase und werden mittelfristig nicht wesentlich zur Wertschöpfung in Deutschland beitragen. Das muss in etwa fünf Jahren neu bewertet werden. Bei allen der diesbezüglichen Technologien ist nach den Ausführungen der Zukunftsstudien zu erwarten, dass sie langfristig ein deutlich höheres Gewicht erreichen werden.

Abbildung 5-1: Verteilung des Wertes bei deutschen Unternehmen für Zukunftstechnologien, 2020



Quelle: Verschiedene Marktstudien, eigene Berechnungen

6 Wirtschaftlicher Impact und technologische Gesamtindikatoren

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Identifikation von Zukunftstechnologien und ihrer Bedeutung für Deutschland. Wesentliches Kriterium für die Auswahl war, dass die Technologien schon mittelfristig eine hohe Relevanz am Markt erreichen, womit Technologien angesprochen sind, die schon aktuell am Markt vertreten sind und ein deutliches Wachstumspotenzial haben.

Nach einer Auswahl einer Reihe von Technologien aus Zukunftsstudien und anderen Quellen, die grundsätzlich nach diesen Kriterien relevant waren, wurden diese nach technologischen und ökonomischen Kriterien genauer bewertet. Dieses war erforderlich, weil Zukunftsstudien lediglich sagen, dass bestimmte Technologien in Zukunft wichtig werden. Sie sind international ausgerichtet und machen keine spezifischen Aussagen zur Relevanz in spezifischen Ländern. Sie machen auch keine Angaben zu den Marktvolumina, die mit den jeweiligen Technologien verbunden sind. Um die Bedeutung für Deutschland zu ermitteln, wurden für jede Technologie technologische und ökonomische Bewertungen durchgeführt.

Die technologische Bewertung erfolgte vor allem über Patente, die eine präzise Definition der Technologie ermöglichen und viele Teilaspekte wie Trend, Volumen, deutsche Beteiligung usw. erfassen können. Sie reflektieren in erster Linie die kurz- und mittelfristige Entwicklung. Weitere Elemente der technologischen Bewertung sind Publikationen, die für wissenschaftliche Aktivitäten und die langfristige Entwicklung einer Technologie stehen. Zusätzlich wurden Marken ausgewertet, die spiegeln, in welchem Maße die Technologien schon aktuell am Markt vertreten sind.

Für die technologische Analyse wurden für jede Technologie bei Patenten, Publikationen und Marken die internationale zeitliche Entwicklung (Trends), die deutsche Ausrichtung auf die jeweilige Technologie sowie der absolute Umfang der deutschen Aktivitäten ermittelt, bei Patenten und Publikationen zusätzlich die Qualität der deutschen Aktivitäten. Die technologische Bewertung beschreibt damit vor allem die technologischen Kompetenzen in Deutschland.

Für die ökonomische Bewertung der Technologien wurden zu jeder Technologie Marktstudien ermittelt. Dabei musste darauf geachtet werden, dass die Definition der Technologien, die diesem Bericht zugrunde liegt, mit dem der Marktstudien übereinstimmt und wo Unterschiede liegen. Weiterhin beziehen sich Marktstudien meist auf den internationalen Marktwert, manchmal auch auf den für größere Regionen wie Amerika, Europa oder Asien. Für die Bedeutung für Deutschland ist aber die Relevanz für deutsche Unternehmen relevant. Auch das Volumen am deutschen Markt ist nicht hilfreich, weil hier

bei vielen Technologien ausländische Unternehmen im maßgeblichen Umfang vertreten sind. Um einen Bezug auf die Bedeutung für Deutschland zu erreichen, war eine Umrechnung der weltweiten Marktvolumina über deutsche Patentanteile notwendig. Damit sind alle deutschen Aktivitäten erfasst, also auch Exporte.

Ein zweiter Ansatz zur Bewertung der ökonomischen Bedeutung war die Berechnung des Wertes deutscher Aktivitäten über Patente, bei der über eine Klassifikation der Patente¹⁴ nach Wirtschaftszweigen eine Verbindung zwischen Patenten und ökonomischen Statistiken vorgenommen wird. Die Ergebnisse dieser Analyse wurden mit den Ergebnissen aus den Marktstudien verglichen. Vor allem, wenn verschiedene Marktstudien zu derselben Technologie zu unterschiedlichen Ergebnissen führten, konnten die Ergebnisse der ökonomischen Patentanalyse im Sinne einer Triangulation zur Bestimmung des wahrscheinlicheren Wertes herangezogen werden.

Die Bewertung der Technologien nach wirtschaftlichem Impact und nach technologischen Gesamtindikatoren (Patente, Publikationen, Marken) spiegeln verschiedene Dimensionen der Bedeutung von Zukunftstechnologien für Deutschland. Der wirtschaftliche Impact zeigt in erster Linie die aktuelle Relevanz, die technologischen Gesamtindikatoren die Möglichkeiten des Engagements in diesen Technologien ausgehend von den eigenen Kompetenzen. Von daher ist das Ranking nach diesen beiden Dimensionen nicht identisch, wie aus Abbildung 6-1 hervorgeht. Aufgrund ihrer Verschiedenheit macht es auch keinen Sinn, beide Dimensionen miteinander zu verrechnen. Deshalb sind beide Dimensionen in Abbildung 6-1 nebeneinandergestellt und gleiche Technologien wurden durch Linien miteinander verbunden.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass in vielen Fällen der Marktwert und der Technologieindex auf einem ähnlichen Niveau liegen. Das trifft z. B. auf sieben der ersten zehn Technologien mit dem größten Marktwert zu, die ebenfalls unter die ersten zehn Technologien des Technologieindex fallen. Im Falle von Hybridelektrischen Kfz, Internet der Dinge und Wasserstoffproduktion liegt der Rang des Technologieindex deutlich unter dem Rang nach dem Marktwert. Bei den Hybridelektrischen Kfz ist dies auf die unterdurchschnittliche Familiengröße/Qualität bei Patenten, bei dem Internet der Dinge auf die niedrige deutsche Spezialisierung, die niedrige absolute Zahl der Patente sowie die unterdurchschnittliche Familiengröße zurückzuführen. Bei der Wasserstoffproduktion sind alle diese Werte gerade durchschnittlich. Das zeigt, dass in diesen Technologien ein großes technologisches Engagement nötig ist, um die prognostizierten Marktwerte zu erreichen.

¹⁴ Über den Wirtschaftszweig der patentierenden Unternehmen.

Eine ähnliche Situation liegt bei Low-carbon steelmaking, 5G und Smart Grid vor. Das heißt auch bei diesen Technologien sind erhebliche technologische Anstrengungen erforderlich, um die Wachstumspotenziale der Zukunftstechnologien für Deutschland nutzen zu können.

Die Bestimmung der Relevanz von Technologien nach Marktwert und technologischer Kompetenz wie in Abbildung 6-1 kann ergänzend auch nach weiteren Kriterien vorgenommen werden. Ein mögliches Kriterium ist die Beteiligung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), da diese in erheblichem Maße zur Beschäftigung in Deutschland beitragen. Der Anteil von KMU lässt sich über Patente auswerten und ist in den Abschnitten 3.2.1.3 und A.2 dokumentiert. Neben der bewussten Förderung von Technologien mit hohem KMU-Anteil ist es auch denkbar, dass gerade KMU-Aktivitäten in Technologien gefördert werden, die aktuell in Deutschland von großen Unternehmen dominiert werden. Beispiele sind die Technologien Künstliche Intelligenz, 5G oder Internet der Dinge, bei denen KMU wesentlich zu deren Anwendung beitragen könnten. Schon jetzt gibt es in den USA in diesen Technologien relativ viele KMU.

Abbildung 6-1: Ranking der Technologien nach wirtschaftlichem Impact und nach technologischen Gesamtindikatoren

Marktwert			Technologiebewertung		
Nr.	Technologie	Mrd. €	Rang	Technologie	Gesamt-Index
1	Hybridelektrische Kfz	34,989	1	Additive Fertigung	33
2	Recycling	22,232	2	Biomaterialien	32
3	Internet der Dinge (IoT)	15,439	3	Roboter	29
4	Biomaterialien	14,803	4	Autonomes Fahren	29
5	Wasserstoffproduktion	14,143	5	Leichtbau bei Kfz	27
6	Augmented- u. Virtual Reality	7,534	6	Batterietechnik	27
7	Roboter	3,593	7	Alternative Solarzellen	27
8	Leichtbau bei Kfz	2,886	8	Recycling	26
9	Digitale Medizin, Geräte	2,526	9	Augmented- u. Virtual Reality	25
10	Autonomes Fahren	2,468	10	CO2-Management	25
11	Low-carbon steelmaking	2,385	11	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	24
12	5G, 6G	2,216	12	Brennstoffzellen für Kfz	24
13	Cybersecurity	2,176	13	Umweltorientierte Biozide	24
14	Additive Fertigung	2,153	14	Cybersecurity	23
15	Batterietechnik	1,937	15	Digitale Medizin, Geräte	22
16	Energiespeicherung	1,916	16	Energiespeicherung	22
17	Künstliche Intelligenz	1,849	17	Wasserstoffproduktion	22
18	Alternative Solarzellen	1,671	18	Internet der Dinge (IoT)	22
19	Authentifizierung (Sicherheit)	1,491	19	2D-Materialien, Graphen	22
20	Smart grid	1,448	20	Künstliche Intelligenz	21
21	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	0,994	21	Hybridelektrische Kfz	21
22	Neue Impfstoffe	0,523	22	Mikrobiom	21
23	Soft robotics	0,336	23	Mensch-Maschine-Schnittstelle	21
24	CO2-Management	0,319	24	Authentifizierung (Sicherheit)	20
25	Mensch-Maschine-Schnittstelle	0,242	25	Neue Impfstoffe	19
26	Carbon Nanotube (CNT)	0,226	26	Quantencomputer	18
27	Umweltorientierte Biozide	0,186	27	5G, 6G	18
28	Blockchain	0,109	28	Low-carbon steelmaking	17
29	Brennstoffzellen für Kfz, insb. Lkw	0,071	29	Soft robotics	16
30	2D-Materialien, Graphen	0,020	30	Blockchain	16
31	Quantencomputing	0,008	31	Carbon Nanotube (CNT)	15
32	Mikrobiom	0,002	32	Smart grid	15

7 Wirtschaftspolitische Maßnahmen

Die identifizierten Zukunftstechnologien lassen sich in Technologien im Kontext von Kraftfahrzeugen, im Bereich der Informationstechnologien und in Bezug auf Umwelt und Klima einteilen. Hinzu kommen Technologien im Zusammenhang von Produktion und Medizin.

Zu den Kraftfahrzeugtechnologien zählen Hybridelektrische Kfz, Batterietechnik, Elektrische Traktionsmotoren, Leichtbau bei Kfz und Autonomes Fahren. Hier sind die deutschen Unternehmen technologisch gut aufgestellt. Bis auf Hybridelektrische Kfz liegen diese Technologien auf einem Rang nach dem Technologieindex von mindestens 12. Die Aussichten für den deutschen Automobilbau als einer deutschen Schwerpunkindustrie sind deshalb positiv, erfordern aber ein weiteres Engagement in der Forschung. Bei Hybridelektrischen Kfz gibt es einen starken Wettbewerb mit Frankreich und vor allem Japan, bei der Batterietechnik mit Japan und Südkorea.

In all diesen Technologien haben deutsche Unternehmen gute Voraussetzungen, in die neuen Märkte zu kommen, es sind aber erhebliche Investitionen nötig, um Kompetenzen in der Elektromobilität aufzubauen. Es ist unbedingt erforderlich, in diese neue Richtung zu gehen, weil die südostasiatischen Märkte hier einen Schwerpunkt setzen und auch große Teile des US-amerikanischen Marktes. Es ist im Automobilmarkt wichtig, die verschiedenen Märkte mit gleicher Technologie zu bedienen, um eine hinreichende Rentabilität zu erreichen. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, von staatlicher Seite keine Unterstützung von verbesserten Verbrennungsmotoren zu gewähren, da diese Technologie schon mittelfristig obsolet ist. Wesentlich sind vor allem klare Rahmenbedingungen zugunsten von Elektromobilität und Förderprämien beim Kauf von E-Mobilen. Ein zentraler Ansatz ist die Verbesserung der Lade-Infrastruktur in Deutschland.

Die Informationstechnologien wurden schon von den Vertretern der Wirtschaftsverbände als zentrale Herausforderung herausgestellt. Der zentrale Punkt ist hier, dass die Informationstechnik eine immer größere Bedeutung für Wirtschaftszweige wie Kraftfahrzeuge, Maschinenbau oder Chemie erhält und eine Abhängigkeit von ausländischen Unternehmen problematisch ist. Zu den Informationstechnologien mit Zukunftspotenzial gehören Internet der Dinge, Augmented und Virtual Reality, 5G/6G, Cybersecurity, Authentifizierung, Künstliche Intelligenz, Blockchain, Quantencomputer und abgeleitet auch Roboter, Soft Robotics, Digitale Medizin, Smart Grids und Autonomes Fahren. Die Analysen zur Konvergenz der Informationstechnologie (Abschnitt 4.1) haben gezeigt, dass diese Technologien eng zusammenhängen und es deshalb nicht sinnvoll ist, sich nur auf einzelne zu konzentrieren. Allerdings wird die Künstliche Intelligenz eine Schlüsselrolle haben.

Man muss aber eingestehen, dass die deutsche Spezialisierung auf alle Bereiche der Informationstechnik stark unterdurchschnittlich ist, was für Patente (Tabelle 3-5) und auch Publikationen gilt. Hier ist es wenig realistisch, durch verstärkte Investitionen in wissenschaftliche und technologische Forschung in wenigen Jahren international den Anschluss zu erreichen. Diese Bereiche sollten zwar gefördert werden, etwa durch Ausbau der entsprechenden Fachbereiche an Hochschulen oder Ausweitung der Aktivitäten an außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Entscheidend ist aber zunächst, die Kompetenz in der Anwendung der Informationstechnologien in der Produktion zu verbessern. Das kann der Aufbau von Kompetenzen in der Informationstechnik in Betrieben der Produktionstechnik sein. Schon jetzt sieht man, dass viele Patentanmeldungen zur Informationstechnologie aus Deutschland von Unternehmen aus Maschinenbau oder Fahrzeugbau kommen. Diese Initiativen dienen im Sinne der Diskussion über Technologiesouveränität dazu, eigene Kompetenzen in der Informationstechnik aufzubauen und hier eine ausreichende Eigenständigkeit zu erreichen.

Darüber hinaus sind Unternehmen im Bereich der Softwareentwicklung und -implementation wichtig, die über Kompetenzen in der Produktionstechnik verfügen. Nur solche Unternehmen können Produktionsbetriebe kompetent beraten, wie in ihrem speziellen Betrieb die Einführung von Industrie 4.0 aussehen kann. Es ist auch vorstellbar, dass in diesem Segment Startups aufgebaut werden.

Ein wesentliches Element zur Stärkung der Informationstechnologien ist der Ausbau der entsprechenden Bildung an Schulen, Fachhochschulen und Universitäten. Auch hier sind Studiengänge, die die Verbindung von Produktions- und Informationstechnik zum Inhalt haben, für den deutschen Kontext wesentlich. Auf diese Weise kann mittelfristig dem schon jetzt bestehenden Fachkräftemangel in diesem Bereich begegnet werden.

In der Informationstechnologie sind somit Maßnahmen in Bildung, Forschung, Betriebsgründungen und Betriebsergänzungen erforderlich. Das Ziel muss sein, in der Anwendung von Informationstechnologie die internationale Wettbewerbsfähigkeit zu erreichen. Während es sich insgesamt bewährt hat, nationale Schwerpunkte in der technologischen Wettbewerbsfähigkeit zu verteidigen und das Profil langfristig stabil zu halten, wie es z. B. aus dem deutschen Patentprofil nach Abbildung 2-1 hervorgeht, ist eine dezidierte Verstärkung der Kompetenzen in der Informationstechnologie eine entscheidende Aufgabe.

Die Durchdringung fast aller Technologien durch die Informationstechnik betrifft nicht nur Deutschland, sondern alle industrialisierten Länder. Vor diesem Hintergrund hat die OECD aktuell einen „Digital Economy Outlook“ herausgegeben, in dem das Phänomen der Digitalisierung beschrieben wird und forschungspolitische Empfehlungen gegeben

werden (OECD 2020). Wichtig zum Verständnis ist hier, dass bei der OECD Digitalisierung nicht nur die Verbesserung der Infrastruktur (Glasfaserkabel, Schnelles Internet) und die Ausstattung von öffentlichen Einrichtungen mit Informationstechnik, sondern die Integration der Informationstechnik in alle Bereiche der Wirtschaft betrifft.

Zu den Zukunftstechnologien im Bereich der Umwelt zählen Recycling, Biomaterialien, Wasserstoffproduktion, Low-carbon steelmaking, Energiespeicherung, Smart Grid, CO₂-Management, Umweltorientierte Biozide und abgeleitet Batterietechnik und Brennstoffzellen. In der überwiegenden Zahl der Fälle ist die technologische Basis in Deutschland gut. Die entscheidende Frage ist meist, ob sich diese Technologien aus ökonomischer Sicht rechnen. Angesichts der Verknappung von Rohstoffen und der Klimaproblematik ist das mittelfristig sicherlich gegeben, kann aber in einer kurzfristigen Sicht problematisch sein. Deshalb ist ein wichtiger Punkt, durch öffentliche Regelungen zuverlässige Rahmenbedingungen zu schaffen, dazu zählt z. B. die kürzlich beschlossenen CO₂-Steuer. Viele Maßnahmen müssen auch in den Betrieben ansetzen. Das Recycling ist nicht nur Aufgabe der entsprechenden Branche, sondern in Produktionsbetrieben aller Branchen müssen Maßnahmen zur Rückführung und zum Aufbereiten von Rohstoffen gefördert werden, wofür z. B. auch Steueranreize denkbar wären.

Insgesamt sind alle Anreize, die den Umweltschutz mit der Wirtschaft verbinden, vorteilhaft. Schon aktuell fördert die KfW viele Aktivitäten von Unternehmen im Bereich Umwelt.¹⁵

Zu den Produktionstechnologien zählen Roboter, Leichtbau, Low-carbon Steelmaking und Additive Fertigung. Die technologischen Voraussetzungen für deutsche Unternehmen sind generell gut. Eine besondere Herausforderung ist die Behauptung deutscher Unternehmen in dem neuen Markt der Additiven Fertigung. Dieser Markt zielt auf Produkte mit komplexer Geometrie und auf die Fertigung in kleiner Serie.¹⁶ Wettbewerbsfaktoren sind technische Qualität, spezifische Lösungen und Preis. Aktuell sind unter den deutschen Patentanmeldern neben Mittelständlern auch große Unternehmen wie Siemens, BMW, BASF oder Airbus vertreten. Alle Arten von Materialien von Kunststoffen über Zemente bis zu Metallen werden genutzt. Viele neue Anwendungen sind noch

¹⁵ <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Erneuerbare-Energien-Umwelt/>

¹⁶ <https://www.mission-additive.de/was-ist-additive-fertigung-definitionen-anwendungen-potenziale-a-898676/>

experimentell und risikobehaftet. Es ist zu erwarten, dass es hier eine Reihe von Neugründungen gibt, die technisch anspruchsvolle Lösungen für spezifische Anwendungen entwickeln. Hier ist ein ausreichendes Angebot von Risikokapital wichtig.

Zu den Zukunftstechnologien der Medizin zählen Neue Impfstoffe, Digitale Medizin und Mikrobiom. Impfstoffe waren lange Zeit ökonomisch wenig attraktiv und stagnierten in Verkauf und Forschung. Mit der Corona-Pandemie haben Impfstoffe eine neue Bedeutung bekommen. Es wird nach Meinung von Fachleuten in den kommenden Jahren auch immer wieder ähnliche neue Viren geben, für die in kurzer Zeit neue Impfstoffe benötigt werden. Dazu können neue Formen von Impfstoffen einen wichtigen Beitrag leisten. Da die Patentanalysen nur bis zum Jahr 2018 reichen und auch die Marktstudien vor 2020 angefertigt wurden, wird der Marktwert von neuen Impfstoffen in Tabelle 5-1 unterschätzt. In jedem Fall besteht ein erhebliches Wachstumspotenzial. Gleich mehrere deutsche Firmen sind hier gut aufgestellt. Die staatliche Beteiligung ist sicherlich ein geeignetes Instrument, die deutschen Interessen in diesem Bereich zu wahren. Eine andere Möglichkeit ist ein frühzeitiger Abschluss von Lieferverträgen mit öffentlichen Stellen.

Bei der digitalen Gerätemedizin ist die Stellung deutscher Unternehmen im Grundsatz gut. Auch hier gelten die Überlegungen zur Informationstechnologie zur Stärkung der Kompetenz in der Anwendung.

In der Mikrobiom-Technologie befindet sich die Forschung noch in einer frühen Phase. Gesicherte Behandlungsverfahren zu Arthritis, Allergien, Autoimmunkrankheiten oder Krebs stehen noch aus. Aus diesem Grund wird die langfristige Bedeutung auf der Basis von Patentanalysen und Marktstudien deutlich unterschätzt. Positiv sind der deutliche Aufwärtstrend und die positive deutsche Spezialisierung bei Publikationen. Eine Förderung muss aktuell vor allem in der Unterstützung der medizinischen Forschung liegen.

Insgesamt gibt es keine einheitlichen Fördermaßnahmen für Zukunftstechnologien. Aufgrund der großen Varianz muss für jede Technologie über spezifische Formen nachgedacht werden. Da die Technologien in der Regel schon am Markt präsent sind, ist die Unterstützung der Forschung nicht die wichtigste Komponente einer Förderung. Schaffung von verlässlichen Rahmenbedingungen am Markt, steuerliche Anreize, Finanzierungshilfen beim Aufbau neuer Aktivitäten im Unternehmen oder am Markt oder auch gezielte öffentliche Nachfrage (Edler und Georgiou 2007) sind oft wichtiger.

Alles in allem gibt es gute Bedingungen für ein Engagement deutscher Unternehmen in einer Reihe von Zukunftstechnologien, die zu einer Stärkung der wirtschaftlichen Strukturen beitragen werden.

8 Literatur

- Andreescu, L.; Dragomir, B.; Gheorghiu, R.; Baboschi, C.; Curaj, A.; Cuhls, K.; Warnke, P.; Svetlana Meissner, S. (2018): *Radical Innovation Breakthrough Inquirer*. Bucharest and Karlsruhe: Fraunhofer ISI und Institutul de Prospectiva.
- Barnes, W.; Gartland, M.; Stack, M. (2004): *Old Habits Die Hard: Path Dependency and Behavioural Lock-in*. In: *Journal of Economic Issues* 38(2), S. 371-77.
- Baruffaldi, S.; van Beuzekom, B.; Dernis, H.; Harhoff, D.; Rao, N.; Rosenfeld, D.; Squicciarini, M. (2020): *Identifying and measuring developments in artificial intelligence: Making the impossible possible*. OECD Working Papers 2020/05, Paris: OECD.
- Beckert, B.; Buschak, D.; Graf, B. (IPA), Hägele, M. (IPA), Jäger, A.; Moll, C.; Schmoch, U.; Wydra, S. (2016): *Automatisierung und Robotik-Systeme*. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 11-2016. Berlin: EFI.
- Benedikter, R. (2016): *Deutschland und die Zukunftstechnologien*. Telepolis, zugreifbar über <https://www.heise.de/tp/features/Deutschland-und-die-Zukunftstechnologien-3454459.html>.
- Bertelmann-Stiftung (Hrsg.) (2020): *Weltklassepatente in Zukunftstechnologien. Die Innovationskraft Ostasiens, Nordamerikas und Europas*. Gütersloh: Bertelmann-Stiftung.
- BMBF (Hrsg.) (2018): *Forschung und Innovation für die Menschen, Die Hightech-Strategie 2025*. Berlin: BMBF.
- Cuhls, K.; Ganz, W.; Warnke, P. (Hrsg.) (2009): *Foresight im Auftrag des BMBF. Zukunftsfelder neuen Zuschnitts*. Karlsruhe, Stuttgart: Fraunhofer ISI und IAO.
- Destatis (2020): *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Fachserie 18, Reihe 1.4*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Döscher, H.; Reiss, T.; Schmaltz, T.; Schmoch, U.; Thielmann, A. (2020): *GRM Technology and Innovation Roadmap. Report in the context of the EU Graphene Flagship project*. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Edler, J.; Georghiou, L. (2007): *Public procurement and innovation – Resurrecting the demand side*. In: *Research Policy* 36(7), S. 949-963.
- Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016): *Gutachten 2016*, Berlin: EFI.
- Faber, J. (2004): *Innovation capabilities of European nations: Cross-national analyses of patents and sales of product innovations*. In: *Research Policy* 33(2), S. 193-207.

- Fraunhofer (2020): Quantum Machine Learning. Sankt Augustin: Fraunhofer-Gesellschaft.
- Frietsch, R.; Schmoch, U. (2010): Transnational patents and international markets. In: *Scientometrics* 85, S. 185-200.
- Frietsch, R.; Schmoch, U.; Neuhäusler, P.; Rothengatter, O. (2011): Patent Applications - Structures, Trends and Recent Developments. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 9-2011. Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI).
- Ganz, W.; Hermann, S., Ardilio, A.; Keicher, L., Schletz, A.; Schirrmeister, E.; Meissner, S.; Maloca, S. u. a. (2019): Foresight Fraunhofer. Zukunftsthemen für die angewandte Forschung. München: Fraunhofer.
- Gartner (Hrsg.) (2020): Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. Orlando: Gartner.
- Hullmann, A. (2007): Measuring and assessing the development of nanotechnology. In: *Scientometrics* 70(3), S. 739-758.
- Khramova, E.; Meissner, D.; Sagieva, G. (2013): Statistical Patent Analysis Indicators as a Means of Determining Country Technological Specialisation. *Economics of Innovation, eJournal*.
- Lundvall, B. A. (2020): FREEMAN CENTENARY LECTURE 'Innovation System Research and Economic Development', Online-Vorlesung vom 7.1.2021, zugreifbar über <https://www.cris-is.org/event-details/>.
- March, Ch.; Schieferdecker, I. (2020): Digitale Innovationen und Technologiesouveränität. In: *Wirtschaftsdienst*, Heft 13, S. 30-35, zugreifbar über <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2020/heft/13/beitrag/digitale-innovationen-und-technologiesouveraenitaet.html>.
- McKinsey Global Institute (2018a): Notes from the AI frontier. Insights from hundreds of use cases, New York: McKinsey Global Institute.
- McKinsey Global Institute (2018b): Notes from the AI frontier. Modelling the impact of AI on the world economy, New York: McKinsey Global Institute.
- Michels, C.; Schmoch, U. (2012): The growth of science and database coverage. In: *Scientometrics* 93(3), S. 831-846.
- Munda, G.; Nardo, M. (2005): Constructing Consistent Composite Indicators: the Issue of Weights, EUR 21834EN. Luxembourg: European Commission.
- Narin, F.; Noma, E.; Perry, R. (1987): Patents as indicators of corporate technology strength. In: *Research Policy* 16, S. 143-155.

- OECD (2020): Digital Economy Outlook 2020, Paris: OECD.
- Püttner, C. (2013): 12 Technik-Trends, Neue Leber aus dem 3D-Drucker. Berlin, New York: McKinsey, zugreifbar über <https://www.cio.de/a/neue-leber-aus-dem-3d-drucker,2917205>.
- Rammer, C.; Doherr, T.; Peters, B.; Krieger, B.; Behrens, V.; Schubert, T.; Trunschke, M.; van der Burg, J. (2020): Innovationen in der deutschen Wirtschaft, Indikatorenbericht zur Innovationserhebung 2019. Mannheim: ZEW.
- Reiss, T.; Frietsch, R.; Schubert, T.; Kukk, P.; van de Velde, E. (2016): Study on EU Positioning: An Analysis of the International Positioning of the EU Using Revealed Comparative Advantages and the Control of Key Technologies. Final Report. Luxembourg: European Commission.
- Ren, W.; Cheng, H.-M. (2014): The global growth of graphene. In: Nature Nanotechnology 9, S. 726-739.
- Schmoch, U. (2007): Double-boom cycles and the comeback of science-push and market-pull. In: Research Policy 36(7), S. 1000-1015.
- Schmoch, U. (2008): Concept of a Technology Classification for Country Comparisons. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, zugreifbar über https://www.wipo.int/export/sites/www/ipstats/en/statistics/patents/pdf/wipo_ipc_technology.pdf.
- Schmoch, U.; Breiner, S.; Cuhls, K.; Hinze, S.; Münt, G. (1996): The Organisation of Interdisciplinarity – Research Structures in the Areas of Medical Lasers and Neural Networks. In: Reger, G.; Schmoch, U. (Hrsg.): Organisation of Science and Technology at the Watershed. Heidelberg: Physica-Verlag, S. 267-372.
- Schmoch, U.; Gauch, S. (2009): Service marks as indicators for innovation in knowledge-based services. In: Research Evaluation 18(4), S. 323-335.
- Schmoch, U.; Khan, M. (2019): Methodological Challenges for Creating Accurate Patent Indicators. In: Glänzel, W. u. a. (Hrsg). Springer Handbook of Science and Technology Indicators. Cham: Springer, S. 907-927.
- Soete, L.; Wyatt, S. (1983): The use of foreign patenting as an internationally comparable science and technology indicator. In: Scientometrics 5(1), S. 31-54.
- Statistische Bundesamt (2020): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen 2019, Fachserie 18 Reihe 1.4. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Studybees (Hrsg.) (2019): Technologien der Zukunft: 10 Themen im Überblick. Mannheim: Studybess, zugreifbar über <https://studybees.de/magazin/technologien-der-zukunft-10-themen-im-ueberblick/>.

TA Swiss (Hrsg.) (2020): Programmed trust: Opportunities and risks of blockchain technology. Zürich: vdf Hochschulverlag.

Van Raan, A. F. J. (2004): Measuring Science, Capita Selecta of Current Main Issues. In: Moed, H. F.; Glänzel, W.; Schmoch, U. (Hrsg.): Handbook of Quantitative Science and Technology Research, S. 19-50.

WEF (Hrsg.) (2016): Top 10 Emerging Technologies of 2016. Colony, Geneva: WEF.

Anhang

A.1 Quellen für die Ermittlung von Zukunftstechnologien

Zur Ermittlung von potenziell interessanten Zukunftstechnologien wurden verschiedene Quellen herangezogen. Neben aktuellen Studien zu Zukunftstechnologien wurden Technologien zu gesellschaftlichen Herausforderungen geprüft, Experten innerhalb des Fraunhofer ISI befragt sowie Experten von wichtigen deutschen Wirtschaftsverbänden konsultiert.

A.1.1 Studien zu Zukunftstechnologien

Es wurden für die Auswahl von Zukunftstechnologien die folgenden Studien herangezogen:

1. Foresight Fraunhofer (Ganz u. a. 2019)
2. TA Swiss Blockchain (TA Swiss 2020)
3. EU Positioning (Reiß u. a. 2016)
4. Weltklassepatente (Bertelsmann-Stiftung 2020)
5. BMBF Foresight (Cuhls u. a. 2009)
6. BMBF HighTech (BMBF 2018)
7. McKinsey (Püttner 2013)
8. Gartner (Gartner 2020)
9. RIBRI (Andreescu u. a. 2018)
10. Studybees (Studybees 2019)
11. Telepolis (Benedikter 2016)
12. WEF (WEF 2016)

Die Studie Foresight Fraunhofer beruht auf einer breiten Befragung führender Fraunhofer-Mitarbeiter zu Zukunftsthemen der angewandten Forschung. Viele davon befinden sich noch in einem sehr frühen Stadium und sind für die vorliegende Fragestellung nicht geeignet. Eine Reihe von Technologien war jedoch auch im vorliegenden Kontext relevant.

Die Studie der TA Swiss zur Blockchain-Technologie befasst sich ausführlich mit deren Möglichkeiten und Risiken.

Die Studie EU Positioning befasst sich mit den sogenannten Key Enabling Technologies (KETs), die die Europäische Kommission für besonders relevant für die technologische Wettbewerbsfähigkeit Europas hält, sowie mit den Societal Development Goals (SDGs).

Die Studie der Bertelsmann-Stiftung zu Weltklassepatenten wurde von dem Schweizer Unternehmen EconSight erstellt. Sie enthält eine Liste von zukunftssträchtigen Bereichen, die sich über die gesamte Technik erstrecken. Die meisten Bereiche sind allerdings zu breit gefasst, geben aber Anregungen, wo Zukunftstechnologien zu finden sind.

Die Studie BMBF Foresight führt eine Vielzahl von Zukunftstechnologien auf, die jedoch sehr langfristig orientiert sind und einen sehr spekulativen Charakter haben. Sie sind daher für die vorliegende Fragestellung nicht geeignet.

Die Analyse der deutschen Tochter des amerikanischen Beratungsunternehmens McKinsey beruht auf Erfahrungen des Unternehmens im Kundengeschäft und greift dort wichtige Trends auf. Gleiches gilt für das amerikanische Beratungsunternehmen Gartner. Dessen Studie ist allerdings aktueller als die von McKinsey.

Bei RIBRI handelt es sich um eine Untersuchung im Auftrag der Europäischen Kommission, für die das Internet systematisch im Hinblick auf neue Technologien durchsucht wurde. Die Mehrzahl dieser Technologien befindet sich noch in einem sehr frühen Stadium. Einige sind aber auch für die vorliegende Fragestellung interessant.

Studybees ist eine Online-Plattform von etwa 20 deutschen Universitäten, die unter anderem eine Analyse von Zukunftstechnologien in ihrem Programm anbietet.

Telepolis ist ein Online-Magazin für Politik und Medien, das sich auch regelmäßig mit neuen Technologien beschäftigt.

Die Abkürzung WEF steht für Schweizer World Economic Forum, das regelmäßig Jahrestagungen mit prominenten Teilnehmern veranstaltet und Berichte zu ökonomischen und politischen Themen, unter anderem auch zu neuen Technologien veröffentlicht.

Viele Zukunftstechnologien werden in mehreren dieser Studien angeführt.

A.1.2 Zukunftstechnologien abgeleitet aus gesellschaftlichen Zielen

Die Vereinten Nationen haben gesellschaftliche Entwicklungsziele (Societal Development Goals, SDGs) formuliert, die von vielen Akteuren übernommen wurden. Daraus abgeleitet hat sich z. B. die Europäische Kommission bereits früh eigene Schwerpunkte für ihre Innovations- und Wissenschaftspolitik gegeben. Diese sind:

1. Gesundheit, demografischer Wandel und Wohlergehen
2. Ernährungs- und Lebensmittelsicherheit, nachhaltige Land- und Forstwirtschaft, marine, maritime und limnologische Forschung und Biowirtschaft
3. Sichere, saubere und effiziente Energie
4. Intelligenter, umweltfreundlicher und integrierter Verkehr
5. Klimaschutz, Umwelt, Ressourceneffizienz und Rohstoffe
6. Europa in einer sich verändernden Welt: integrative, innovative und reflektierende Gesellschaften
7. Sichere Gesellschaften – Schutz der Freiheit und Sicherheit Europas und seiner Bürger

Diese Ziele sind vorrangig nicht technologieorientiert, enthalten allerdings teilweise auch technologische Aspekte. Die meisten neuen Technologien sind mit ökonomischen Zielen verknüpft. Somit besteht die Herausforderung darin, Technologien zu identifizieren, die Beiträge zur Erreichung der SDGs leisten. Üblicherweise erscheinen Zukunftstechnologien, die solche Beiträge leisten können, nicht in Studien zu Zukunftstechnologien. In der Studie EU Positioning (Reiss u. a. 2016) wurde daher versucht, die in den Zielen enthaltenen technischen Komponenten zu definieren. Diese technischen Definitionen der gesellschaftlichen Ziele wurden auch für die vorliegende Studie herangezogen. Weiterhin beschäftigen sich im Fraunhofer ISI drei Competence Center mit Energie- und Umweltfragen. Von deren Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen wurden zusätzliche Zukunftstechnologien zu den SDGs vorgeschlagen.

Schließlich wurden von Vertretern der Wirtschaftsverbände größere Zukunftsthemen wie die CO₂-Minderung vorgebracht, ähnliches gilt für Studien Weltklassepatente (Bertelsmann-Stiftung 2020) oder BMBF HighTech (BMBF 2018).

A.1.3 Interne und externe Experten

Zusätzlich zu den erwähnten Quellen wurden interne und externe Experten befragt. Im Fraunhofer ISI wurden insgesamt 15 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen aus verschiedenen Competence Center befragt. Neben einzelnen Anregungen zu Zukunftstechnologien und der Korrektur von ersten Vorschlägen aus den Zukunftsstudien wurde insbesondere eine Liste von rund 250 Zukunftstechnologie bereitgestellt mit unterschiedlicher Breite und unterschiedlichem Entwicklungsstadium. Daraus wurden viele Vorschläge aus den Zukunftsstudien bestätigt und neue Vorschläge übernommen, die für den vorliegenden Kontext von Interesse sind. Aus dieser Quelle stammen auch einige Vorschläge für Technologien im Zusammenhang von SDGs.

Um Vorstellungen zu Zukunftstechnologien der Wirtschaftsverbände zu ermitteln und insbesondere mögliche Auswirkungen der Corona-Krise auf entsprechende Aktivitäten zu erfassen, wurden die folgenden Verbände befragt:

1. VDMA
2. VCI (Chemie)
3. Bitkom
4. Verband der Automobilindustrie (VDA)
5. Bundesverband der Arzneimittel-Hersteller e.V. (BAH)
6. Forschungsvereinigung der Arzneimittelhersteller e.V. (FAH)
7. ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.
8. VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
9. SET e.V. Wirtschaftsverband Anlagenbau und Industrieservice
10. BVMed Bundesverband Medizintechnik
11. Verband für Anlagentechnik (VAIS)
12. Bundesverband der deutschen Industrie (BDI)

Diese Verbände wurden schriftlich und in fünf Fällen auch mündlich befragt. Aus diesen Befragungen ergaben sich verschiedene neue Zukunftstechnologien und die Bestätigung von solchen aus den Zukunftsstudien. Weiterhin wurden auch die Internetseiten dieser Verbände ausgewertet, die häufig ebenfalls technologische Perspektiven ansprechen.

A.2 Technologisches Ranking unter Berücksichtigung der Relevanz von KMU

Ranking der Technologien nach den Gesamtindikatoren (Patente, Publikationen, Marken), wenn zusätzlich beiden Patentindikatoren die Beteiligung von KMU mit der Gewichtung von 1,5 eingeführt wird. Dabei sind die Ränge ohne die Berücksichtigung von KMU aufgeführt, wenn sich die Ränge signifikant verbessert haben.

Tabelle A-1: Rangfolge der Zukunftstechnologien bei den technologischen Gesamtindikatoren bei der Berücksichtigung des KMU-Anteils bei Patenten

Rang	Rang ohne KMU	Technologie	Gesamt-Index
1		Additive Fertigung	35,8
2		Roboter	35,4
3		Biomaterialien	34,5
4	8	Recycling	33,0
5	10	CO2-Management	30,7
6		Autonomes Fahren	30,4
7		Leichtbau bei Kfz	30,0
8		Alternative Solarzellen	29,8
9	16	Energiespeicherung	29,8
10		Batterietechnik	28,5
11		Augmented- u. Virtual Reality	28,2
12	17	Wasserstoffproduktion	28,2
13	15	Digitale Medizin, Geräte	26,8
14		Umweltorientierte Biozide	26,8
15		Cybersecurity	26,3
16	19	2D-Materialien, Graphen	26,2
17		Elektr. Traktionsmotoren	25,7
18		Brennstoffzellen für Kfz	25,4
19		Soft robotics	23,9
20		Low-carbon steelmaking	23,4
21		Internet der Dinge (IoT)	23,3
22		Hybridelektrische Kfz	22,8
24		Authentifizierung (Sicherheit)	22,7
25		Künstliche Intelligenz	22,6
26	32	Carbon Nanotube (CNT)	22,4
27		Mikrobiom	22,2
28	33	Smart grid	22,2
29		Mensch-Maschine-Schnittstelle	22,1
30		Neue Impfstoffe	20,7
31		Quantencomputer	19,8
32		5G, 6G	19,4
33		Blockchain	17,4

A.3 Ergebnisse von Marktstudien für einzelne Technologien

Für die einzelnen Technologien wurde in erster Linie der Marktwert für 2020 ermittelt, da Patentanmeldungen der Vermarktung vorlaufen und der letzte Erhebungswert mit PATSTAT von 2017 in etwa den Vermarktungswert von 2020 widerspiegelt. Darüber hinaus wird über die zukünftige Entwicklung berichtet.

(1) Für **Blockchain** gibt es eine Angabe zum weltweiten Marktvolumen vom Anbieter Statista, der neben eigenen Erhebungen auch auf andere Quellen zurückgreift. In diesem Fall bezieht sich Statista auf eine Publikation von Shahong Liu aus dem Jahr 2020.¹⁷ Für 2020 wird ein weltweites Marktvolumen von 3 Mrd. US\$ angenommen, allerdings wird bis 2025 ein starkes Wachstum angenommen und dann ein Wert von 39,7 Mrd. US\$ prognostiziert. Der große Anbieter für Marktstudien Frost & Sullivan bietet keine Studien mit Marktwerten zu Blockchain an.

(2) Allied Market Research gibt für **Internetsicherheit (Cybersecurity)** für 2020 einen weltweiten Marktwert von 42,8 Mrd. US\$ an, wobei sich der Wert seit 2013 nahezu verdoppelt hat. Die Analyse stammt aus dem Jahr 2013.¹⁸

(3) Für **Künstliche Intelligenz** gibt es eine Marktstudie von Tractia aus dem Jahr 2020, die für 2020 eine weltweite Marktgröße von 22,6 Mrd. US\$ annimmt. Die Prognose für 2025 liegt sehr viel höher bei 126 Mrd. US\$. IDC sieht für 2020 ein Volumen von 51,1 Mrd. US\$.¹⁹ Die Unterschiede sind auf eine breitere Abdeckung der vielfältigen Anwendungsbereiche von Künstlicher Intelligenz bei IDC zurückzuführen.

Speziell bei Künstlicher Intelligenz besteht das Problem darin, dass es viele verschiedene Marktsegmente wie Business-Anwendungen, Spracherkennung, Industrieroboter, Autonomes Fahren, Supercomputer, Einzelhandel usw. gibt, die zusammengerechnet werden müssen.²⁰

(4) Zu **Authentifizierung** gibt es keine Marktstudien.

¹⁷ <https://www.statista.com/statistics/647231/worldwide-blockchain-technology-market-size/>

¹⁸ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/378763/umfrage/prognostiziertes-umsatzvolumen-des-marktes-fuer-internetsicherheit-weltweit/>

¹⁹ <https://www.statista.com/statistics/941835/artificial-intelligence-market-size-revenue-comparisons/>

²⁰ file:///C:/Users/us/Downloads/study_id38585_kuenstliche-intelligenz-statista-dossier.pdf

(5) Für das **Internet der Dinge** liegen die Angaben von IDC zu den weltweiten Ausgaben im Jahr 2020 bei 742 Mrd. US\$.²¹ Eine Publikation von Gartner aus dem Jahr 2017 kommt für 2020 auf ein weltweites Marktvolumen von 470 Mrd. US\$.²² Das Problem bei IoT ist wie bei KI die Vielzahl von Anwendungsbereichen.

(6) Nach einer Publikation von Tenzer (2019) steigt das weltweite Marktvolumen für die **5G**-Technologie von 0,5 Mrd. US\$ im Jahr 2018 auf 26 Mrd. US\$ im Jahr 2022.²³ Yano Research sieht für 5G im Jahre 2020 ein Volumen von 105,8 Mrd. US\$, für 2022 205,6 Mrd. US\$, also wesentlich höhere Volumina.²⁴ Ein Grundproblem ist hier die Definition, was zu der Technologie gehört.

(7) Beim **Quantencomputer** ist nach Fraunhofer (2020) das aktuelle Marktvolumen vernachlässigbar, es liegt 2030 bei 2 Mrd. US\$, 2040 bei 18 Mrd. US\$ und 2050 bei 48 Mrd. US\$.²⁵ Die Autoren beziehen sich dabei auf eine Studie von BCG.

Nach Tractia sind es 2020 260 Mio. US\$, nach Market Research Future dagegen 58 Mrd. US\$. Tractica sieht 2030 ein Volumen von 9 Mrd. US\$, Mind Commerce schon 2024 18 Mrd. US\$.²⁶ Die Differenzen bei dieser Technologie, die sich noch in einer frühen Phase befindet, sind also erheblich.

(8) Bei der **Additiven Fertigung** liegt nach Focus Online der weltweite Umsatz 2020 bei 3,1 Mrd. US\$.²⁷ Nach Wohlers Associates liegt der weltweite Markt für 3D-Printing Produkte und Dienstleistungen 2020 bei 16 Mrd. US\$.²⁸ Auch hier ist die Differenz der Abschätzungen erheblich.

21 file:///C:/Users/us/Downloads/study_id34576_marktprognosen-zum-internet-der-dinge-statista-dossier.pdf

22 <https://www.statista.com/statistics/913299/projected-global-revenue-of-the-internet-of-things-segment/>

23 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/940311/umfrage/prognose-zum-umsatz-mit-5g-netzwerktechnik-weltweit/>

24 <https://www.statista.com/statistics/1174487/global-5g-related-devices-market-size/>

25 https://newsletter.fraunhofer.de/public/a_14338_S4Jdz/file/data/1847_Fraunhofer_BIG_DATA_AI-Studie-QML_web.pdf

26 <https://www.statista.com/statistics/936010/quantum-computing-future-market-outlook-forecast/>

27 file:///C:/Users/us/Downloads/study_id29177_additive-fertigung-statista-dossier.pdf

28 file:///C:/Users/us/Downloads/study_id21960_additive-manufacturing-statista-dossier.pdf

(9) Zu **Soft robotics** gibt es keine Marktstudien, wohl aber zu industriellen Robotern. Hier besteht wieder das Problem, dass sich die Anwendungen auf viele verschiedene Einzelbereiche beziehen, die addiert werden müssen. Nach Statista liegen nach einer Eigenanalyse die weltweiten Verkaufszahlen 2020 bei 28,1 Mrd. US\$.²⁹ In Bezug auf Service-Roboter gibt Statista einen weltweiten Verkaufswert für 2020 von 17,11 Mrd. US\$ an.³⁰

Für die Abschätzung des Marktvolumens für Soft Robotics wurde dessen Patentanteil an Industriellen Roboter herangezogen.³¹

(10) Für die Technologie **Mensch-Maschine-Schnittstelle** gibt ReportLinker für 2019 ein weltweites Marktvolumen von 4,18 Mrd. US\$ an, für 2028 von 8,77 Mrd. US\$, also rund doppelt so viel.³²

(11) IDC gibt für **Augmented und Virtual Reality** für 2021 einen weltweiten Umsatz von 67,3 Mrd. US\$ an.³³ 2015 waren es noch 2,3 Mrd. US\$, die Steigerung ist also massiv. Völlig anders sind die Zahlen von Morgan Stanley: Danach werden nur für Augmented Reality im Jahr 2020 ein weltweiter Umsatz von 186 Mrd. US\$ erzielt.³⁴ Allerdings bezieht sich IDC nur auf Geräte, Morgan Stanley auf Geräte und Dienstleistungen. Nur für Geräte gibt Morgan Stanley 68 Mrd. US\$ an, was sich mit IDC weitgehend deckt.

(12) Für **Low-carbon steelmaking** gibt es keine Marktstudie. Es gibt Studien zur Menge der Stahlproduktion und Angaben zum weltweiten Volumen zu einzelnen Segmenten des Stahlmarktes. Das führt in der Summe zu 466 Mrd. US\$ für 2020 und 648 Mrd. US\$ für 2025.³⁵ Für die Abschätzung von Low-carbon steelmaking wurde der Patentanteil an der gesamten Produktion herangezogen.

29 <https://www.statista.com/statistics/1018262/industrial-robotics-sales-value-worldwide-by-application-area/>

30 <https://www.statista.com/statistics/1018311/service-robotics-sales-value-worldwide-by-application-area/>

31 Siehe Tabelle A-2 im Anhang.

32 <https://www.statista.com/statistics/1120222/global-human-machine-interface-market-size/>

33 <https://de.statista.com/infografik/9006/marktentwicklung-von-augmented-und-virtual-reality/>

34 <https://www.statista.com/statistics/786821/ar-device-and-services-revenue-worldwide/>

35 file:///C:/Users/us/Downloads/study_id12372_global-steel-market-statista-dossier.pdf

(13) Für **Carbon Nanotube (CNT)** wird von Reports and Data für 2018 von einem weltweiten Marktwert von 4,47 Mrd. US\$ berichtet und für 2026 ein Wert von 15,02 Mrd. US\$ prognostiziert.³⁶

(14) Für **Graphen-(2D-Materialien)**-basierte Produkte gibt BBC Research für 2020 ein weltweites Marktvolumen von 0,31 Mrd. US\$ an, für 2025 von 2,1 Mrd. US\$.³⁷ Nach Döschner u. a. gibt es bei dem weltweiten Graphen-Markt eine große Bandbreite der weltweiten Marktabschätzung durch verschiedenen Studien für 2020 zwischen 0,070 und 0,800 Mrd. US\$ und 2025 zwischen 0,2 und 3 Mrd. US\$. Bei diesen relativ neuen Technologien sind offenbar valide Prognose schwierig.

(15) Der weltweite Markt für die **Mikrobiom**-Technologie beträgt nach MarketsandMarkets im Jahr 2024 0,942 Mrd. US\$ und 2027 1,731 Mrd. US\$.³⁸ Nach Grand View Research beträgt das Marktvolumen im Jahr 2020 0,085 Mrd. US\$ und im Jahr 2025 0,56 Mrd. US\$.³⁹ Auch hier sind bei der noch in der Anfangsphase befindlichen Technologie die Anwendungen und damit die Marktprognosen unsicher.

(16) Bei der **Digitalen Medizin** gibt es keine Marktstudien, die eine klare Abgrenzung der Technologie von Verwaltung erlauben. Es gibt aber Studien zu der Medizintechnik insgesamt.⁴⁰ Hier beträgt der weltweite Marktwert nach Evaluate im Jahr 2020 484 Mrd. US\$ und im Jahr 2024 594 Mrd. US\$. Es ist damit ein sehr erhebliches Volumen, und es wird weiterwachsen. Der Anteil der digitalen Medizintechnik wurde wieder über Patente ermittelt.

(17) Für **Impfstoffe** liegt nach Mikulic das weltweite Marktvolumen 2020 bei 44,4 Mrd. US\$, 2024 bei 61,6 Mrd. US\$.⁴¹ Das methodische Problem besteht hier darin, dass eine Abgrenzung von neuen und bekannten Impfstoffen nicht möglich ist.

36 <https://www.statista.com/statistics/714463/global-market-value-of-carbon-nanotubes/>

37 file:///C:/Users/us/Downloads/study_id66040_graphene-industry-worldwide.pdf

38 <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/human-microbiome-market-37621904.html>

39 <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/microbiome-therapeutics-market>

40 file:///C:/Users/us/Downloads/study_id18123_medical-technology-industry--statista-dossier.pdf

41 <https://www.statista.com/statistics/943867/size-of-the-global-vaccine-market/>

(18) McKinsey beziffert den globalen Marktwert für Elektroautos im Jahr 2020 mit 301 Mrd. €, im Jahr 2030 mit 459 Mrd. €. ⁴² Zu **Hybridfahrzeugen** gibt es dagegen nur Verkaufszahlen von Fahrzeugen, nicht aber Umsatzzahlen. Deshalb muss auch hier der Anteil über Patente ermittelt werden.

(19) Laut Breitkopf liegt im Jahre 2019 der Umsatz der deutschen Brennstoffzellenindustrie bei 120 Mio. €, im Jahr 2024 bei 700 Mio. €. Welcher Anteil davon sich auf **Brennstoffzellen für Kfz** bezieht, muss über Patente ermittelt werden.

(20) Der Umsatz der Branche Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren in Deutschland wird von Statistischen Bundesamt für 2020 mit 13,42 Mrd. € angegeben, für 2024 mit 11,57 Mrd. €. ⁴³ Die Abschätzung des Anteils von **Elektr. Traktionsmotoren für Kfz** über Patente kann nur grob erfolgen, weil unsicher ist, von welcher Branche Traktionsmotoren für Kfz letztendlich gefertigt werden.

(21) Nach Kordes beträgt das weltweite Marktvolumen von Fahrassistenzsystemen und vom **Autonomen Fahren** im Jahr 2020 80,2 Mrd. US\$, im Jahr 2025 187,8 Mrd. US\$. ⁴⁴ PwC prognostiziert für autonome Fahrzeuge der Stufen 4 und 5 für 2022 ein weltweites Marktvolumen von 15,1 Mrd. US\$ und für 2030 von 55,3 Mrd. US\$. (Stufe 4 = Vollautomatisiertes Fahren, erfordert zur Sicherheit noch einen Fahrer, Stufe 5 = voll-autonomes Fahren). Dabei beträgt 2030 der Anteil von Fahrzeugen der Stufe 5 (voll-autonom) 13,7 Mrd. US\$. ⁴⁵ Aus diesen Angaben wird deutlich, dass der aktuelle Anteil voll-autonomer Fahrzeuge vernachlässigbar ist.

(22) Nach Berylls beträgt das weltweite Volumen des Markts für **Leichtbau von Kfz** im Jahr 2025 99 Mrd. €, ⁴⁶ nach BrandEssence liegt der weltweite Markt für Automotive

⁴² <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173157/umfrage/prognose-zum-weltweiten-umsatz-mit-elektrofahrzeugen/>

⁴³ <https://de.statista.com/prognosen/924940/herst-von-elektromotoren-generatoren-uae-umsatz-in-deutschland>

⁴⁴ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/468552/umfrage/marktvolumen-von-autonomen-fahrfunktionen/>

⁴⁵ file:///C:/Users/us/Downloads/study_id69417_autonomous-vehicles.pdf

⁴⁶ https://www.biz-up.at/fileadmin/user_upload/BizupWebsite/News/News_PDF/2015/Praesentation_Jan_Dannenberg.pdf

Composites Materials 2025 bei 18,33 Mrd. US\$⁴⁷. Es wird deutlich, dass offensichtlich die Definitionen des Gebiets beider Studien völlig unterschiedlich sind.

(23) **E-Highways**. Entfällt, keine Marktstudien.

(24) Der globale Markt für **CO₂-Erfassung und Speicherung** wird von Global Markets Insights 2020 auf 3 Mrd. US\$ und 2026 auf 6 Mrd. US\$ geschätzt.⁴⁸

(25) Das Statistische Bundesamt beziffert den Markt der deutschen **Recycling**-Branche 2020 auf 17,7 Mrd. € und 2024 auf 19,1 Mrd. €. ⁴⁹ Damit ist Recycling sehr eng definiert. Es fehlt die Rückgewinnung und Wiederverwertung von Wertstoffen in Unternehmen, woran die Recycling-Branche überhaupt nicht beteiligt ist.

(26) Das Statistische Bundesamt beziffert den Umsatz der Branche Biozide und Pestizide in Deutschland 2020 auf 1,03 Mrd. € und 2024 auf 0,876 Mrd. €. ⁵⁰ Hier ist über Patente eine Umrechnung auf **umweltorientierte Biozide** erforderlich.

(27) Der weltweite Wert für **Biomaterialien** wird von Garside für 2021 mit 151,65 Mrd. US\$ beziffert. 2017 waren es noch 83,76 Mrd. US\$⁵¹. Das Wachstum ist also erheblich. Das zentrale methodische Problem bei dieser Technologie ist die Frage, was alles zu Biomaterialien gezählt wird.

(28) Frost & Sullivan beziffert den weltweiten Markt für Lithium-Ionen-Batterien für 2019 auf 15,49 Mrd. US\$. Für 2026 wird ein Volumen von 36,56 Mrd. US\$ gesehen.⁵² Es wird also ein massives Wachstum geben. Für den Anteil der **Batterietechnik für Kfz** ist eine Umrechnung über Patente erforderlich.

(29) Frost & Sullivan sehen für den weltweiten Solarzellenmarkt für 2020 ein Volumen von 137 Mrd. US\$.⁵³ Nach Allied Market Research betrug der globale Marktwert der

⁴⁷ <https://www.statista.com/statistics/658766/size-of-the-global-automotive-composites-market/>

⁴⁸ <https://www.gminsights.com/industry-analysis/carbon-capture-and-storage-market>

⁴⁹ <https://de.statista.com/prognosen/313893/recycling-bzw-rueckgewinnung-von-werkstoff-umsatz-in-deutschland>

⁵⁰ <https://de.statista.com/prognosen/313714/herstellung-von-bioziden-und-petiziden-umsatz-in-deutschland>

⁵¹ <https://www.statista.com/statistics/800209/global-biomaterials-market-value/>

⁵² <https://cds.frost.com/p/18359#!ppt/c?id=MF51-01-00-00-00&hq=batteries>

⁵³ <https://cds.frost.com/p/18359#!ppt/c?id=MA28-01-00-00-00&hq=solar%20cells>

Photovoltaik 2018 53,9 Mrd. US\$ und 2026 wird ein Wert von 333,7 Mrd. US\$ erreicht.⁵⁴ Hier muss über Patente eine Umrechnung auf **alternative Solarzellen** erfolgen.

(30) Für **Smart grids** ergibt sich nach einer Analyse von MarketsandMarkets ein weltweites Marktvolumen für 2020 von 35,1 Mrd. US\$ und für 2023 von 61,3 Mrd. US\$.⁵⁵ Das Wachstum ist also erheblich.

(31) Der weltweite Markt für Energiespeichersysteme hat nach Global Markets Insights 2018 einen Wert von 340 Mrd. US\$ und 2025 500 Mrd. US\$.⁵⁶ Nach Lux Research hat der weltweite Markt für Energiespeicher 2019 ein Volumen von 59 Mrd. US\$ und 2035 von 546 Mrd. US\$. Allerdings bezieht sich der größte Teil auf mobile Speicher, also Automobile. Stationäre Speicher werden 2023 ein Volumen von 30,4 Mrd. US\$ haben.⁵⁷ In jedem Fall sind die Definitionen von **Energiespeichern** in den beiden Studien sehr unterschiedlich.

(32) Der weltweite Markt der **Wasserstoffproduktion** wird von Zion Market Research für das Jahr 2017 auf 129 Mrd. US\$ und für 2023 auf 183 Mrd. US\$ geschätzt.⁵⁸ Nach MarketsandMarkets hat der weltweite Markt 2018 einen Umfang von 135 Mrd. US\$ und 2023 von 199 Mrd. US\$.⁵⁹ Die Einschätzungen beider Quellen sind also ähnlich.

(33) Nach der genaueren Analyse zu **Robotik** sollte auch diese Technologie insgesamt zu den Zukunftstechnologien gerechnet werden. Werden hier Industrieroboter und Service-Roboter zusammengerechnet, ergibt sich nach einer Analyse von Statista für 2020 ein weltweiter Marktwert von 37,92 Mrd. US\$.⁶⁰

54 <https://www.alliedmarketresearch.com/photovoltaic-market>

55 <https://www.statista.com/statistics/246154/global-smart-grid-market-size-by-region/>

56 https://www.gminsights.com/industry-analysis/energy-storage-systems-market?utm_source=GoogleAds&utm_medium=Adwords&utm_campaign=Energy-PPC&gclid=EAlaIqobChMIkrnl3LHk7AIVQdiyCh0qmQo4EAAAYAiAAEgJBuvD_BwE

57 <https://www.luxresearchinc.com/hubfs/Lux%20Research%20-%20Global%20Energy%20Storage%20Market%20Forecast%202019%20-%20press.pdf>

58 <https://www.statista.com/statistics/933570/global-market-value-hydrogen/>

59 <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydrogen-generation-market-494.html>

60 <https://www.statista.com/statistics/1018262/industrial-robotics-sales-value-worldwide-by-application-area/> und <https://www.statista.com/statistics/1018311/service-robotics-sales-value-worldwide-by-application-area/>

A.4 Umrechnung der weltweiten Marktwerte aus Marktstudien auf Marktwerte für deutsche Unternehmen

In Tabelle A-2 sind die Umrechnungsfaktoren der Marktwerte zusammengestellt, die über Patentanalysen ermittelt wurden. Dabei geht es zum einen um den Anteil Deutschlands am weltweiten Marktwert, zum anderen um die Umrechnung einer Technologie, etwa bei Technologie 22 der Anteil von Soft Robotics an Industriellen Robotern, die in Marktstudien behandelt werden.

Tabelle A-2: Umrechnungsfaktoren für die Marktwerte, 2020

Nr.	Technologie	Anteil Deutschlands	Patentanpassung
1	Blockchain	0,043	1,000
2	Cybersecurity	0,060	1,000
3	Künstliche Intelligenz	0,043	1,000
4	Authentifizierung (Sicherheit)	0,060	0,688
5	Internet der Dinge (IoT)	0,039	1,000
6	5G, 6G	0,025	1,000
7	Quantencomputing	0,034	1,000
8	3D-Druck, Additive Fertigung	0,159	1,000
9	Soft robotics	0,063	0,224
10	Mensch-Maschine-Schnittstelle	0,057	1,000
11	Augmented- u. Virtual Reality	0,048	1,000
12	Low-carbon steelmaking	0,096	0,063
13	Carbon Nanotube (CNT)	0,033	1,000
14	2D-Materialien, Graphen	0,048	1,000
15	Mikrobiom	0,021	1,000
16	Digitale Medizin, Geräte	0,064	0,097
17	Neue Impfstoffe	0,069	0,200
18	Hybridelektrische Kfz	0,198	0,692
19	Brennstoffzellen für Kfz, insb. Lkw	?	0,595
20	Elektr. Traktionsmotoren für Kfz	?	0,074
21	Autonomes Fahren	0,193	1,000
22	Leichtbau bei Kfz	0,227	1,000
23	E-Highway	X	
24	CO2-Management	0,125	1,000

Nr.	Technologie	Anteil Deutsch- lands	Patentan- passung
25	Recycling	1,000	1,256
26	Umweltorientierte Biozide	1,000	0,181
27	Biomaterialien	0,125	1,000
28	Batterietechnik	0,119	1,063
29	Alternative Solarzellen	0,149	0,096
30	Smart grid	0,049	1,000
31	Energiespeicherung (außer Batterien)	0,090	1,000
32	Wasserstoffproduktion	0,111	1,000
33	Roboter	0,112	1,000