

## Informationstechnologien sind keine deutsche Stärke, aber von zentraler Bedeutung als Zukunftstechnologie

Nr. 332, 20. Mai 2021

Autor: Dr. Volker Zimmermann, Telefon 069 7431-3725, volker.zimmermann@kfw.de

Welche neu entstehenden Technologien werden im nächsten Jahrzehnt in Deutschland relevant sein? Wo kann (nachhaltiges) Wachstum herkommen? Bei welchen neuen Technologien ist Deutschland gut aufgestellt, an welchen Stellen müssen die Weichen heute gestellt werden? KfW Research hat eine Studie in Auftrag gegeben, die Zukunftstechnologien aus deutscher Sicht ermittelt. Der Fokus liegt dabei auf Technologien, die bereits in mittlerer Frist eine hohe Relevanz auf dem Markt erreichen können. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Informationstechnologien gelegt, die die Grundlage für die Digitalisierung bilden.

Ergebnis der Studie ist, dass Deutschland über ein ausdifferenziertes Technologieprofil verfügt, das viele Anknüpfungspunkte für eine zukünftige Wertschöpfung bietet. Dies gilt beispielsweise für die Kfz-Industrie oder die Produktionstechnik, aber auch hinsichtlich von Klima- und Umwelttechnologien.

Informationstechnologien zählen jedoch nicht zu diesen Stärken. Die technologischen Kompetenzen Deutschlands sind – gemessen an Patenten oder wissenschaftlichen Publikationen – bei diesen Technologien nur unterdurchschnittlich stark ausgeprägt. Damit stellen Informationstechnologien für Deutschland eine Herausforderung dar. Denn ihnen kommt als „General Purpose Technologien“ eine wachsende Bedeutung in vielen anderen Technologiefeldern und Wirtschaftszweigen zu. Von Bedeutung ist hierbei auch, dass die verschiedenen Informationstechnologien häufig eng miteinander zusammenhängen. Eine Nischenstrategie – das heißt eine Fokussierung auf ausgewählte, einzelne Technologien – ist nicht Erfolg versprechend.

Unter diesen Bedingungen erscheint es wenig realistisch, dass Deutschland nur durch verstärkte Forschung und Entwicklung in wenigen Jahren international den Anschluss bei der Entwicklung solcher Technologien erreicht. Daher sollte bei diesen Technologien ein besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, dass Deutschland bei der Anwendung dieser Technologien international wettbewerbsfähig wird.

Die Ansatzpunkte hierfür sind weit gefächert. Wichtig ist beispielsweise der Aufbau entsprechender Kompetenzen in den Unternehmen. Dies gilt etwa für Unternehmen der Produktionstechnik. Um Informationstechnologien weiter

zu integrieren, sind Unternehmen für Softwareentwicklung und -implementierung notwendig, die entsprechende Lösungen entwickeln und beraten können. Die Förderung entsprechender Start-ups kann hier wichtige Impulse leisten.

Ein wesentliches Element zur Stärkung der Informationstechnologien ist der Ausbau der entsprechenden Bildung. Fachkräftemangel und fehlendes Knowhow sind wichtige Hemmnisse für Unternehmen. Verstärkte Anstrengungen bei Aus- und Weiterbildung sind notwendig.

Auch die Nutzung von Informationstechnologien im betrieblichen Alltag kann durch „learning by doing and using“ zum Knowhow-Aufbau in Unternehmen beitragen. Die Verbreitung grundlegender Anwendungen von Informationstechnologien ist somit hilfreich, die Unternehmen auf komplexere Anwendungen vorzubereiten. Dies trägt zur Beschleunigung der Dynamik beim Ausbau digitaler Technologien bei.

Wie ist Deutschland bei neuen, gerade im Entstehen begriffenen Technologien aufgestellt? Zählen für die Digitalisierung relevante Technologien zu den deutschen Stärken? Gerade für Deutschland als hoch entwickeltes Land ohne eigene Rohstoffquellen ist es wichtig, mithilfe von Innovationen und technischem Fortschritt in zentralen Technologiefeldern eine hohe Wettbewerbsfähigkeit zu erzielen und auf diese Weise Wachstum zu generieren. Nur so ist es möglich, zukunftssichere Arbeitsplätze zu schaffen, den Wohlstand in Deutschland zu sichern und im besten Fall weiter zu vermehren.

KfW Research hat daher eine Studie beim Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe in Auftrag gegeben, die aus deutscher Sicht Zukunftstechnologien identifiziert.<sup>1</sup> Wesentliches Kriterium für die Auswahl war, dass die Technologien mittelfristig – also im Zeitraum von grob 5 bis 10 Jahren – eine hohe Relevanz am Markt erreichen. Somit sind Technologien angesprochen, die in absehbarer Zeit kommerziell nutzbar sind und ein deutliches ökonomisches Potenzial aufweisen. Besonderes Augenmerk spielten dabei die Informationstechnologien, die die Basis für die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft bilden.<sup>2</sup> Aufgrund der hohen Bedeutung dieser Technologien werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung in Bezug auf Informationstechnologien im Folgenden dargelegt. Die

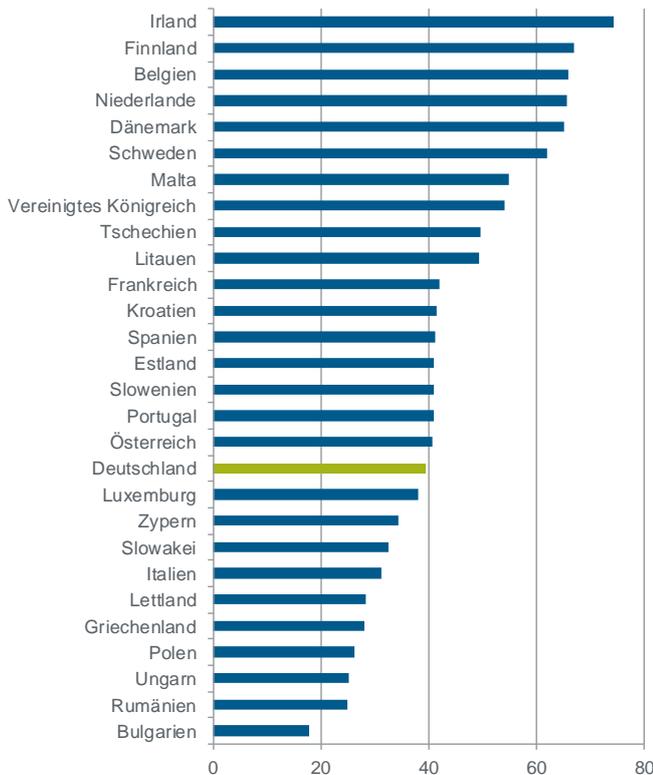
Gesamtergebnisse wurden bereits im Fokus Volkswirtschaft Nr. 321 „Zukunftstechnologien für Deutschland“ zusammengefasst.<sup>3</sup>

**Defizite bei der Anwendung von Informationstechnologien in Deutschland**

Obwohl die Durchdringung von Wirtschaft und Gesellschaft mit Informationstechnologien keine neue Entwicklung ist,<sup>4</sup> findet sich Deutschland bei der Anwendung digitaler Technologien im EU-Vergleich bestenfalls auf einem Platz im Mittelfeld wieder. Beim Indikator „The Digital Economy and Society Index“ (DESI) der Europäischen Union liegt Deutschland auf Rang 12 innerhalb der 28 EU-Länder.<sup>5</sup> Hinsichtlich der Integration digitaler Technologien in der Wirtschaft rangiert Deutschland sogar nur auf Position 18 (Grafik 1). Auch andere Untersuchungen bestätigen diesen Befund: Laut dem Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL verfügt Deutschland über keine ausgeprägten digitalisierungsspezifischen Stärken. Die symptomatische Folge davon sei eine ausgeprägte Exportschwäche bei den Informationstechnologien.<sup>6</sup> Dieser Betrachtung aus dem Blickwinkel der Anwendung stellt die Studie des Fraunhofer-Instituts die Entwicklungsseite neuer Technologien gegen über.

**Grafik 1: Anwendung von Digitaltechnik in der Wirtschaft**

In Indexpunkten



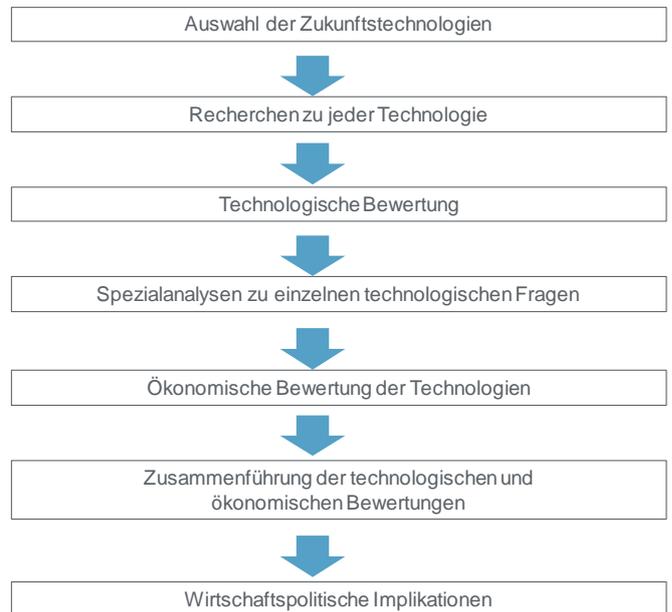
Quelle: DESI (2020)

**Identifikation von Zukunftstechnologien anhand der technologischen Position Deutschlands**

Im Detail untersucht die Studie, wie gut Deutschland bei der Entwicklung neuer Technologien aufgestellt ist, die derzeit als „Zukunftstechnologien“ gelten. Zur Vorauswahl potenzieller Zukunftstechnologien aus deutscher Sicht wurden zum

einen verschiedene deutsche und internationale Studien zu Zukunftstechnologien und zu gesellschaftlichen Herausforderungen herangezogen. Zum anderen wurden externe Expertinnen und Experten sowie die des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) dazu befragt. Auf dieser Basis wurde eine Liste von gut 30 Technologien zur weiteren Analyse zusammengestellt, die ein breites Technologiespektrum abdecken und insbesondere eine Vielzahl von Informationstechnologien berücksichtigen.<sup>7</sup>

**Grafik 2: Arbeitsablauf der Untersuchung**



Quelle: Schmoch et al. (2021)

Für jede dieser Technologien wurde ein Satz von Indikatoren hinsichtlich von Patenten, wissenschaftlichen Publikationen und Markenwendungen ermittelt, die die Dynamik der Entwicklung dieser Technologie und die technologische Position Deutschlands dabei wiedergeben. Diese Indikatoren wurden in einen Gesamtindikator (Composite Indicator) überführt, mit dessen Hilfe ein Ranking vorgenommen werden konnte (Kasten zur Methodik am Ende). Zusätzlich wurden vertiefende Analysen zu einzelnen Technologien durchgeführt und die wirtschaftliche Relevanz der Technologien anhand ihres aktuellen Marktwerts aus deutscher Sicht ermittelt. Auf dieser Basis wurden die untersuchten Technologien bewertet und wirtschaftspolitische Schlussfolgerungen gezogen (Grafik 2).

**Informationstechnologien rangieren unter den deutschen Stärken vorwiegend auf den hinteren Rängen ...**

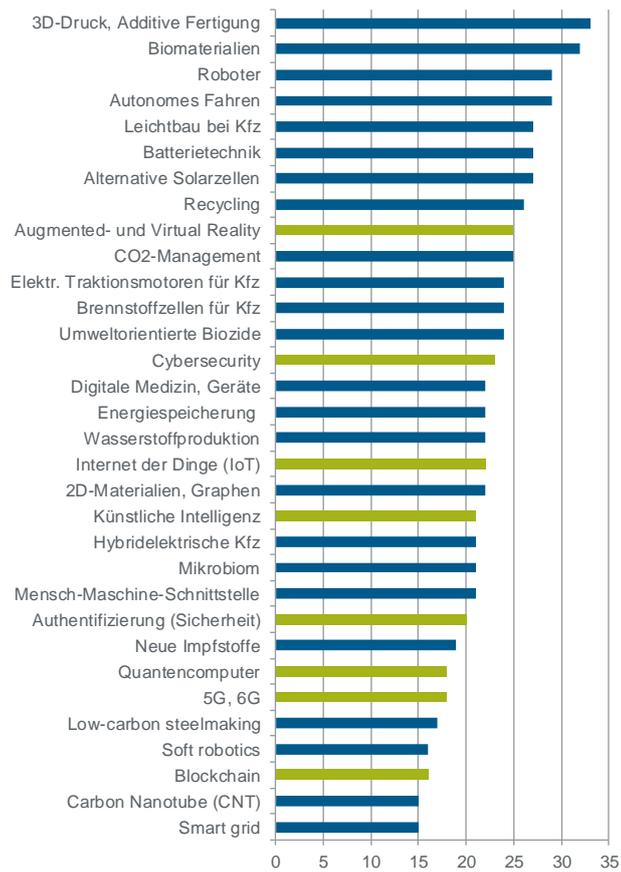
Das technologische Ranking spiegelt wider, wie Erfolg versprechend eine Technologie aus deutscher Sicht ist, wenn man die Dynamik der Entwicklung der Technologie weltweit sowie die deutsche Beteiligung daran zugrunde legt.

Bei dieser Beurteilung der technologischen Position in einer mittelfristigen Perspektive stehen die Additive Fertigung, Biomaterialien und Roboter auf den vorderen Rängen (Grafik 3). Additive Fertigung oder 3D-Druck ist die umfassende Bezeichnung für alle Fertigungsverfahren, bei denen Material

Schicht für Schicht aufgetragen und so dreidimensionale Gegenstände erzeugt werden. Die Bedeutung von Biomaterialien liegt darin begründet, dass sie als nachwachsende Rohstoffe die Problematik der Verknappung konventioneller Rohstoffe lindern können. Roboter – insbesondere Industrieroboter – sind hingegen seit Langem eine deutsche Stärke. Aufgrund der dynamischen Entwicklung in diesem Feld (z. B. Serviceroboter) sind auch Roboter zu den Zukunftstechnologien zu zählen.<sup>8</sup>

**Grafik 3: Rangfolge der Zukunftstechnologien nach technologischen Indikatoren aus deutscher Sicht**

In Indexpunkten



Quelle: Schmoch et al. (2021)

Informationstechnologien, die grundlegend für die Digitalisierung sind, erscheinen mit Cybersecurity erstmalig auf dem 14. Rang. Darunter versteht man Technologien zur Sicherheit im Internet. Die Mehrzahl der untersuchten Informationstechnologien belegt dagegen erst Positionen ab Rang 18. Diese Position nimmt das – aus deutscher Sicht beispielsweise für Industrie 4.0-Anwendungen wichtige – Internet der Dinge ein. Es dient der Vernetzung von physischen und virtuellen Gegenständen. Die in der Öffentlichkeit stark diskutierte Blockchain-Technologie (Kopplung von Informationen in sicheren Ketten, etwa zur Dokumentation von Transaktionen in einer dezentralen Verwaltung) belegt sogar lediglich Rang 30. Dazwischen rangiert beispielsweise die ebenfalls stark im öffentlichen Fokus stehende Künstliche Intelligenz<sup>9</sup> auf Rang 20 (fortgeschrittene selbstlernende Computersysteme zur Lösung von Problemen wie Klassifikationen, statistische Vorhersagen, Clusterungen, Entdeckung von Anomalien oder Rankings). Die Entwicklung der zukünftigen Mobilfunkstandards 5G und 6G belegt Rang 27.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass Informationstechnologien nicht zu den deutschen Stärken bei der Technologieentwicklung zählen. Die technologische Position Deutschlands bei den der Digitalisierung zugrunde liegenden Technologien ist somit nicht sehr ausgeprägt.

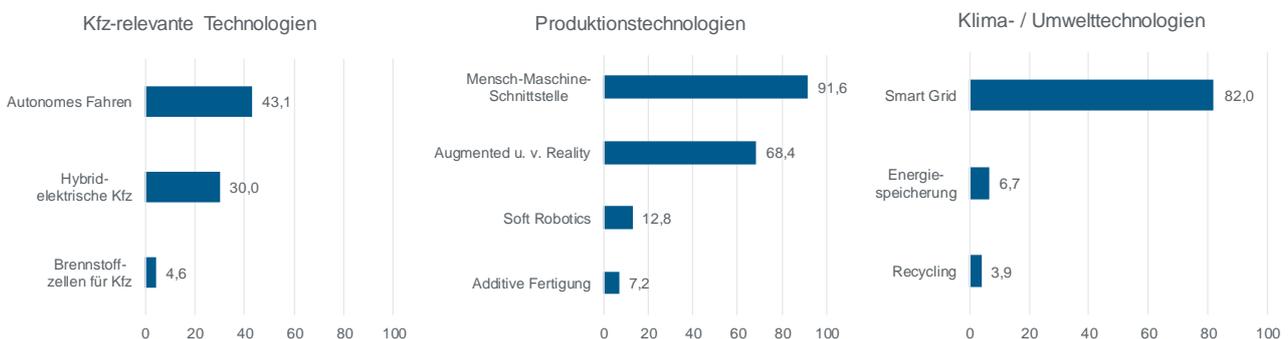
**... sind als General Purpose Technologien jedoch von hoher Bedeutung**

Die Informationstechnologien stellen für Deutschland daher eine Herausforderung dar. Denn als General Purpose Technologien spielt die Informationstechnik eine immer größere Bedeutung auch für andere Wirtschaftszweige und Technologiefelder, wie Kraftfahrzeuge, Produktionstechnologien oder auch Klima- und Umwelttechnologien (Grafik 4). Eine Abhängigkeit von ausländischen Produzenten wird hier als besonders problematisch erachtet.

Schon aktuell betreffen hohe Anteile der deutschen Patente in diesen Bereichen Anwendungen von Informationstechnologien. Dies gilt bei den Kfz-relevanten Technologien beispielsweise für das Autonome Fahren oder für Hybrid-elektrische Fahrzeuge, bei denen sich 43 bzw. 30 % der Patente

**Grafik 4: Anteil der Patente mit Informationstechnologien in anderen Technologiebereichen**

In Prozent



Quelle: Schmoch et al. (2021)

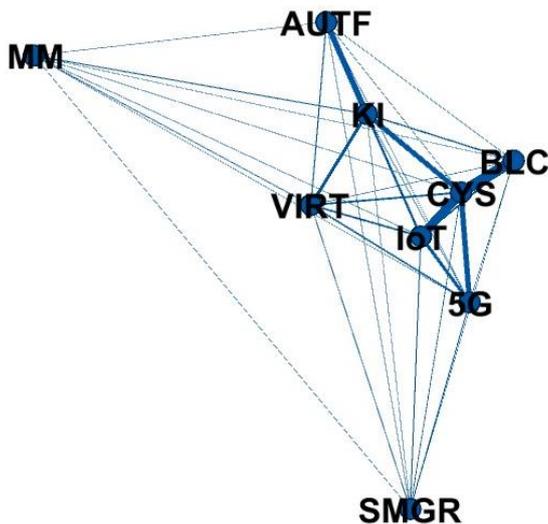
auf Informationstechnologien beziehen. Bei den Produktionstechnologien machen Informationstechnologien an den Mensch-Maschine-Schnittstelle-Patenten sogar knapp 92 % aus, unter den Patenten zu Augmented und Virtual Reality immerhin noch gut 68 %. Von den Klima- und Umwelttechnologien weisen Smart Grid-Technologien mit 82 % einen sehr hohen Anteil an Informationstechnologien aus.

**Phänomen der Konvergenz macht Nischenstrategien bei Informationstechnologien wenig Erfolg versprechend**

Eine weitere Besonderheit der Informationstechnologien ist das als „Konvergenz von Informationstechnologien“ bezeichnete Phänomen. Darunter versteht man, dass viele Technologien branchenübergreifend wechselseitig zusammenwirken. Entwicklungen in der einen Technologie stimulieren und beschleunigen weitere Entwicklungsschritte in anderen digitalen Technologien. Fortschritte bei der Rechenleistung und der Datenverfügbarkeit begünstigen beispielsweise die Weiterentwicklung von Künstlicher Intelligenz.<sup>10</sup>

Diese Zusammenhänge werden in Grafik 5 auf Basis von Patentanmeldungen verdeutlicht. Dargestellt sind die Überschneidungen von Patentanmeldungen über verschiedene Technologiefelder. Das Netzwerkdiagramm gibt anhand der Verbindungslinien wieder, welche unterschiedlichen Technologien in einem Patent angesprochen werden. Technologien mit vielen parallelen Nennungen anderer Technologien werden zentral im Netzwerk dargestellt.

**Grafik 5: Netzwerk der Informationstechnologien**



Anmerkung: 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, SNGR=Smart Grid

Quelle: Schmoch et al. (2021)

Eine zentrale Stellung unter den Informationstechnologien nehmen Künstliche Intelligenz, Cybersecurity, Blockchain, Internet der Dinge und 5G ein. Diese stehen sehr häufig untereinander, aber auch mit weiteren Informationstechnologien in einem Zusammenhang. Smart Grid oder Mensch-Maschine-Schnittstelle – die man auch als Anwendungen von Informationstechnologien auffassen kann – stehen dagegen eher am

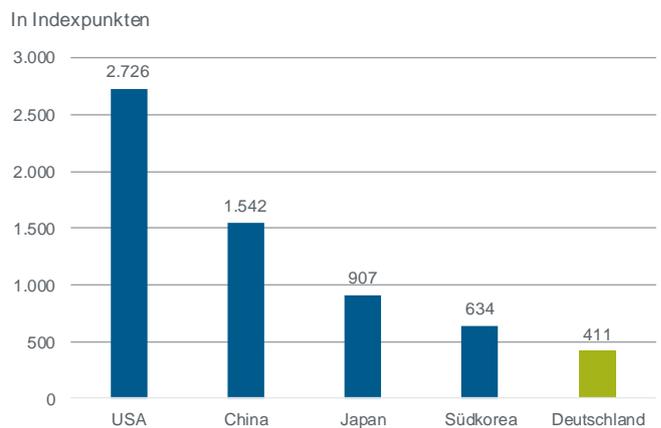
Rand des Netzwerks, weisen aber dennoch vielfältige Verknüpfungen zu den anderen Informationstechnologien auf.

Informationstechnologien stehen somit in einem engen Zusammenhang zueinander, der sich in den zurückliegenden Jahren verstärkt hat. Auch für die Zukunft wird erwartet, dass diese Zusammenhänge weiter zunehmen. Dies lässt es als nicht sinnvoll erscheinen, sich lediglich auf einzelne Informationstechnologien zu konzentrieren. Denn Stärken bei einer einzelnen Informationstechnologie allein sind wenig hilfreich, da diese mit Kompetenzen aus weiteren Informationstechnologien ergänzt werden müssen. Eine Nischenstrategie ist daher gerade bei Informationstechnologien wenig Erfolg versprechend.

**Aufholen bei Entwicklung von Informationstechnologien auf mittlere Sicht kaum möglich ...**

Es muss betont werden, dass die deutsche Spezialisierung auf alle Bereiche der Informationstechnik (IT) bei Patenten und Publikationen stark unterdurchschnittlich ist. Es erscheint wenig realistisch, durch verstärkte Investitionen in Forschung und Entwicklung in wenigen Jahren international den Anschluss zu erreichen. Um dies exemplarisch zu verdeutlichen, vergleicht Grafik 6 die Patentanmeldungen wichtiger IT-Standorte bei Künstlicher Intelligenz mit jenen aus Deutschland. Deutschland liegt hier deutlich hinter Ländern wie die USA, China, Japan oder Südkorea zurück. Die USA haben 2018 beinahe siebenmal so häufig Patente zu Künstlicher Intelligenz angemeldet wie Deutschland. Auch China meldet fast viermal so viele Patente wie Deutschland an.

**Grafik 6: Patentanmeldungen im Technologiefeld Künstliche Intelligenz 2018**



Quelle: Schmoch et al. (2021)

**... daher gilt es insbesondere bei der Anwendung von Informationstechnologien wettbewerbsfähig zu werden**

Die Entwicklung von Informationstechnologien sollte zwar gefördert werden. Entscheidend ist aber zunächst, die Kompetenz in der Anwendung der Informationstechnologien in der Produktion zu verbessern und so eine internationale Wettbewerbsfähigkeit bei der Anwendung dieser Technologien zu erzielen. Eine „fast follower Strategie“ hat sich in einzelnen Technologiebereichen bereits in der Vergangenheit für Deutschland als erfolgreich erwiesen.<sup>11</sup>

Das kann beispielsweise den Aufbau entsprechender Kompetenzen bei Unternehmen der Produktionstechnik betreffen. Dazu sind etwa Unternehmen im Bereich der Softwareentwicklung und -implementierung wichtig, die über Kompetenzen in der Produktionstechnik verfügen und so Unternehmen bei der Einführung digitaler Technologien, wie beispielsweise Industrie 4.0, beraten können. Die Förderung von Start-ups kann hier wichtige Impulse leisten.

Nicht zuletzt ist ein wesentliches Element zur Stärkung der Informationstechnologien der Ausbau der entsprechenden Bildung an allgemein und berufsbildenden Schulen, Fachhochschulen und Universitäten. Darüber hinaus ist auch an Maßnahmen zur Weiterbildung zu denken. Auf diese Weise kann mittelfristig dem schon jetzt bestehenden Fachkräftemangel in diesem Bereich begegnet werden. Gerade der Bedarf an Weiterbildung bei Digitalkompetenzen ist zuletzt kräftig gestiegen: Knapp die Hälfte der mittelständischen Unternehmen (46 %) hat hier zu Beginn des Jahres 2021 mittleren oder großen Bedarf – und damit mittlerweile mehr als bei den berufsfachlichen Kernkompetenzen (44 %) oder jedem anderen Thema.<sup>12</sup>

Auch die Nutzung von Informationstechnologien kann zum Knowhow-Aufbau in Unternehmen beitragen („Learning by doing and using“). Die Verbreitung grundlegender Anwendungen von Informationstechnologien kann dazu beitragen, Unternehmen auf die Anwendung komplexerer digitaler Anwendungen vorzubereiten.<sup>13</sup> Eine stärkere Verbreitung von Informationstechnologien kann somit die Dynamik des Ausbaus digitaler Technologien selbst beschleunigen.

### Fazit

Deutschland verfügt über ein ausdifferenziertes Technologieprofil, das viele Anknüpfungspunkte für eine zukünftige Wertschöpfung bietet. Diese Stärken sollten nicht leichtfertig

aufs Spiel gesetzt, sondern stattdessen kontinuierlich weiterentwickelt werden. Dies gilt beispielsweise für die Kfz-Industrie oder die Produktionstechnik, aber auch hinsichtlich von Klima- und Umwelttechnologien. Es hat sich insgesamt bewährt, auf nationale Schwerpunkte in der technologischen Wettbewerbsfähigkeit zu setzen und das erarbeitete Profil langfristig stabil zu halten.

Hinsichtlich der Informationstechnologien ist es dagegen notwendig, das Kompetenzspektrum in diese Richtung zu erweitern. Ansonsten wird es Deutschland nicht möglich sein, wichtiges Wertschöpfungspotenzial für Deutschland zu erschließen. Auch im Sinn der Diskussion über Technologiesouveränität erscheint es angebracht, eigene Kompetenzen in der Informationstechnik aufzubauen und hier eine ausreichende Eigenständigkeit zu erreichen.

Allerdings erscheint es wenig realistisch, dass Deutschland nur durch verstärkte Forschung und Entwicklung in wenigen Jahren international den Anschluss erreicht. Daher sollte bei diesen Technologien ein besonderes Augenmerk auf den Aufbau von Kompetenzen in ihrer Anwendung und die Erzielung einer internationalen Wettbewerbsfähigkeit bei der Anwendung dieser Technologien gelegt werden.

Dazu werden auch zukünftig erhebliche Anstrengungen notwendig sein. Denn Informationstechnologien stellen derzeit weder bei der Entwicklung noch bei der Anwendung eine deutsche Stärke dar. Eine Vielzahl von Hemmnissen steht der digitalen Transformation gegenüber. Hinzu kommt aktuell die Verschärfung des Zielkonflikts zwischen dem Wunsch der Unternehmen nach einer Verbesserung der Krisenresilienz und der Durchführung von Zukunftsinvestitionen als Folge der Corona-Krise.

### Kasten zur Methodik

#### Berechnung des Gesamtindikators für die technologische Beurteilung

Zur Beurteilung der Technologien wurden die technologische Entwicklung und der Beitrag Deutschlands untersucht. Dazu wurde auf Patente, wissenschaftliche Publikationen und Markenmeldungen zurückgegriffen. Patente spiegeln die kurz- bis mittelfristige Entwicklung einer Technologie, wissenschaftliche Publikationen die eher langfristige Entwicklung wider. Markenmeldungen stehen dafür, wie stark eine Technologie aktuell schon am Markt verfügbar ist.

Hinsichtlich der Patentanmeldungen wurden transnationale Patentanmeldungen verwendet.<sup>14</sup> Diese haben den Vorteil, dass sie aufgrund ihres multinationalen Charakters eine hohe Wertigkeit aufweisen. Zudem sind damit internationale Vergleiche gut möglich, da „Heimvorteile“, wie sie bei der Betrachtung von Patentanmeldungen bei nationalen Patentämtern entstehen, nicht auftreten. Als konkrete Indikatoren für die Anmeldetätigkeit wurde für jede Technologie der weltweite Trend bei der Entwicklung der Patentanmeldungen, die Spezialisierung Deutschlands auf die betreffende Technologie, die absolute Anzahl an deutschen Patenten sowie die Größe der Patentfamilien (d. h. die Anzahl der Länder, in der ein Patent angemeldet wird) ermittelt. In einer Alternativrechnung wurde zusätzlich der Anteil von KMU an den Patenten berücksichtigt.

Hinsichtlich der wissenschaftlichen Publikationen können die Entwicklung des weltweiten zeitlichen Trends, die Spezialisierung deutscher Publikationen auf die betreffende Technologie, die absolute Häufigkeit deutscher Publikationen sowie deren Zitierquote berücksichtigt werden.<sup>15</sup> Bezüglich der Markenmeldungen werden ebenfalls der weltweite Trend, die Spezialisierung Deutschlands und die Anzahl der deutschen Markenmeldungen einbezogen.<sup>16</sup>

Der jeweilige weltweite Trend steht für die Entwicklungstendenz einer Technologie insgesamt. Für Patenanmeldungen stützt sich dieser Wert auf den Zeitraum 2010–2017, für Publikationen auf 2010–2019 und für Marken auf 2010–2018. Die Spezialisierung Deutschlands wird anhand der relativen Spezialisierung auf eine Technologie gemessen.<sup>17</sup> Der Grad der Spezialisierung und die Anzahl deutscher Patente, Publikationen und Marken geben dabei die deutsche Position bei einer Technologie wieder. Die Angaben zur Spezialisierung und die absolute Anzahl in Deutschland beziehen sich auf den Zeitraum 2015–2017 für Patente, 2017–2019 für Publikationen und 2016–2018 für Marken. Die Größe der Patentfamilie und die Zittrate bei Publikationen sind Maße für die Qualität eines Patents bzw. einer Publikation. Sie stützen sich auf den Zeitraum 2014–2016 bzw. das Jahr 2017. Die zu Grunde gelegten Zeiträume orientieren sich an der Datenverfügbarkeit und Notwendigkeiten der Berechnung.

Die Werte aller Einzelkennziffern werden in eine 5-stufige Skala überführt. Dann werden für Patente, Publikationen und Marken durch Addition der Werte für die Einzelkennziffern Teilindikatoren berechnet. Bei den Patentkennziffern werden die Anzahl der deutschen Patente und die Größe der Patentfamilie mit dem Faktor 1,5 höher bewertet. Die so gewonnenen drei Teilindikatoren werden dann zu einem Gesamtindex aggregiert. Dabei geht der Teilindikator für die Patente mit dem Gewicht 1,0, die Publikationen mit 0,5 und die Marken mit 0,3 ein.

<sup>1</sup> Vgl. Schmoch, U. et al (2021): Identifizierung und Bewertung von Zukunftstechnologien für Deutschland, Endbericht an die KfW.

<sup>2</sup> Darüber hinaus wurden auch das bestehende technologische Profil Deutschlands, gesellschaftliche Herausforderungen, wie der Klimawandel, die Stellung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) bei diesen Technologien sowie die aktuelle Diskussion über die technologische Souveränität berücksichtigt.

<sup>3</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2021): Zukunftstechnologien für Deutschland: in vielen Feldern gut aufgestellt, aber auch Bedarf zur Nachjustierung, Fokus Volkswirtschaft Nr. 321, KfW Research.

<sup>4</sup> Frühere Digitalisierungswellen waren beispielsweise der New Economy Boom in der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre, der Siegeszug des PCs seit den 1980er-Jahren oder des Industrieroboters seit den 1970er-Jahren.

<sup>5</sup> Vgl. DESI (2020); <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi>; zuletzt aufgerufen am 6.4.2021. Das Vereinigte Königreich wird aktuell im Indikator noch aufgeführt.

<sup>6</sup> Vgl. aktuellste Version: BMWi (2018): Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL 2018. Der IKT-Standort Deutschland und seine Position im internationalen Vergleich.

<sup>7</sup> Roboter werden einerseits insgesamt als Technologie aufgefasst, zusätzlich wird das neue Teilgebiet der Soft Robotics, das eine erhöhte Flexibilität und Anpassung an die Aufgaben ermöglicht, als eigene Technologie untersucht.

<sup>8</sup> So schätzt beispielsweise auch die Expertenkommission Forschung und Innovation Roboter als Zukunftstechnologie ein. Vgl. Expertenkommission Forschung und Innovation (2016): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands. Gutachten 2016.

<sup>9</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2021): Künstliche Intelligenz: hohe Wachstumschancen, aber geringe Verbreitung im Mittelstand, Fokus Volkswirtschaft Nr. 318, KfW Research.

<sup>10</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2021): Künstliche Intelligenz: hohe Wachstumschancen, aber geringe Verbreitung im Mittelstand, Fokus Volkswirtschaft Nr. 318, KfW Research

<sup>11</sup> Vgl. Legler, H. et al (2000): Germany's Technological Performance: A Study on Behalf of the German Federal Ministry of Education and Research, ZEW Economic Studies 8.

<sup>12</sup> Vgl. Leifels, A. (2021): Weiterbildung bricht in der Krise ein – Bedarf an Digitalkompetenzen wächst, Fokus Volkswirtschaft, Nr.329, KfW Research.

<sup>13</sup> Vgl. Saam et al. (2016): Digitalisierung im Mittelstand: Status Quo, aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen Forschungsprojekt im Auftrag der KfW Bankengruppe.

<sup>14</sup> Transnationale Patentanmeldungen sind Anmeldungen in Patentfamilien mit mindestens einer Anmeldung bei der World Intellectual Property Organization (WIPO) über das PCT-Verfahren oder einer Anmeldung am Europäischen Patentamt. Vgl. Neuhäusler, P. und O. Rothengatter (2020): Patent Applications – Structures, Trends and Recent Developments 2019, Studien zum deutschen Innovationssystem 4-2020.

<sup>15</sup> Die Recherchen zu Publikationen wurden in der multidisziplinären Datenbank Web of Science (WoS) in der Version Scisearch des Anbieters STN durchgeführt.

<sup>16</sup> Die Recherchen basieren auf Europäischen Marken am Amt der Europäischen Union für Geistiges Eigentum (EUIPO, Alicante).

<sup>17</sup> Dabei handelt es sich um den bei Patentanalysen üblichen RPA-Wert. Vgl. Soete, L. und S. Wyatt. (1983): The use of foreign patenting as an internationally comparable science and technology indicator. In: Scientometrics 5(1), S. 31–54.