

# »» Künstliche Intelligenz in Deutschland: aktueller Stand, Chancen und Handlungs- optionen der Wirtschaftspolitik

Nr. 463, 21. Juni 2024

Autor: Dr. Volker Zimmermann, Telefon 069 7431-3725, [volker.zimmermann@kfw.de](mailto:volker.zimmermann@kfw.de)

Für die Position Deutschlands in Bezug auf die Künstliche Intelligenz (KI) ergibt sich ein gemischtes Bild. Eine zentrale Schwäche Deutschlands bei Künstlicher Intelligenz ist, dass Deutschland als Anbieter von KI-Lösungen nicht etabliert ist. Der Abstand zu den führenden Ländern ist beachtlich: Der Anteil führender Länder am weltweiten KI-Patentaufkommen liegt um knapp das Fünffache höher als jener Deutschlands. Hinsichtlich des Außenhandels weist Deutschland klare Handelsnachteile bei Künstlicher Intelligenz auf. Dem steht gegenüber, dass der akademischen Forschung zu Künstlicher Intelligenz in Deutschland eine hohe Qualität beigemessen wird und deutsche Unternehmen bei der Nutzung von Künstlicher Intelligenz mit im europäischen Vordergrund liegen.

Anstrengungen zur Verbesserung der deutschen Position erscheinen lohnenswert. Denn KI weist ein vielfältiges und großes Potenzial für Deutschland auf: Sie bietet Chancen auf Produktivitätssteigerungen und zusätzliches Wachstum. Auch um die traditionellen, deutschen Stärken trotz digitaler Transformation zu behaupten, um die Folgen der demografischen Entwicklung zu bewältigen oder um die Klimaziele zu erreichen, kann Künstliche Intelligenz eine wertvolle Hilfestellung leisten.

Damit die bestehenden Chancen von Künstlicher Intelligenz für Deutschland realisiert werden, bietet es sich an, kurzfristig Künstliche Intelligenz in den Unternehmen in die breite Anwendung zu bringen. Langfristig gilt es, sich als Anbieter technologisch hochwertiger KI-Produkte und -Services zu etablieren.

Die zentralen Ansatzpunkte, um Künstliche Intelligenz schnell in den Unternehmen in die Anwendung zu bringen, sind die digitalen Kompetenzen sowie der digitale Reifegrad der Unternehmen. Um voranzukommen, gilt es, den Mangel an IT-Fachkräften anzugehen und die Digitalkompetenzen in der Breite zu verbessern. Auch ist es wichtig, Finanzierungshemmnisse abzubauen, ein stärkeres Bewusstsein für die strategische Bedeutung der Digitalisierung zu schaffen sowie die digitale Infrastruktur weiter zu verbessern. Unternehmen müssen einen hohen Digitalisierungsgrad erreichen, um Künstliche Intelligenz gewinnbringend nutzen zu können.

Um langfristig zu einem internationalen Anbieter hochwertiger KI-Lösungen aufzusteigen, sind die zentralen Ansatzpunkte die weitere Intensivierung der Forschung, der Aufbau einer KI-

Industrie, die Verbesserung der Recheninfrastruktur und ein adäquater Zugang zu Trainingsdaten. Aus einer übergeordneten Perspektive gilt es auch die Akzeptanz und das Vertrauen in deutsche und europäische KI-Lösungen zu stärken.

Dank den Fortschritten bei der Rechenleistung von Computern und der zunehmenden Verfügbarkeit großer Datenmengen erfährt die Entwicklung und Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) seit einigen Jahren einen Aufschwung.<sup>1</sup> Im vergangenen Jahr hat ChatGPT die Leistungsfähigkeit von Künstlicher Intelligenz einer breiten Öffentlichkeit vor Augen geführt und eine breite Diskussion über ihre Qualitäten und Risiken ausgelöst. Unter den Technologien, die im Zusammenhang mit der digitalen Transformation stehen, nimmt sie derzeit die prominenteste Rolle ein.

Künstliche Intelligenz ist als Querschnittstechnologie vielfältig einsetzbar. Sie verfügt somit das Potenzial, die Produktionsmöglichkeiten in einer Vielzahl an Branchen auszuweiten, die Knappheit bei Fachkräften und Qualifikationen zu überwinden und die aggregierte Wohlfahrt zu steigern. Das hohe Potenzial von Künstlicher Intelligenz ist unumstritten.

Verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen bestätigen die produktivitätssteigernde Wirkung von Künstlicher Intelligenz.<sup>2</sup> Darüber hinaus zeigt sich, dass Unternehmen, die Künstliche Intelligenz nutzen, innovativer als andere Unternehmen sind.<sup>3</sup> Die meisten Marktbeobachter gehen von einem enormen Wachstum der KI-Märkte in den kommenden Jahren aus. Marktstudien gehen von starken Wachstumswirkungen und Steigerungen der gesamtwirtschaftlichen Produktivität aus. So erwartet eine aktuelle Studie ein durch Künstliche Intelligenz zusätzlich ausgelöstes globales Wachstum von rund 7 % und ein jährliches Produktivitätswachstum von 1,5 % in der nächsten Dekade.<sup>4</sup>

Allerdings gibt es bislang noch keine allgemeingültige Definition von Künstlicher Intelligenz. Sehr allgemein können unter KI-Systemen Maschinen oder Instrumente verstanden werden, die verstehen und die in der Lage sind, Aufgaben zu erfüllen, die eigentlich menschliche Intelligenz erfordern.<sup>5</sup> Das EU-Parlament definiert Künstliche Intelligenz als „die Fähigkeit einer Maschine, menschliche Fähigkeiten, wie logisches Denken, Lernen, Planen und Kreativität, zu imitieren. KI ermöglicht es technischen Systemen, ihre Umwelt wahrzunehmen, mit dem Wahrgenommenen umzugehen und Probleme zu lösen, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. [...] KI-Systeme sind in

der Lage, ihr Handeln anzupassen, indem sie die Folgen früherer Aktionen analysieren und autonom arbeiten“.<sup>6</sup>

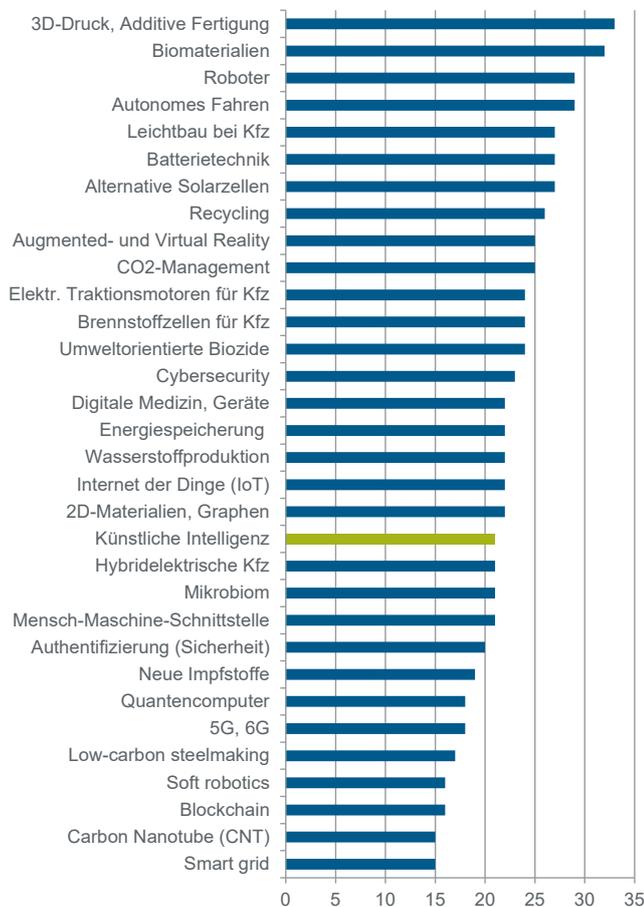
Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über die Position Deutschlands bei der Künstlichen Intelligenz, die Chancen und Herausforderungen sowie Handlungsmöglichkeiten der Wirtschaftspolitik zur Stärkung der deutschen Position sowie zur schnelleren Nutzung der Künstlichen Intelligenz in Unternehmen.

**Wo steht Deutschland bei der Künstlichen Intelligenz? Informationstechnologien sind keine deutsche Stärke**

Deutschland ist bei der Anwendung digitaler Technologien kein Vorreiter. So liegt Deutschland bei einer Vielzahl der Indikatoren des von der EU-Kommission entwickelten „DESI 2023 – Dashboard for the Digital Decade“ lediglich im europäischen Mittelfeld.<sup>7</sup> Dies gilt etwa für die Nutzung von Enterprise Resource Planning (ERP)-Systemen und der elektronischen Rechnungsstellung, reicht über Social Media und Cloud-Nutzung bis hin zu Online-Handel. In der Berechnung dieses Indikators für das Vorjahr, bei der aus den Einzelindikatoren noch ein Gesamtranking ermittelt wurde, belegte Deutschland nur den 13. Gesamtrang. Hinsichtlich der Integration digitaler Technologien in der Wirtschaft rangierte Deutschland sogar nur auf Position 16.<sup>8</sup>

**Grafik 1: Rangfolge der Zukunftstechnologien nach technologischen Indikatoren aus deutscher Sicht**

In Indexpunkten



Quelle: Schmoch et al. (2021)

**KI rangiert unter den Zukunftstechnologien in Deutschland nur im Hinterfeld**

Auch die Entwicklung digitaler Technologien ist keine Stärke des deutschen Innovationsökosystems. Eine von KfW Research in Auftrag gegebene Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) aus dem Jahr 2021 identifiziert Technologien, die aus deutscher Sicht Zukunftstechnologien darstellen.<sup>9</sup> Wesentliches Kriterium für die Auswahl der Technologien war, dass sie mittelfristig – also im Zeitraum von grob 5 bis 10 Jahren – eine hohe Relevanz am Markt erreichen. Somit sind Technologien angesprochen, die bereits zu diesem Zeitpunkt am Anfang ihrer kommerziellen Nutzung standen und ein deutliches Potenzial aufweisen.

Die Bewertung dieser Technologien stützt sich auf insgesamt 12 Kennziffern für Patentanmeldungen, wissenschaftliche Publikationen und Markenmeldungen in der jeweiligen Technologie. Diese Indikatoren wurden in einen Gesamtindikator überführt, sodass mit dessen Hilfe ein Ranking vorgenommen werden konnte. Um der mittelfristigen Perspektive Rechnung zu tragen, kamen den Patentindikatoren dabei die stärkste Gewichtung zu.<sup>10</sup> Dieses 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.

Informationstechnologien erscheinen in diesem Ranking insgesamt nicht auf den vorderen Positionen (Grafik 1). Künstliche Intelligenz rangiert lediglich auf der 20. Position und liegt damit noch hinter anderen Informationstechnologien wie etwa Cybersecurity (14. Rang) oder Internet der Dinge (18. Rang). Unter den Zukunftstechnologien zählt Künstliche Intelligenz somit nicht zu den deutschen Paradedisziplinen.

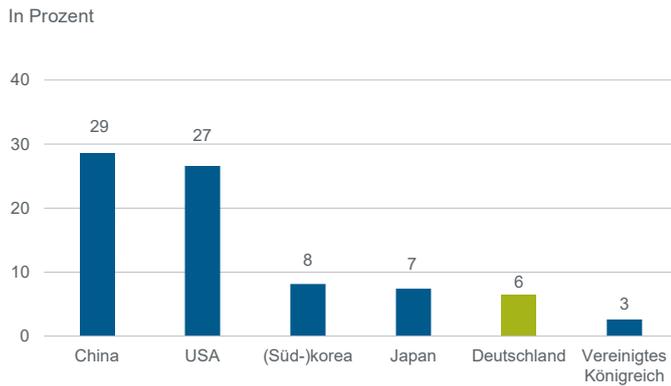
**Deutschland liegt bei KI-Patenten deutlich zurück**

Wie die Ausführungen im letzten Abschnitt bereits angedeutet haben, ist die schwache Position Deutschlands bei der Künstlichen Intelligenz maßgeblich auf die geringen Patentierungsaktivitäten zurückzuführen. Patente sind rechtliche Schutzinstrumente, mit denen technische Erfindungen – wie neue Produkte oder Verfahren – vor unerwünschter Nachahmung geschützt werden können. Sie spiegeln somit zu einem hohen Grad wider, wie häufig (vornehmlich) Unternehmen schützenswerte, technologische Neuerungen mit wirtschaftlichem Potenzial entwickeln.<sup>11</sup>

Der Anteil Deutschlands am weltweiten Aufkommen an KI-Patenten liegt bei 6 % (Grafik 2).<sup>12</sup> Damit liegt Deutschland deutlich hinter den führenden Ländern, wie China oder den USA (mit 29 bzw. 27 %), zurück.

Auch die Dynamik der Patentanmeldung entwickelt sich in Deutschland deutlich schwächer als in den führenden Ländern (Grafik 3). So hat sich die Anzahl der Patentanmeldungen in China seit Beginn der 2000er-Jahre mehr als verundertfacht. In Ländern wie Südkorea, USA oder Japan beläuft sich das Wachstum immerhin noch auf das 20- bzw. das 6- bis knapp 5-fache. In Deutschland nahm dagegen die Anzahl der Patentanmeldungen um lediglich knapp das 3-fache zu.

**Grafik 2: Anteile ausgewählter Länder an den KI-Patenten weltweit**

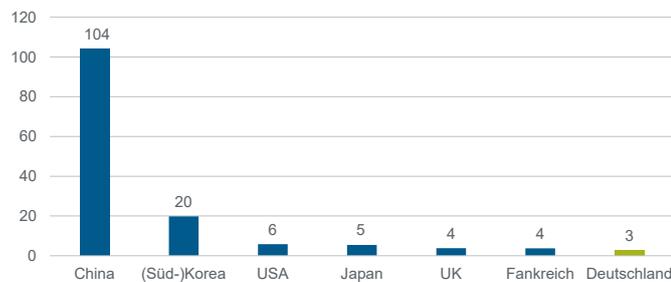


Anmerkung: transnationale Patentanmeldungen, d. h. Patentanmeldungen, die am Europäischen Patentamt für europäische Länder oder als Patent Cooperation Treaty (PCT) -Anmeldung für außereuropäische Länder eingereicht werden.

Quelle: EFI-Kommission (2024): Gutachten 2024

**Grafik 3: Veränderung der Anzahl der KI-Patente**

Veränderungsfaktor zwischen den Mittelwerten der Jahre 2000–2002 und 2017–2019



Quelle: EFI-Kommission (2022): Gutachten 2022

Der Abstand Deutschlands bei den KI-Patenten zu den führenden Ländern ist groß und hat in den vergangenen knapp zwei Dekaden somit deutlich zugenommen. Ein schnelles Aufholen Deutschlands als Anbieter technologisch hochwertiger KI-Lösungen erscheint mittelfristig mehr als schwierig.

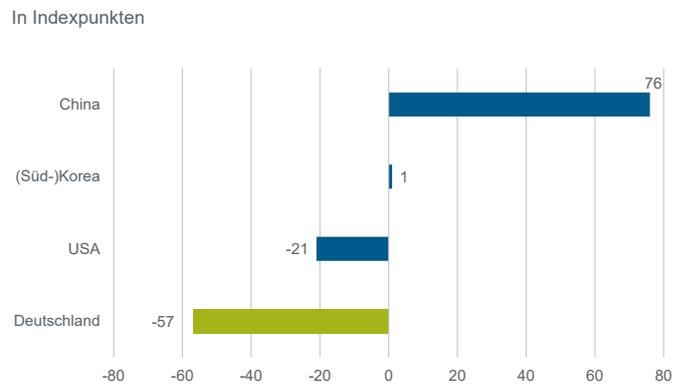
**Ausgeprägte Außenhandelsschwäche Deutschlands bei KI**

Zur Messung der Leistungsfähigkeit eines Landes bei einer Technologie kann auch die Spezialisierung im Außenhandel herangezogen werden. Sie ist ein Maß dafür, wie gut technologisches Können in Erfolge im Inland und beim internationalen Absatz umgemünzt werden können. Er gibt wieder, in welchem Umfang es der heimischen Wirtschaft gelingt, sich gegen die ausländische Konkurrenz durchzusetzen.

Als Kennziffer hierfür wird häufig der RCA-Wert (Revealed Comparative Advantage) verwendet. Er ermittelt die Export-Import-Relation eines Landes bei einer bestimmten Warengruppe im Verhältnis zur gesamten Export-Import-Relation dieses Landes. Er gibt somit Auskunft über die Spezialisierung eines Landes im internationalen Handel. Ein RCA-Wert von größer als Null deutet auf einen (relativen) Vorteil eines Landes bei der betreffenden Warengruppe hin, ein Wert kleiner Null dementsprechend einen Nachteil.

Der RCA-Wert für Deutschland hinsichtlich der Künstlichen Intelligenz fällt mit einem Wert von -57 deutlich negativ aus (Grafik 4). Deutschland weist bei der Künstlichen Intelligenz somit im Außenhandel einen (relativen) Nachteil auf. Auch in Bezug auf Markterfolge ist Künstliche Intelligenz somit keine deutsche Stärke.

**Grafik 4: Spezialisierung im Außenhandel hinsichtlich der Künstlichen Intelligenz**



Anmerkung: aus Darstellungsgründen ist der Tangens hyperbolicus des Logarithmus multipliziert mit 100 dieser Relation abgetragen

Quelle: EFI-Kommission (2022): Gutachten 2022

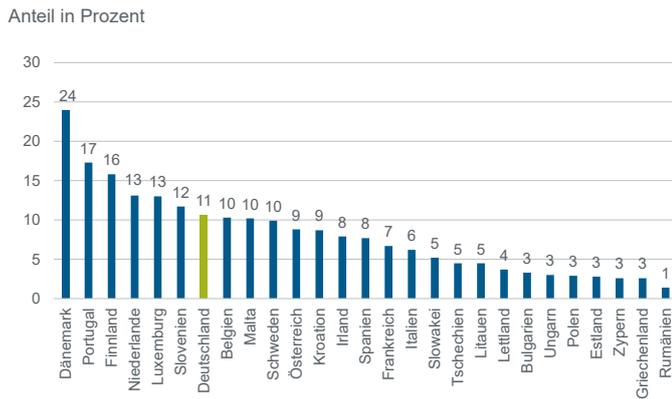
**Leistungsfähige KI-Forschung in Deutschland**

Diesem vergleichsweise schwachen Abschneiden Deutschlands bei Patenten und bei der Handelsspezialisierung steht eine leistungsfähige KI-Forschung in Deutschland gegenüber. Zwar liegt Deutschland auch bei der Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen zur Künstlichen Intelligenz hinter den führenden Ländern zurück und der Abstand zu den führenden Ländern hat sich auch bei den Publikationen im Zeitablauf vergrößert.<sup>13</sup> Jedoch wird die Qualität der Publikationen als hoch eingeschätzt. So ist die deutsche Wissenschaft international stark vernetzt und beheimatet internationale Spitzenforscherinnen und Spitzenforscher. Unter den Top-50-Wissenschaftseinrichtungen für Künstliche Intelligenz befinden sich mehrere deutsche Institutionen, wie die TU Darmstadt, die TU München, das KIT in Karlsruhe, die Universitäten Bonn und Nürnberg sowie die Max-Planck-Institute in Saarbrücken und Tübingen.<sup>14</sup> Ausländische KI-Talente, insbesondere aus Asien, zieht es als Studenten und Doktoranden häufig an deutsche Universitäten.<sup>15</sup>

**Ausbaufähige, aber im EU-Vergleich beachtliche Verbreitung von KI in deutschen Unternehmen**

Positiv stimmt auch, dass deutsche Unternehmen bei der Nutzung von Künstlicher Intelligenz im internationalen Vergleich im Vordergrund liegen. Im Digitalisierungsindikator der EU-Kommission rangiert Deutschland auf der 7. Position (Grafik 5). Deutschland liegt damit deutlich vor anderen großen EU-Ländern, wie Frankreich, Italien und Spanien sowie vor Schweden und Irland, die die hinsichtlich der Digitalisierung in Europa mit zu den führenden Ländern zählen. Für den Vergleich auf einer EU-einheitlichen Basis wird auf eine Erhebung zurückgegriffen, die lediglich Unternehmen ab 10 Beschäftigten erfasst. Die tatsächlichen Werte für Deutschland und die anderen EU-Länder dürften somit überschätzt werden.

**Grafik 5: Unternehmen, die Künstliche Intelligenz nutzen, im EU-Vergleich**



Anmerkung: nur Unternehmen mit 10 oder mehr Beschäftigten

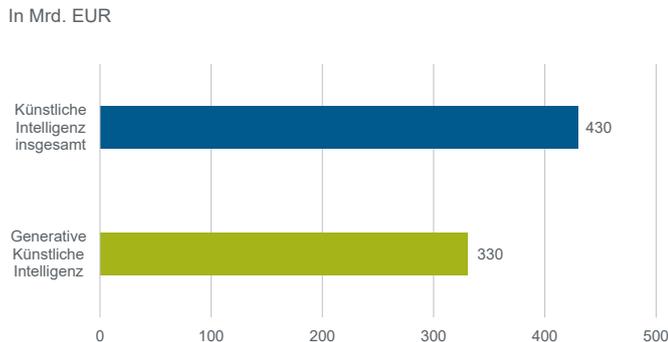
Quelle: EU-Kommission (2023) DESI 2023 Dashboard for the Digital Decade, zuletzt aufgerufen am 9.4.2024

**Welche Bedeutung hat Künstliche Intelligenz für Deutschland?**

**Hohes Wertschöpfungspotenzial von KI in Deutschland**  
 Zunächst ist dabei daran zu denken, dass Künstliche Intelligenz zu einer effizienteren Produktion in weiten Teilen der Wirtschaft beitragen kann.<sup>16</sup> Wissenschaftliche Untersuchungen können eine produktivitätssteigernde Wirkung von Künstlicher Intelligenz ermitteln.<sup>17</sup> Sie erhöht die Wettbewerbsfähigkeit und trägt so zur Sicherung des Wohlstands in Deutschland bei.

Wie bereits eingangs angesprochen, werden außerdem KI-Märkte als attraktive Märkte erachtet, die in den kommenden Jahren wachsen und von denen deutliche Wachstumsimpulse für die Wirtschaft insgesamt erwartet werden. So wird die jährliche Wachstumsrate des Markts für Künstliche Intelligenz in Deutschland in den kommenden Jahren auf rund 15 % geschätzt. Es wird erwartet, dass das Marktvolumen bis 2030 auf 27 Mrd. EUR steigt.<sup>18</sup>

**Grafik 6: Anstieg der Bruttowertschöpfung durch Künstliche Intelligenz**



Quelle: PWC (2018); IW Consult (2023)

Auch gesamtwirtschaftlich erwarten Marktstudien ein hohes Potenzial der Künstlichen Intelligenz (Grafik 6). So kommt eine Studie zum Ergebnis, dass das deutsche Bruttoinlandsprodukt bis zum Jahr 2030 allein aufgrund der Durchdringung mit Künstlicher Intelligenz um 11,3 % bzw. um 430 Mrd. EUR wachsen wird.<sup>19</sup> Eine aktuelle Studie beziffert das Wertschöpfungspotenzial allein der generativen Künstlichen Intelligenz<sup>20</sup>

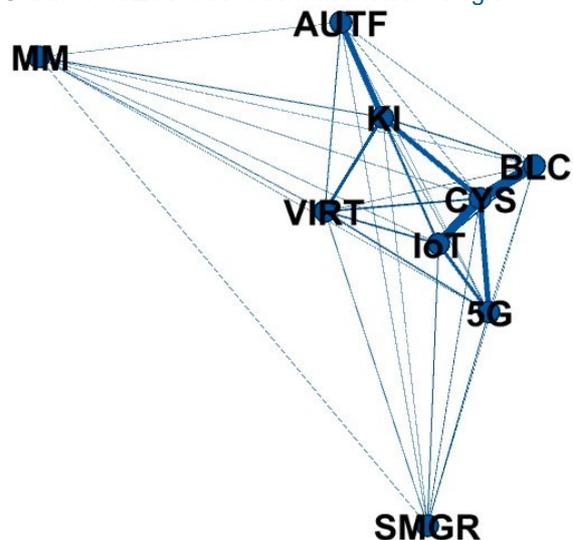
auf zusätzliche 330 Mrd. EUR, wenn mehr als 50 % der deutschen Unternehmen sie nutzen.<sup>21</sup>

**KI ist ein zentraler Baustein für das Gelingen der digitalen Transformation**

Der Künstlichen Intelligenz kommt auch eine wichtige Rolle für das Gelingen der digitalen Transformation zu. So ist eine Besonderheit von Informationstechnologien ein Phänomen, das als „Konvergenz von Informationstechnologien“ bezeichnet wird. Darunter versteht man, dass viele Informationstechnologien branchenübergreifend wechselseitig zusammenwirken. Entwicklungen in der einen Technologie stimulieren und beschleunigen weitere Entwicklungsschritte in anderen digitalen Technologien. So begünstigen Fortschritte bei der Rechenleistung und der Datenverfügbarkeit beispielsweise die Weiterentwicklung von Künstlicher Intelligenz. Dies bedeutet, dass Schwächen bei einzelnen Technologien auch die Weiterentwicklung der anderen Informationstechnologien bremsen.

Diese Zusammenhänge werden in Grafik 7 auf Basis von Patentanmeldungen verdeutlicht.<sup>22</sup> Dargestellt sind die Überschneidungen von verschiedenen Technologiefeldern in einzelnen Patentanmeldungen. Das Netzwerkdiagramm gibt anhand der Verbindungslinien wieder, welche unterschiedlichen Technologien in einem Patent angesprochen werden. Technologien, die in Patenten gemeinsam mit vielen anderen Technologien genannt werden, sind zentral im Netzwerk dargestellt. Die Dicke der Linien steht für die Intensität der Überschneidungen zwischen zwei Technologien.

**Grafik 7: Netzwerk der Informationstechnologien**



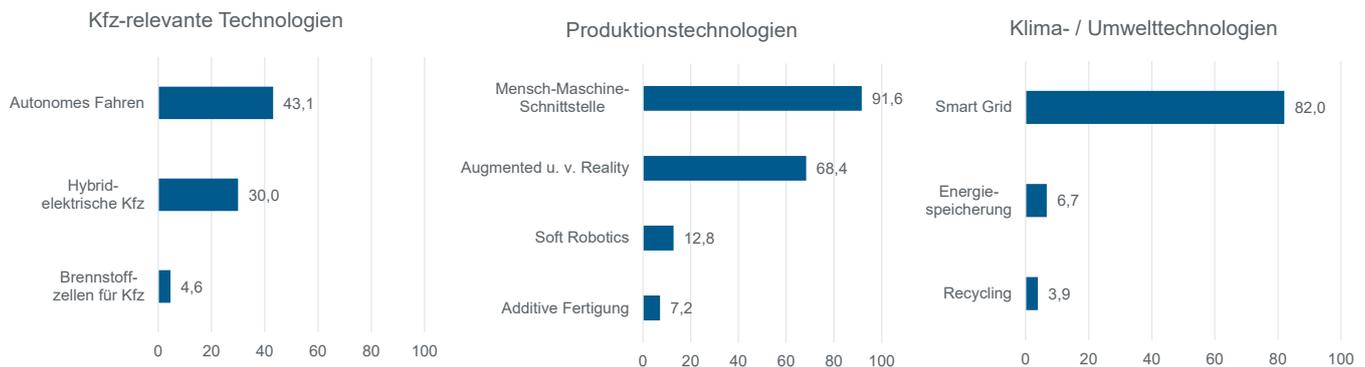
Anmerkung: KI=Künstliche Intelligenz, BLC=Blockchain, CYS=Cybersecurity, IoT=Internet der Dinge, 5G=5G, MM=Mensch-Maschine-Schnittstelle, VIRT= Augmented und Virtual Reality, AUTF=Autonomes Fahren, SMGR=Smart Grid

Quelle: Schmoch et al. (2021).!

Wie aus Grafik 7 hervorgeht, nimmt künstliche Intelligenz eine der zentralen Stellungen unter den Informationstechnologien ein. Enge Verbindungen bestehen zu weiteren zentralen Technologien, wie Augmented und Virtual Reality, Internet of Things oder Cybersecurity, aber auch zu weiteren Technologien.

**Grafik 8: Anteil der Patente mit Informationstechnologien in anderen Technologiebereichen**

In Prozent



Quelle: Schmoch et al. (2021)

Informationstechnologien stehen somit in einem engen Zusammenhang zueinander, der sich in den zurückliegenden Jahren verstärkt hat. Auch für die Zukunft wird erwartet, dass diese Verbindungen weiter zunehmen werden. Dies bedeutet einerseits, dass Stärken bei einer einzelnen Informationstechnologie allein wenig hilfreich sind, da diese mit Kompetenzen aus weiteren Informationstechnologien ergänzt werden müssen. Somit erscheint es hinsichtlich der Digitalisierung generell als nicht sinnvoll, sich auf einzelne Informationstechnologien zu konzentrieren und andere Technologien zu vernachlässigen. Andererseits gilt auch, dass das Vorankommen bei der digitalen Transformation insgesamt gefährdet ist, wenn Schwächen bei einzelnen Technologien bestehen. Dies gilt insbesondere in Bezug auf Technologien, die eine zentrale Position einnehmen, wie etwa die Künstliche Intelligenz.

**Informationstechnologien zunehmend auch in anderen Technologiefeldern von Bedeutung**

Eine weitere Entwicklung der zurückliegenden Jahre ist, dass Informationstechnologien eine immer größere Bedeutung auch für andere Wirtschaftszweige und Technologiefelder spielen, wie beispielsweise Kraftfahrzeugbau, Produktionstechnologien oder auch Klima- und Umwelttechnologien. Schon heute 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 auf Informationstechnologien beziehen (Grafik 8). 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.<sup>23</sup>

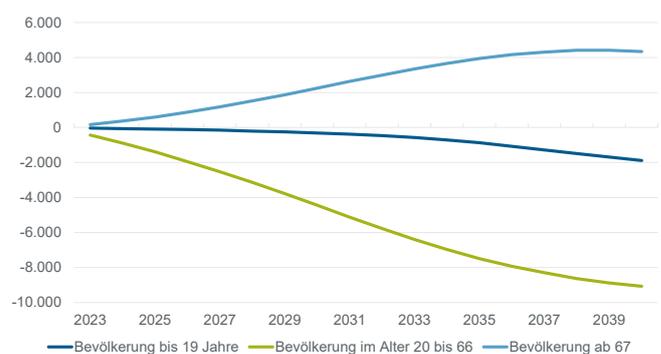
Diese Ausführungen bekräftigen, dass es zukünftig kaum möglich sein wird, neue Wertschöpfungspotenziale zu erschließen oder die bestehenden deutschen Stärken zu behaupten, wenn nicht adäquate Fähigkeiten im Bereich digitaler Technologien entwickelt werden. Das Gelingen der digitalen Transformation ist von hoher Bedeutung für viele Segmente der Wirtschaft und darf durch etwaige Schwächen bei der Künstlichen Intelligenz nicht gefährdet werden.

**KI ist ein Hebel zur Milderung der Auswirkungen der demografischen Entwicklung in Deutschland**

Die demografische Entwicklung in Deutschland wirkt sich stark auf die Zahl der Menschen im erwerbsfähigen Alter aus. Seit geraumer Zeit haben sich die Schulabgängerzahlen rückläufig entwickelt. In den kommenden Jahren scheidend zunehmend geburtenstarke Jahrgänge (z. B. die Babyboomer-Generation) aus dem Erwerbsleben aus. Die Verfügbarkeit von Fachkräften stellt daher zunehmend einen Engpassfaktor für die Unternehmen dar.<sup>24</sup> So melden beispielsweise in der aktuellen Erhebung des KfW-ifo-Fachkräftebarometers 39 % der befragten Unternehmen Behinderungen ihrer Geschäftstätigkeit aufgrund des Fachkräftemangels.<sup>25</sup>

**Grafik 9: Entwicklung der Bevölkerung nach Altersklassen**

Kumulierte Veränderung der Einwohnerzahl nach Altersklassen in 1.000 pro Jahr



Anmerkung: Ergebnisse der 15. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Basis: 31.12.2021); Szenario bei einem Zuwanderungssaldo von 0

Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Berechnung

Bis zum Jahr 2040 wird die Zahl der Inländer im Erwerbsalter um weitere 9 Mio. Menschen sinken, während jene der Inländer im Rentenalter um gut 4 Mio. steigt (Grafik 9). Nach Berechnungen des Instituts für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB) wird die Knappheit an Arbeitskräften im Jahr 2035 mit 7 Mio. Personen ihren Höhepunkt erreichen.<sup>26</sup> Um dem zu begegnen, sind dringend Produktionssteigerungen notwendig. Es kann erwartet werden, dass die Künstliche Intelligenz einen substantziellen Beitrag dazu leisten kann.

### **KI als Werkzeug für die ökologische Transformation**

Der bereits dargelegte erwartete Produktivitätsschub durch Künstliche Intelligenz schließt auch eine ressourcen- und energie-effizientere Produktion ein. Vom Einsatz Künstlicher Intelligenz ist somit auch ein Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele zu erwarten. Beispielhaft sei hierfür die Energiewende genannt, wo Künstliche Intelligenz die Steuerung der Energienetze unterstützen kann.<sup>27</sup>

### **Wie kann künstliche Intelligenz in Deutschland vorgebracht werden?**

Die deutsche Wirtschaftspolitik ist sich der hohen Bedeutung der Künstlichen Intelligenz bewusst. Sie hat das ambitionierte Ziel gesetzt, Deutschland zu einem weltweit führenden Standort bei der Erforschung, Entwicklung und Anwendung von Künstlicher Intelligenz zu machen. Mit den Strategien zu Künstlicher Intelligenz aus den Jahren 2018 und 2020, dem Aktionsplan von 2023 und einer Vielzahl von Initiativen bestehen vielfältige Förderansätze. Aktuell ist auch eine Weiterentwicklung der KI-Strategie geplant.

Der Bund fördert KI-Kompetenzzentren, die ein Netzwerk aus elf KI-Standorten bilden, KI-Professuren und Nachwuchsfor-schergruppen. Hinzu kommen Förderprogramme, die auf kleine und mittlere Unternehmen fokussieren sowie die Förde-rung von KI-Start-ups. Diese Aktivitäten werden durch Initiativen auf Länderebene ergänzt, wie beispielsweise das Cyber Valley in Tübingen.

### **Zur Realisierung der Chancen von KI ist eine Doppelstrategie notwendig**

Was müsste zusätzlich geschehen, damit Deutschland hinsichtlich der Künstlichen Intelligenz vorankommt? Um die bestehenden Potenziale für Deutschland zu realisieren, bietet sich für die Wirtschaftspolitik eine Doppelstrategie an, mit der einerseits kurzfristige Ziele, andererseits aber auch langfris-tige Ziele verfolgt werden.

Wie bereits dargelegt, erscheint ein Aufholen bei der Entwick-lung und Vermarktung technologisch hochwertiger KI-Pro-dukte und -Services kurzfristig für Deutschland kaum möglich. Denn die Vorsprünge anderer Länder sind zu groß, wie etwa anhand der Patentzahlen abgelesen werden kann. Daher muss es in der kurzen bis mittleren Frist darum gehen, An-wendungen der Künstlichen Intelligenz in den Unternehmen zu etablieren, und so Kompetenzen in der Anwendung von Künstlicher Intelligenz aufzubauen und den Anschluss nicht zu verlieren. Aus eigener Kraft wird sich eine Durchdringung der Wirtschaft jedoch nur langsam vollziehen. Daher stellt die Be-schleunigung der Durchdringung eine wichtige Option der Wirtschaftspolitik dar.

Aus langfristiger Perspektive bietet es sich an, auf der guten Position Deutschlands bei der akademischen Forschung zu Künstlicher Intelligenz anzusetzen. Die akademische For-schung gilt es weiter zu stärken und den Transfer dieser Er-kenntnisse in hochwertige und international wettbewerbsfä-hige Produkte und Services zu gewährleisten.

### **Hemmnisse bei der Nutzung von KI in Unternehmen ab-bauen**

Um die dargelegten gesamtwirtschaftlichen Produktivitätswir-kungen zu erzielen, ist es wichtig, die Nutzung von Künstlicher Intelligenz in die Breite der Wirtschaft zu tragen.<sup>28</sup> Zu den

dabei bestehenden Hemmnissen liegen die Ergebnisse von Unternehmens- und Expertenbefragungen vor.<sup>29</sup> Als zentrale Hemmnisse werden in beiden Befragungsansätzen überein-stimmend personelle und kompetenz-bezogene Hemmnisse, wie fehlende Fachkräfte, fehlende Kompetenzen oder feh-lende Zeit sowie eine fehlende Datengrundlage und Sicher-heitsbedenken als die bedeutendsten Hemmnisse identifiziert. Aus einer etwas übergeordneten Perspektive wird dem digita-len Reifegrad eines Unternehmens eine wichtige Bedeutung für die Nutzung von Künstlicher Intelligenz beigemessen.

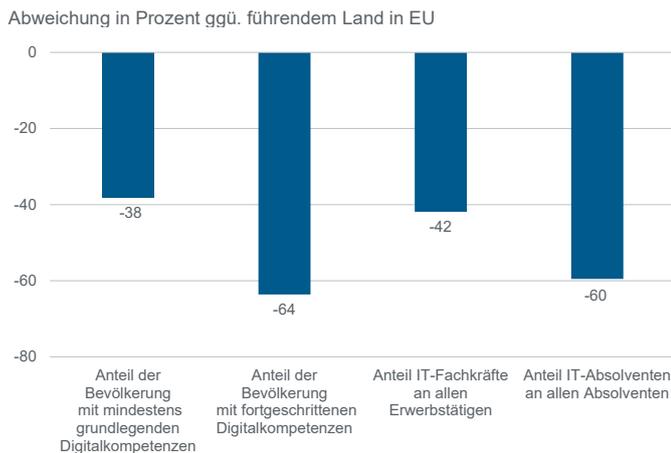
### **Kompetenzen verbessern, Fachkräftemangel lindern**

Die hohe Bedeutung von kompetenzbezogenen Hemmnissen als Bremsklotz bei der Nutzung von Künstlicher Intelligenz stellt keine wirkliche Überraschung dar. Fehlende IT-Kompe-tenzen bzw. der Mangel an IT-Fachkräften rangiert bei mittel-ständischen Unternehmen unter den Hemmnissen bei der Di-gitalisierung auf einer der vordersten Positionen.<sup>30</sup> Bei IT-Ex-perten besteht auf dem deutschen Arbeitsmarkt die größte Fachkräftelücke.<sup>31</sup> Gerade im Hinblick auf mittelständische Unternehmen spielen die digitalen Kompetenzen in der Breite der Arbeitnehmerschaft eine große Rolle, da die Unternehmen oftmals zu klein sind, um spezielle IT-Kräfte zu beschäftigen.

Defizite Deutschlands bei den Digitalkompetenzen zeigen sich auch im internationalen Vergleich. So liegt Deutschland hin-sichtlich des digitalisierungsrelevanten Humankapitals deutlich hinter den in der EU führenden Ländern zurück. Im Vergleich zu führenden EU-Ländern fällt Deutschland insbesondere hin-sichtlich der fortgeschrittenen Digitalkompetenzen zurück (Grafik 10). Insbesondere bei Künstlicher Intelligenz als ver-gleichsweise neuer und bislang wenig standardisierter Tech-nologie dürften tiefgehende Kompetenzen für die Anwendung in Unternehmen notwendig sein. So kommt eine Studie aus dem Jahr 2020 zum Schluss, dass zwei Fünftel der KI nutzen-ten Unternehmen die von ihnen verwendete Künstliche Intelli-genz zumindest teilweise selbst entwickelt haben.<sup>32</sup> Deutsch-land liegt nicht nur hinsichtlich der Digitalkompetenzen, son-dern auch bei den IT-Fachkräften sowohl beim Anteil an den Beschäftigten wie beim Nachwuchs gegenüber den führenden Ländern deutlich zurück.

Um die digitale Bildung in Deutschland zu verbessern, bedarf es erhöhter Anstrengungen auf allen Ebenen des Bildungs-systems. Neben der beruflichen und akademischen Ausbil-dung ist es wichtig, IT-Wissen verstärkt in die Inhalte der schulischen Ausbildung zu integrieren. Deutschland liegt bei der schulischen Vermittlung von Digitalkompetenzen im euro-päischen Vergleich deutlich zurück.<sup>33</sup> Während in Deutschland in gut der Hälfte der Bundesländer Informatik maximal als Wahlfach flächendeckend angeboten wird, planen Länder wie Japan Künstliche Intelligenz und Data Science als Grundla-genfach an allen Schulen und Hochschulen zu unterrichten.<sup>34</sup> Hinsichtlich der Weiterbildung gilt es in Deutschland, das Leit-bild des „lebenslangen Lernens“ zu verwirklichen.

**Grafik 10: Rückstand Deutschlands bei Digitalkompetenzen und IT-Fachkräften**



Anmerkung: grundlegende bzw. fortgeschrittene Digitalkompetenzen: Selbsteinschätzung der Befragten; führende Länder in Europa: grundlegende Digitalkompetenzen: Finnland; Fortgeschrittene Digitalkompetenzen: Niederlande; Anteil IT-Fachkräfte an den Erwerbstätigen: Schweden; Anteil IT-Absolventen an allen Absolventen: Estland

Quelle: EU-Kommission (2023), DESI, eigene Berechnung, zuletzt aufgerufen am 27.3.2024.

Speziell in Bezug auf Künstliche Intelligenz besteht die Herausforderung darin, Fachkräfte mit geeigneter Expertise zu entwickeln und zu gewinnen, die sowohl für die Spitzenforschung als auch für die Anwendung von Künstlicher Intelligenz in Unternehmen zur Verfügung stehen. Dazu kommt dem Angebot an Studienplätzen und Doktorandenstellen in den Disziplinen Informatik, Statistik und Ethik<sup>35</sup> eine wichtige Bedeutung zu. Mehr junge Menschen müssen zur Aufnahme von Informatikstudiengängen motiviert und die Studienabbruchzahlen gesenkt werden. Eine Möglichkeit besteht in einer verstärkten Ansprache von Schülerinnen, denn noch immer liegt der Anteil weiblicher Informatik-Studierender bei lediglich knapp einem Fünftel.<sup>36</sup> Ebenso gilt es, internationale Spitzenforscherinnen und -forscher mit attraktiven Rahmenbedingungen zu gewinnen.<sup>37</sup>

### Digitaler Reifegrad von Unternehmen erhöhen

Damit Anwendungen der Künstlichen Intelligenz erfolgreich in Unternehmen implementiert und angewendet werden können, müssen die Voraussetzungen im Unternehmen gegeben sein. Diese Voraussetzungen werden oftmals unter dem Stichwort „digitaler Reifegrad“ zusammengefasst. Er ist ein Indikator dafür, inwiefern verschiedene Bereiche der Unternehmung digital vernetzt und inwiefern Prozesse im Unternehmen bereits digital umgesetzt sind. Beides sind Voraussetzungen für eine Automatisierung bzw. Autonomisierung mittels Künstlicher Intelligenz.<sup>38</sup> So sind beispielsweise eine umfassende Datenspeicherung, ein effizientes Datenmanagement und eine intelligente Datennutzung unerlässlich, um KI erfolgreich zu nutzen.<sup>39</sup> Der digitale Reifegrad spiegelt somit wider, wie einfach sich eine KI-Anwendung in die Unternehmensstruktur eingliedern lässt.

Damit mehr Unternehmen KI-Anwendungen nutzen, gilt es daher die Digitalisierung in der Breite der Unternehmen insgesamt voranzubringen. Insbesondere mittelständische Unternehmen benötigen aufgrund ihrer begrenzten Kapazitäten dabei Unterstützung. Denn die Mehrzahl der mittelständischen Unternehmen ist noch mit vergleichbar einfachen Schritten der

Digitalisierung beschäftigt. So stellt die Digitalisierung des Kontakts zu Kunden und Zulieferern unverändert die am häufigsten durchgeführte Projektart dar. Anspruchsvolle, tiefergreifende Vorhaben, die etwa auf die Digitalisierung von Arbeitsabläufen, die Vernetzung innerhalb des Unternehmens oder die Digitalisierung der Angebotspalette abzielen, werden mit Werten zwischen knapp einem Drittel und einem Viertel der Unternehmen mit Digitalisierungsvorhaben deutlich seltener durchgeführt.<sup>40</sup>

Um die Digitalisierungsaktivitäten im Mittelstand anzuregen, bieten sich verschiedene Ansatzpunkte an: Neben den bereits angesprochenen Ansatzpunkten bei den digitalen Kompetenzen sind dies der Abbau von Finanzierungshemmnissen, eine Verbesserung der Awareness hinsichtlich der strategischen Bedeutung der Digitalisierung sowie der Ausbau der digitalen Infrastruktur hierzulande.<sup>41</sup> In der Masse der mittelständischen Unternehmen gilt es, eine höhere Stufe der Digitalisierung zu erreichen, bevor der Einsatz von Künstlicher Intelligenz angegangen werden kann.

### Deutschland als Anbieter hochwertiger KI-Lösungen etablieren

Um Deutschland auch als Anbieter hochwertiger KI-Produkte und -Services zu etablieren, gilt es, die gute Position bei der Erforschung der Künstlichen Intelligenz weiter auszubauen und den Transfer der neuen Erkenntnisse in die kommerzielle Anwendung zu erleichtern. Dazu ist aufgrund des dargelegten Rückstands bei der Kommerzialisierung ein langer Atem gefragt.

### Akademische Forschung weiter intensivieren

Auch in anderen Ländern entwickelt sich die Erforschung der Künstlichen Intelligenz mit einer rasanten Geschwindigkeit.<sup>42</sup> Um die deutsche Position zu halten und nach Möglichkeit weiter auszubauen, sind weiterhin verstärkte Anstrengungen bei der Erforschung dieses Gebiets notwendig. Die Schaffung von 150 zusätzlichen KI-Lehrstühlen<sup>43</sup> in Deutschland stellt dabei einen wichtigen Schritt dar. Von ihm sind nicht nur Impulse für die Forschung, sondern auch für die Ausbildung von KI-Experten für die Wirtschaft in Deutschland zu erwarten.

Zum Aufbau eines KI-Ökosystems erscheint es empfehlenswert die KI-Forschung verstärkt zu fördern und zum Auf- und Ausbau der KI-Infrastruktur in Form von Daten und Rechenkapazitäten beizutragen.

### Recheninfrastruktur ausbauen

Um aus KI-Modellen marktgängige Produkte und Services zu generieren, müssen Wissenschaft, Unternehmen und auch die Verwaltung diese feintunen und anwenden können. Dazu ist – beispielsweise bei Sprachmodellen – eine leistungsfähige Recheninfrastruktur notwendig, da solche Entwicklungsarbeiten sehr rechenintensiv sind und spezielle Anforderungen an die Hardware der Rechner stellen.<sup>44</sup> Die Anforderungen an diese Recheninfrastruktur werden mit zunehmender Etablierung einer KI-Industrie in Deutschland weiter steigen. Die Bereitstellung einer adäquaten Recheninfrastruktur ist somit eine wesentliche Voraussetzung für die Etablierung einer KI-Industrie in Deutschland. Ein weiterer Ausbau der Rechenkapazitäten in Deutschland erscheint aus Expertensicht als dringend erforderlich.<sup>45</sup>

### Technologietransfer verbessern

Der reibungslose Transfer erfolgreicher Forschung in kommerzielle Anwendungen stellt insgesamt keine Stärke des Deutschen Innovationsökosystems dar.<sup>46</sup> Auch bei der Künstlichen Intelligenz gilt es, den Forschungstransfer durch wirtschaftspolitische Maßnahmen zu unterstützen. Eine zentrale Säule des Technologietransfers stellt die Entwicklung und Vermarktung von auf neuen Technologien und Geschäftsmodellen basierender Angebote durch Start-ups dar. Da Deutschland bislang als Anbieter von KI-Lösungen nicht etabliert ist, kommen Start-ups für den Aufbau einer KI-Industrie gerade in Deutschland eine besondere Bedeutung zu.

Die zentrale Finanzierungsquelle von Start-ups sind Venture Capital (VC) und VC-ähnliche Finanzierungen. Die Verfügbarkeit dieser Finanzierungsquellen stellt somit einen wesentlichen Hebel zur Etablierung einer KI-Industrie in Deutschland dar.

Im vergangenen Jahr wurden auf dem deutschen VC-Markt Finanzierungen in Höhe von 1,5 Mrd. EUR für KI-Start-ups zur Verfügung gestellt (Grafik 11). In den Jahren davor bezifferte sich das Dealvolumen auf 2 und 3,5 Mrd. EUR. Mit der Zinswende Anfang 2022 ist eine Abkühlungsphase auf dem VC-Markt eingetreten, die sich sowohl beim Volumen als auch bei der Anzahl der Deals zeigt. Im Zuge der Zinswende gestaltete sich insbesondere das Fundraising zunehmend schwieriger. In den vergangenen Jahren entfielen rund ein Fünftel der jährlichen VC-Dealvolumen auf KI-Start-ups. Diese Quote liegt somit ähnlich hoch wie im Vereinigten Königreich oder in Frankreich.

Grafik 11: VC-Markt für künstliche Intelligenz in Deutschland



Quelle: KfW-Research.

Ein zentraler Baustein der Förderung des VC-Markts in Deutschland ist der Zukunftsfonds, der über verschiedene Komponenten verlässlich Mittel als Ankerinvestitionen bereitstellt. Er ist somit eine wichtige Unterstützung des Marktes für die weitere Entwicklung des VC-Ökosystems.

### Anforderungen an die Rahmenbedingungen

Nicht zuletzt ist für die Verbreitung von Künstlicher Intelligenz in der Wirtschaft förderlich, die Rahmenbedingungen für die Nutzung zu verbessern. Abgesehen von den hier bereits dargelegten Aspekten zählen hierzu beispielsweise auch die Schaffung von Vertrauen in die neue Technologie und ausreichend Wettbewerb zwischen den Akteuren. So müssen etwa Anwender die Wahl haben, welche Formen und Anbieter von Künstlicher Intelligenz sie nutzen wollen.<sup>47</sup> Zur Schaffung von

Akzeptanz könnte beitragen, wenn die staatliche Verwaltung durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz die gewinnbringenden Seiten davon verdeutlichen würde. Der Staat als Ankerkunde kann auch zum Aufbau einer KI-Industrie beitragen, indem er als Vorreiterkunde neue Technologien frühzeitig nutzt und dadurch jungen Unternehmen Cashflow generiert.

Darüber hinaus darf nicht vergessen werden, dass es für die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz neben Knowhow und Recheninfrastruktur auch einer Grundlage in Form von großen Mengen an Trainingsdaten bedarf. Bei einer restriktiveren Datennutzung in Deutschland und Europa können sich bei der Entwicklung von KI-Modellen oder -Anwendungen Wettbewerbsnachteile ergeben, wenn vorhandene Daten nicht genutzt werden können. Eine bessere Verfügbarmachung von Daten erscheint vor diesem Hintergrund ebenfalls als eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg Künstlicher Intelligenz in Deutschland.<sup>48</sup>

### Fazit

Die vorliegende Studie untersucht den Status Quo, die Chancen und Herausforderungen von Künstlicher Intelligenz in Deutschland sowie die Handlungsoptionen der Wirtschaftspolitik, um diese Chancen zu realisieren.

### Durchwachsene Position Deutschlands bei KI

Für die Position Deutschlands bei der Künstlichen Intelligenz ergibt sich ein gemischtes Bild. Künstliche Intelligenz ist unter den Zukunftstechnologien keine deutsche Stärke. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass Deutschland insbesondere bei der Patentierung – das als Maß für die Umsetzung von technologischen Neuerungen in marktgängige und schützenswerte Anwendungen herangezogen werden kann – gegenüber den führenden Ländern zurückliegt. Sorge bereitet hierbei, dass dieser Rückstand in den zurückliegenden Jahren sogar noch zugenommen hat. Diese Schwäche schlägt sich auch in der deutschen Außenhandelschwäche mit Künstlicher Intelligenz nieder.

Dem steht gegenüber, dass die akademische Forschung im Bereich Künstlicher Intelligenz als von hoher Qualität erachtet wird. Auch liegen deutsche Unternehmen bei der Nutzung Künstlicher Intelligenz im europäischen Vorderfeld. Anknüpfungspunkte für eine Verbesserung der deutschen Position bestehen somit.

### Vielfältiges Potenzial von KI für Deutschland

Künstliche Intelligenz weist ein vielfältiges und großes Potenzial für Deutschland auf. Neben Aspekten, wie Produktivitätssteigerungen und zusätzliches Wachstum, die für eine Vielzahl an Ländern gelten, kann Künstliche Intelligenz aber auch spezifische Herausforderungen Deutschlands adressieren. Dies gilt etwa für die Rolle der Künstlichen Intelligenz bei der Durchdringung traditioneller deutscher Branchen mit Informationstechnologien, der demografischen Entwicklung oder dem Erreichen von Klimazielen.

Anstrengungen zur Verbesserung der deutschen Position bei der Entwicklung und der Nutzung der Künstlichen Intelligenz erscheinen somit als lohnenswert. Denn gerade in Deutschland kann sie einen wichtigen Beitrag für die wirtschaftliche Entwicklung leisten.

## Mögliche Ansatzpunkte der Wirtschaftspolitik zur Verbesserung der deutschen Position bei der Künstlichen Intelligenz

Um die bestehenden Chancen von Künstlicher Intelligenz für Deutschland zu realisieren, bietet es sich an, kurzfristig Künstliche Intelligenz in die breite Anwendung in den Unternehmen zu bringen. Damit kann verhindert werden, dass Deutschland bei der Nutzung von Künstlicher Intelligenz nicht den Anschluss verliert. Langfristig gilt es, Kompetenzen bei der Entwicklung und Vermarktung anspruchsvoller, technologisch hochwertiger KI-Produkte und -Services aufzubauen und als Anbieter solcher Lösungen zu den aktuell führenden Ländern aufzuschließen.

Zur Beschleunigung der Anwendung von Künstlicher Intelligenz in den Unternehmen bietet es sich an, an den Hemmnissen der Verbreitung anzusetzen. So bilden die digitalen Kompetenzen ein wichtiges Nadelöhr bei der Digitalisierung. Damit Künstliche Intelligenz in den Unternehmen gewinnbringend eingesetzt werden kann, ist darüber hinaus von zentraler Bedeutung, dass die Unternehmen eine höhere Stufe der Digitalisierung erreichen. Um den digitalen Reifegrad zu erhöhen, bilden der Abbau von Finanzierungshemmnissen, ein

stärkeres Bewusstsein für die strategischen Bedeutung der Digitalisierung sowie der Ausbau der digitalen Infrastruktur wichtige Ansatzpunkte.

Um langfristig zu einem internationalen Anbieter hochwertiger KI-Lösungen aufzusteigen, sind die zentralen Ansatzpunkte die weitere Intensivierung der Forschung, der Aufbau einer KI-Industrie, die Verbesserung der Recheninfrastruktur und ein adäquater Zugang zu Trainingsdaten. Aus einer übergeordneten Perspektive gilt es auch die Akzeptanz und das Vertrauen in deutsche und europäische KI-Lösungen zu stärken.

Folgen Sie KfW Research auf X:

[https://x.com/KfW\\_Research](https://x.com/KfW_Research)

Oder abonnieren Sie unseren kostenlosen E-Mail-Newsletter, und Sie verpassen keine Publikation:

[https://www.kfw.de/%C3%9Cber-die-KfW/Service/KfW-Newsdienste/Newsletter-Research-\(D\)/index.jsp](https://www.kfw.de/%C3%9Cber-die-KfW/Service/KfW-Newsdienste/Newsletter-Research-(D)/index.jsp)

<sup>1</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2021): Künstliche Intelligenz: hohe Wachstumschancen, aber geringe Verbreitung im Mittelstand, Fokus Volkswirtschaft Nr. 318, KfW Research.

<sup>2</sup> Vgl. beispielsweise Damioli, G., van Roy, V. und D. Vertesy (2021), The Impact of Artificial Intelligence on Labor Productivity, Eurasian Business Review 11, S. 1–25.; Cockburn, I. Henderson, M. R. und S. Stern (2019), The Impact of Artificial Intelligence on Innovation: An Exploratory Analysis, in: Agrawal, A., Gans, J. und A. Goldfarb (Hrsg.), The Economics of Artificial Intelligence, University of Chicago Press, 115–148 oder Brynjolfsson, E., Rock, D. und C. Syverson (2019), Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics, in Agrawal, A., Gans, J. und A. Goldfarb (Hrsg.), The Economics of Artificial Intelligence: an Agenda, National Bureau of Economic Research conference report, The University of Chicago.

<sup>3</sup> Vgl. Czarnitzki, D., Fernández, G. P. und C. Rammer (2023), Artificial Intelligence and Firm-level Productivity, Journal of Economic Behavior & Organization, 211, 188–205 oder Rammer, C., Czarnitzki, D. und G. P. Fernández (2022), Artificial Intelligence and Industrial Innovation, Research Policy, 51(7).

<sup>4</sup> Vgl. Goldman Sachs (2023), Generative AI: Hype, Or Truly Transformative?, Global Macro Research 120.

<sup>5</sup> Vgl. Russel, S. J. und P. Nordvig (2021), Artificial Intelligence – A Modern Approach, 4. Aufl. Pearson.

<sup>6</sup> Vgl. Europäisches Parlament (2023), »Was ist künstliche Intelligenz und wie wird sie genutzt?«, verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20200827STO85804/was-ist-kunstliche-intelligenz-und-wie-wird-sie-genutzt>. Zuletzt aufgerufen am: 9.4.2024.

<sup>7</sup> Vgl. Europäische Kommission: <https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/charts>, zuletzt aufgerufen am 19.1.2024.

<sup>8</sup> Vgl. Europäische Kommission: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/desi>, zuletzt aufgerufen am 9.4.2024.

<sup>9</sup> Vgl. Schmoch et al. (2021): Identifizierung und Bewertung von Zukunftstechnologien für Deutschland. Endbericht an die KfW.

<sup>10</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2021): Informationstechnologien sind keine deutsche Stärke, aber von zentraler Bedeutung als Zukunftstechnologie, Fokus Volkswirtschaft Nr. 322, KfW-Research.

<sup>11</sup> Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Verwendung von Patenten als Kennziffer für Innovationen Schwächen aufweist. Jedoch werden andere Indikatoren für Innovationsaktivitäten, wie beispielsweise Forschungs- und Entwicklungsausgaben, für einzelne Technologien in Deutschland nicht in einem ausreichend feinen Detaillierungsgrad erhoben, sodass hier auf Patente als Indikator zurückgegriffen wird. Vgl. Blind, K. et al. (2006): Motives to Patent: Empirical Evidence from Germany, Research Policy 35(5), S. 655–672.

<sup>12</sup> Die Analyse stützt sich auf transnationale Patentanmeldungen. Transnationale Patente weisen den Vorteil auf, dass sie – als für internationale Märkte relevante Patente – von größerer Relevanz als lediglich nationale Patente sind. Gleichzeitig sind die Anmeldezahlen international besser vergleichbar.

<sup>13</sup> Vgl. EFI-Kommission (2024): Jahrgutachten 2024 und EFI-Kommission (2022): Jahrgutachten 2022.

<sup>14</sup> Vgl. Brühl, (2023): Künstliche Intelligenz – wo stehen wir in Deutschland? Wirtschaftsdienst 103(8), S. 521–524.

<sup>15</sup> Vgl. Maslej, N. et al. (2023): The AI Index 2023 Annual Report.

<sup>16</sup> Vgl. Bertschek, I. (2023): Jetzt bloß nicht den Anschluss verlieren! – Status quo, Potenziale und Herausforderungen von Künstlicher Intelligenz; Wirtschaftsdienst 103(8), S. 518–520 sowie Vöpel, H. (2023): Die „unmenschliche“ Revolution – Künstliche Intelligenz als Schicksalstechnologie für Deutschland und Europa, Wirtschaftsdienst 103(8), S. 513–517.

<sup>17</sup> Vgl. beispielsweise Damioli, G., van Roy, V. und D. Vertesy (2021), The Impact of Artificial Intelligence on Labor Productivity, Eurasian Business Review 11, S. 1–25.; Cockburn, I. M., Henderson, R. und S. Stern (2019), The Impact of Artificial Intelligence on Innovation: An Exploratory Analysis, in: Agrawal, A., Gans, J. und A. Goldfarb (Hrsg.), The Economics of Artificial Intelligence, University of Chicago Press, 115–148 oder Brynjolfsson, E., Rock, D. und C. Syverson (2019), Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics, in Agrawal, A., Gans, J. und A. Goldfarb (Hrsg.), The Economics of Artificial Intelligence: an Agenda, National Bureau of Economic Research conference report, The University of Chicago.

<sup>18</sup> Vgl. Statista (ohne Jahresangabe): <https://de.statista.com/outlook/tmo/kuenstliche-intelligenz/deutschland>, zuletzt aufgerufen am 4.9.2024.

<sup>19</sup> Vgl. PWC (2018), <https://www.pwc.de/de/pressemitteilungen/2018/pwc-studie-beziffert-potenzial-kuenstlicher-intelligenz-auf-430-milliarden-euro.html>, zuletzt aufgerufen am 4.9.2024.

<sup>20</sup> Unter generativer Künstlicher Intelligenz wird eine Form der künstlichen Intelligenz verstanden, die gestützt auf ihre Trainingsdaten Texte, Bilder und verschiedene andere Inhalte produzieren kann.

<sup>21</sup> Vgl. IW Consult (2023): Der digitale Faktor. Wie Deutschland von intelligenten Technologien profitiert.

<sup>22</sup> Vgl. Schmoch et al. (2021): Identifizierung und Bewertung von Zukunftstechnologien für Deutschland. Endbericht an die KfW.

<sup>23</sup> Vgl. Schmoch et al. (2021): Identifizierung und Bewertung von Zukunftstechnologien für Deutschland. Endbericht an die KfW.

<sup>24</sup> Vgl. Müller, M. (2023): Zeitenwende durch Fachkräftemangel: Die Ära gesicherten Wachstums ist vorbei, Fokus Volkswirtschaft Nr. 414, KfW Research oder beispielsweise Hickmann, H. und L. Malin (2022): Fachkräftereport März 2022 – offene Stellen und Fachkräftelücke auf Rekordniveau. KOFA Kompakt 4/2022, Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung, IW Köln.

<sup>25</sup> Vgl. Müller, M. (2023): Schwache Konjunktur verringert Fachkräftemangel – Herausforderung bleibt, KfW-ifo-Fachkräftebarometer, Dezember 2023, KfW Research.

- <sup>26</sup> Vgl. IAB (2022): <https://www.iab-forum.de/wie-sich-eine-demografisch-bedingte-schrumpfung-des-arbeitsmarkts-noch-abwenden-laesst/>, zuletzt aufgerufen am 9.4.2024.
- <sup>27</sup> Vgl. Vöpel, H. (2023): Die „unmenschliche“ Revolution – Künstliche Intelligenz als Schicksalstechnologie für Deutschland und Europa, Wirtschaftsdienst 103(8), S. 513–517.
- <sup>28</sup> Vgl. Bertschek, I. (2023): Jetzt bloß nicht den Anschluss verlieren! – Status quo, Potenziale und Herausforderungen von Künstlicher Intelligenz; Wirtschaftsdienst 103(8), S. 518–520.
- <sup>29</sup> Vgl. Feike, M., et al. (2023): Künstliche Intelligenz aus Sicht von Unternehmen, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO; Lundborg, M. et al. (2023): Künstliche Intelligenz im Mittelstand. Mit welchen Anwendungen sind kleine und mittlere Unternehmen heute schon erfolgreich? WIK Consult sowie Lundborg, M. und C. Märkel (2019): Künstliche Intelligenz im Mittelstand. Relevanz, Anwendungen, Transfer, WIK Consult.
- <sup>30</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2022): Vielfältige Hemmnisse bremsen die Digitalisierung im Mittelstand, Fokus Volkswirtschaft Nr. 380, KfW Research.
- <sup>31</sup> Vgl. Hickmann, H. und F. Koneberg (2022): Die Berufe mit der höchsten Fachkräftelücke, IW-Kurzbericht 67/2022.
- <sup>32</sup> Vgl. Rammer, C. et al. (2020): Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Deutschen Wirtschaft, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- <sup>33</sup> Vgl. Suessenbach, F. et al. (2023): Informatikunterricht: Deutschland abgehängt in Europa, Policy Paper Ausgabe 1 / Januar 2023, Stifterverband und Heinz Nixdorf Stiftung.
- <sup>34</sup> Vgl. Regierung Japan (2022): AI Strategy 2022.
- <sup>35</sup> Neben der Gefahr von Fehlinformationen besteht bei KI-Systemen beispielsweise die Gefahr von rassistischen Ergebnissen oder ihres Einsatzes bei der Überwachung der Bevölkerung, der Diskriminierung und Verfolgung von Minderheiten oder zur Steuerung autonomer Waffensysteme. Vgl. <https://github.com/daviddao/awful-ai>, zuletzt aufgerufen am 22.4.2024.
- <sup>36</sup> Vgl. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/732331/umfrage/studierende-im-fach-informatik-in-deutschland-nach-geschlecht/>, zuletzt aufgerufen am 10.4.2024.
- <sup>37</sup> Vgl. Bertschek, I. (2023): Jetzt bloß nicht den Anschluss verlieren! – Status quo, Potenziale und Herausforderungen von Künstlicher Intelligenz, Wirtschaftsdienst 103(8), S. 518–520.
- <sup>38</sup> Vgl. Engels, B. (2023): Künstliche Intelligenz in der deutschen Wirtschaft: Ohne Digitalisierung und Daten geht nichts, Wirtschaftsdienst 103(8), S. 525–529.
- <sup>39</sup> Vgl. Büchel, J. und B. Engels (2022): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland. Digitalisierungsindex 2022, Kurzfassung der Ergebnisse des Digitalisierungsindex im Rahmen des Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland“.
- <sup>40</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2024): KfW Digitalisierungsbericht Mittelstand 2023. Digitalisierungsaktivitäten trotz der Konjunktur, KfW Research.
- <sup>41</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2024): KfW Digitalisierungsbericht Mittelstand 2023. Digitalisierungsaktivitäten trotz der Konjunktur, KfW Research.
- <sup>42</sup> Vgl. EFI-Kommission (2024): Jahresgutachten 2024 sowie EFI-Kommission (2022): Jahresgutachten 2022.
- <sup>43</sup> Vgl. BMBF (2023): BMBF-Aktionsplan Künstliche Intelligenz. Neue Herausforderungen chancenorientiert angehen.
- <sup>44</sup> Vgl. EFI-Kommission (2024): Jahresgutachten 2024.
- <sup>45</sup> Vgl. EFI-Kommission (2024): Jahresgutachten 2024 sowie KI Branchenverband (2023) Große KI-Modelle für Deutschland. Machbarkeitsstudie.
- <sup>46</sup> Vgl. Zimmermann, V. (2023): Wo steht Deutschland bei Innovation und Digitalisierung im internationalen Vergleich? Fokus Volkswirtschaft Nr. 412, KfW Research.
- <sup>47</sup> Vgl. Vöpel, H. (2023): Die „unmenschliche“ Revolution – Künstliche Intelligenz als Schicksalstechnologie für Deutschland und Europa, Wirtschaftsdienst 103(8), S. 513–517.
- <sup>48</sup> Vgl. EFI-Kommission (2024): Jahresgutachten 2024.