



Strategische Vorausschau: Transformation 2030

Rahmenbedingungen des deutschen Innovationssystems

**Marc Bovenschulte, Robert Peters, Simone Ehrenberg-Silies,
Marc Ingo Wolter, Marlène de Saussure, Kerstin Goluchowicz**

November 2023

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Rahmenbedingungen für das Innovationssystem	3
	2.1 Energie, Energiesicherheit und Klimaschutz.....	3
	2.2 Gesellschaftlicher Zusammenhalt	5
	2.3 Außenhandel, Abhängigkeiten und Lieferketten	7
	2.4 Arbeitsmarkt	9
	2.5 Infrastrukturen.....	10
	2.6 Industrieller Kern	12
3.	Identifikation von Schlüsselfaktoren	13
	3.1 Zugrundegelegte Einflussfaktoren.....	13
	3.2 Cross-Impact-Analyse.....	14
4.	Ermittlung von Szenariopfaden	17
	4.1 Ausprägungen der Schlüsselfaktoren.....	17
	4.2 Kernelemente der Szenariopfade	19
5.	Volkswirtschaftliche Einordnung	20
6.	Schlussfolgerungen und Handlungsansätze	21
7.	Literaturverzeichnis	23
8.	Anhang	29

Rahmenbedingungen des deutschen Innovationssystems

1. Einleitung

In Zeiten von wachsender Unsicherheit, Polykrisen und Zeitenwende kommt der Strategischen Vorausschau („Foresight“) die Aufgabe zu, das bestehende Analysespektrum für transformative Politikgestaltung zu ergänzen. In einer Periode systemischer Veränderung reichen tradierte Strategien („Fahren auf Sicht“), die auf Basis einer Analyse bestehender Evidenz („Status Quo“) politische Handlungsbedarfe herleiten, nicht mehr aus. Die Strategische Vorausschau bietet dabei ein Methodenspektrum, um in einem strukturierten Prozess mögliche zukünftige Ausprägungen von Themen und Entwicklungen zu erfassen und abzuschätzen. Dabei werden Möglichkeitsräume beschrieben und eine vorausschauende Gestaltung („antizipative Politikgestaltung“) unterstützt. Da es keine harten Fakten über die Zukunft geben kann und kommende Entwicklungspfade auf Entscheidungen und Reaktionen vieler zurückzuführen sind, tritt bei der Strategischen Vorausschau die Plausibilität an die Stelle von wissenschaftlicher Evidenz. Je nach getroffenen Annahmen, die sowohl Randbedingungen als auch veränderte Entscheidungsprozesse umfassen können, entstehen so unterschiedliche, denkbare Szenarien. Anders als bei Prognosen und Vorhersagen wird also mehr als „die eine Zukunft“ beschrieben. Damit bietet die Strategische Vorausschau einen Orientierungsrahmen für die politische Gestaltung und eine mögliche Prioritätensetzung/Kräftebündelung.

In einem ersten Schritt wurden die wichtigsten Randbedingungen des deutschen Innovationssystems ermittelt. Aus dieser thematischen Übersicht wurden zentrale Einflussfaktoren abgeleitet, deren mögliche Entwicklung bis 2030 unter Einbindung von 40 Expert:innen aus Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Bundesregierung vorausgedacht und einer Cross-Impact-Analyse unterzogen wurden. Sechs Schlüsselfaktoren im Sinne von besonders einflussreichen Randbedingungen konnten in diesem Schritt identifiziert werden. Für jeden der sechs Schlüsselfaktoren wurden zwei bis drei exemplarische zukünftige Ausprägungen bzw. Entwicklungsrichtungen beschrieben. Hieraus ergeben sich drei konsistente Szenariopfade bis zum Jahr 2030.

Das Papier beschreibt zunächst die Rahmenbedingungen des deutschen Innovationssystems (Kapitel 2) und legt dar, auf welcher Grundlage im weiteren Verlauf Annahmen über

dessen mögliche künftige Entwicklung getroffen werden. Anschließend wird gezeigt, wie ausgehend von einem Set von 15 Einflussfaktoren die Auswahl von Schlüsselfaktoren erfolgt (Kapitel 3). In einem weiteren Schritt werden die ermittelten, denkbaren künftigen Ausprägungen der Schlüsselfaktoren sowie die darauf aufbauend entwickelten Szenariopfade (Kapitel 4) vorgestellt. Danach erfolgt die Abschätzung der volkswirtschaftlichen Implikationen der beschriebenen Szenariopfade (Kapitel 5). Zuletzt werden die zentralen Schlussfolgerungen des Berichts zusammengefasst und Handlungsansätze für die Politikgestaltung identifiziert (Kapitel 6). Aus dem hier präsentierten Prozess der Strategischen Vorausschau lassen sich vor allem relevante Fragestellungen für einen weiteren Gestaltungsdiskurs zwischen Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft ableiten.

2. Rahmenbedingungen für das Innovationssystem

Ausgehend von sechs ausgewählten Rahmenbedingungen (Abbildung 1) wurden zunächst Signale und Trends erfasst und plausibilisiert. Diese werden im Folgenden jeweils skizziert und hinsichtlich ihrer Implikationen für die „Ausrichtung des Innovationssystems“, die „Veränderung des Ökosystems“, die „Geschwindigkeit des Innovationssystems“, und die „Finanzierung des Innovationssystems“ diskutiert.

2.1 Energie, Energiesicherheit und Klimaschutz

Mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes (KSG) im Jahr 2021 hat sich Deutschland zum Ziel gesetzt, bis 2045 klimaneutral zu sein. Bereits bis 2030 sollen dazu die Emissionen von Treibhausgasen (THG) gemessen an 1990 um 65 % gesenkt werden. Erreicht werden soll dies mittels verbindlicher Reduktionssziele (Die Bundesregierung 2022b). Hierzu sind weitere Fortschritte in fast allen Sektoren erforderlich. Wie die „Eröffnungsbilanz Klimaschutz“ zu Beginn der aktuellen Legislaturperiode zeigt, bedarf es bis 2030 fast einer Verdreifachung der Geschwindigkeit bei der Emissionsminimierung (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2022). Auch vor diesem Hintergrund sind die 2020er-Jahre beim Thema Klimaschutz und Energiewende die „Dekade der Weichenstellungen“ (Deutsche Energie-Agentur GmbH 2021, 11).

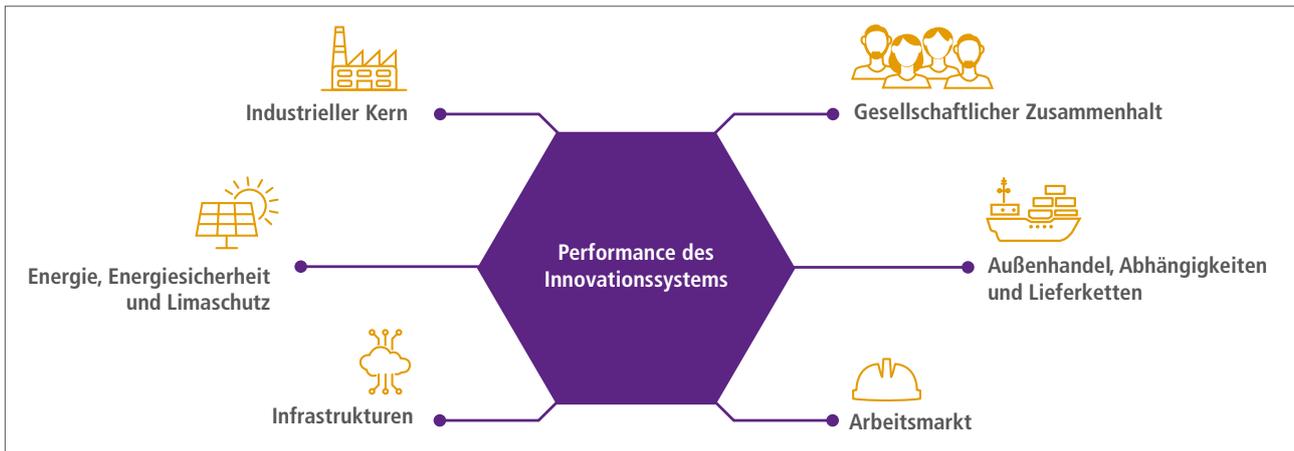


Abbildung 1: Sechs unmittelbar auf die Leistungsfähigkeit des Innovationssystems einwirkende Rahmenbedingungen.

Wenn es gelingt, die richtigen Rahmenbedingungen zu setzen und die Innovation klimafreundlicher Technologien sowie Investitionen in den Klimaschutz zu steigern, kann die Transformation in ein klimaneutrales Industrieland zu einer ökonomischen und ökologischen Erfolgsgeschichte werden (Deutsche Energie-Agentur GmbH 2021, 11). Auf dieses Ziel arbeitet auch die EU im Rahmen ihrer Industriestrategie und des „European Green Deal“ hin. Für 14 industrielle Ökosysteme entstehen sogenannte „Transition Pathways“, die einen politischen Steuerungsprozess beschreiben, wie in diesen Schlüsselbranchen bis 2030 die doppelte Transformation („Twin Transformation“) aus Nachhaltigkeit und Digitalisierung gelingt (European Commission 2023).

Dem Energiesektor kommt bei der nachhaltigen Transformation eine Schlüsselrolle zu. Deshalb beschleunigt die Bundesregierung den Ausbau erneuerbarer Energien (Die Bundesregierung 2022a). Auch die Industrie hat die Herausforderung erkannt: „Zur Erreichung der gesetzlich vereinbarten Klimaschutzziele 2030 braucht Deutschland innerhalb der nächsten neun Jahre einen weitgehenden Verzicht auf Reinvestitionen in fossile Technologien (...).“ (BDI 2021, 2).

Der Krieg Russlands gegen die Ukraine ist ein einschneidendes Ereignis, das kurz- wie mittelfristig erheblichen Einfluss auf die Energieversorgung in Deutschland und den Fortschritt bei der nachhaltigen Transformation hat. Neben zeitweise dramatischen Preissteigerungen (Juni bis September 2023) werden zumindest mittelfristig auch Versorgungsengpässe bei verschiedenen Energieträgern nicht ausgeschlossen (Leopoldina 2022). Wenngleich sich der Gaspreis nach starken Anstiegen im Jahr 2022 zu Beginn 2023 wieder verringert hat (Bundesnetzagentur 2023), ist langfristig zu erwarten, dass sich die Energiepreise in Deutschland oberhalb des Vorkriegsniveaus bewegen werden (Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung 2022). Die Rückkehr zu einer verstärkten Verstromung von Kohle

führte kurzfristig dazu, dass die in anderen Sektoren erzielten Einsparungen von THG-Emissionen in der Gesamtbilanz 2022 lediglich in einer Stagnation der Emissionen resultierten, wodurch sich Deutschland nicht auf dem notwendigen Reduktionspfad bewegt (Agora Energiewende 2023). Der Handlungsdruck zur Erreichung der Klimaziele dürfte demnach in den kommenden Jahren weiter steigen. Dies verschärft die Auswirkungen bislang bereits relevanter Barrieren, wie dem Fachkräftemangel in der Bauwirtschaft und den sich daraus ergebenden Herausforderungen für die energetische Gebäudesanierung (Saleh et al. 2022, 27).

Angesichts des systemischen Charakters der Herausforderung der Dekarbonisierung und der geopolitischen Ursachen für die jüngste Energiekrise dürfte dem Staat als zentraler Akteur bei der Bewältigung der Energiekrise künftig eine noch stärkere Rolle zukommen. Dies wird auch in der klar formulierten Erwartungshaltung der Wirtschaft deutlich, von der Bereitstellung grüner Energie zu wettbewerbsfähigen Preisen bis hin zur Schaffung grüner Leitmärkte, z. B. für Stahl und Zement (Bdi 2021, 22). Für eine erfolgreiche Transformation ist daher ein handlungsfähiger Staat unabdingbar, der klare Zielvorgaben macht und die notwendigen Maßnahmen wirksam voranbringt.

Ausrichtung des Innovationssystems

Das Innovationssystem dürfte sich noch stärker als bislang auf die Entwicklung nachhaltiger Technologien konzentrieren. Neben der (Weiter)Entwicklung von Technologien zur Energieerzeugung, Energieübertragung und Energiespeicherung dürfte es dabei in allen Sektoren vor allem um die Innovationsvorhaben gehen, welche die Energieeffizienz steigern und indirekte Einsparungen (z. B. über die Reduktion des Verbrauchs von Virgin-Materialien und eine Steigerung des Anteils von Sekundärrohstoffen) erzielen. Angesichts der voranschreitenden Digitalisierung der Gesellschaft könnte sich das Innovationssystem auch im Bereich der Forschung an digita-

len Technologien verstärkt auf deren Effekte auf Energie- und Ressourcenverbrauch konzentrieren. Auch auf Produktebene könnte sich die Zielstellung von Ful-Vorhaben verschieben. So dürften Entwicklungsziele wie Langlebigkeit, Reparierbarkeit und die Optimierung von Produkten für Product-as-Service-Geschäftsmodelle an Bedeutung gewinnen.

Veränderung des Ökosystems

Mit einer möglichen Verschiebung in der Ausrichtung des Innovationssystems im Zuge der Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft kann es auch im Ökosystem zu erheblichen Machtverschiebungen kommen. Insbesondere das Aufkommen neuer Akteure, die früher als etablierte Akteure des Innovationssystems auf sich durchsetzende Technologien (z. B. Tesla im Bereich des batterieelektrischen Fahrens) oder auf ein neues Geschäftsmodell setzen (z. B. Lynk im Bereich Auto-as-a-Service), könnten einen Technologie- und/oder Erfahrungsvorsprung gegenüber etablierten Akteuren des Ful-Systems (z. B. deutsche Automobilindustrie) erlangen. Regionale bzw. internationale Verschiebungen im Innovations-ökosystem könnten sich insbesondere aus divergierenden Entwicklungen der Energiekosten ergeben. Wenn etwa die Produktion aufgrund steigender Energiekosten zunehmend aus Europa abwandert, könnten den Produktionsstätten zunehmend auch die Ful-Abteilungen folgen.

Geschwindigkeit des Innovationssystems

Der steigende Handlungsdruck bei nachhaltigen Technologien könnte die Entwicklungsgeschwindigkeit im Innovationssystem erhöhen. Insbesondere im Energiesektor selbst und in den Bereichen, in denen Energie einen hohen Anteil an den Produktionskosten ausmacht, könnten effiziente Prozesstechnologien noch schneller entwickelt werden. Steigt der Druck, nachhaltige Technologien schnell zu adaptieren, stellt sich zudem die Frage, wie Anbieter bereits in den kommenden Jahren skalierbare Lösungen (z. B. im Bereich von Energiespeichern) am Markt verfügbar machen werden. Wenn die nachhaltige Transformation auch ökonomisch zu einer Erfolgsgeschichte werden soll, wird es darauf ankommen, dass deutsche Unternehmen Produkte und Services, die in den nächsten Jahren gebraucht werden, schnell genug am Markt platzieren. Dies dürfte entscheidend dafür sein, dass Deutschland in den Geschäftsfeldern der Zukunft eine wesentliche Rolle spielt.

Finanzierung des Innovationssystems

Deutschland und die EU setzen große Summen öffentlicher Gelder in Bewegung, um Ful im Bereich der Nachhaltigkeit anzureizen. Eine existenzielle Bedrohung wie die Klimakrise könnte daher ein Treiber sein, um öffentliche Ful-Budgets zu steigern oder zumindest eine Reduzierung abzuschwächen, die u. U. im Zuge der Haushaltskonsolidierung als notwendig erachtet werden würde. Auch private Investitionen dürften verstärkt im Bereich nachhaltiger Investitionen und zur Stär-

kung der Energiesicherheit eingesetzt werden. Zugleich ergibt sich die Gefahr, dass anhaltend erhöhte Energiekosten private Ful-Budgets auch in diesen Innovationsfeldern belasten würden. Neben der Inflation könnte auch ein dauerhaft erhöhtes Zinsniveau die Refinanzierungskosten von Investitionen für Unternehmen steigern.

2.2 Gesellschaftlicher Zusammenhalt

Innovationen (Output) werden häufig in der Logik eines Input-Throughput-Output-Schemas als Resultat betrachtet, beispielsweise von Ausgaben für FuE (Input) und Patenten (Throughput). Außerdem wird die Innovationsfähigkeit durch Faktoren wie die Verfügbarkeit von Venture-Capital (Enabler) und der Fähigkeit, Neues zu erkennen und in Innovationen umzusetzen (Absorptionsfähigkeit) diskutiert (Hartmann et al. 2014, 1). Angesichts der Bedeutung des Mittelstands mit seinen „Hidden Champions“ für das Innovationsgeschehen in Deutschland korrespondiert die Innovationsfähigkeit hierzulande möglicherweise stärker mit dem Verhalten und den Einstellungen der hier lebenden Menschen, denn die Einbettung der Unternehmen in lokale Gemeinschaften ist und war bisher mitentscheidend für deren erfolgreiche Entwicklung (Massis et al. 2018). Zentrale Faktoren für die Innovationsfähigkeit und die korrespondierende Qualität des Innovationsklimas nach dieser sozialwissenschaftlich geprägten Perspektive auf Innovationen sind beispielsweise die Einstellungen von Bürger:innen zu Wissenschaft und Technik: Wie aufgeschlossen sind sie gegenüber neuen Technologien und welchen Nutzen erhoffen sie sich durch den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt? Relevant ist zudem die Risikobereitschaft der Bevölkerung, die sich letztlich auch in Gründungsaktivitäten niederschlägt. Positiv auf die Innovationsfähigkeit wirken sich zudem die Toleranz und Offenheit einer Gesellschaft gegenüber verschiedenen Lebensstilen und Wertvorstellungen aus (Belitz und Kirn 2008, 48, 50, 53, 58, 62). Gerade der Faktor der Toleranz wird neben dem Vorhandensein von Talent (Qualifikationen, hochwertige Bildungseinrichtungen und Forschungsuniversitäten), Technologie (Forschung und Entwicklung und Wissenschaft) und territorialen Kontextbedingungen (Flächen, Umwelt und Kultur) als zentral für die Entstehung von Wohlstand betrachtet (CO-GITO 2022). Die Innovationsfähigkeit profitiert zudem vom hohen Vertrauen in die Innovationsakteure, etwa Wissenschaftler:innen, Politiker:innen, Unternehmen und Medien. Ist das Vertrauen in die Innovationsakteure eher hoch, sind diese auch eher in der Lage, auf Basis ihrer Expertise im gesellschaftlichen Diskurs um Technik, Wissenschaft und Innovation Orientierung zu bieten und die Entscheidungsfindung zu beeinflussen (Belitz und Kirn 2008, 48, 50, 53, 58, 62).

Einige Entwicklungen deuten darauf hin, dass sich die Innovationsfähigkeit Deutschlands gemessen an den möglichen

prospektiven Einstellungen und dem Verhalten der Bürger:innen in den kommenden Jahren nicht verbessern, sondern bestenfalls stagnieren oder sogar verschlechtern könnte. Eine der Ursachen hierfür könnte die wachsende Ungleichheit der Einkommen sein. Vom Wirtschaftsboom in den 2010er Jahren profitierten fast ausschließlich Menschen mit hohen Einkommen, wohingegen die realen Einkommen der unteren 20 bis 30 % gleichblieben oder sich nur geringfügig verbesserten. Gleichzeitig stieg der Anteil armutsgefährdeter Menschen (Personen, die über weniger als 60 % des mittleren Einkommens verfügen) von rund 11 % in der 1990er-Jahren bis heute auf 16 bis 17 % an. Das Armutsrisiko ist vor allem für Menschen mit Migrationshintergrund, Kinder, alleinerziehende Mütter und Teilzeitbeschäftigte groß. In Anbetracht der Tatsache, dass durch bisherige Krisen die Ungleichheit der Einkommen weiter anwuchs, ist zu erwarten, dass auch die jetzigen Krisen – u. a. Inflation und Pandemie – zu einer stärkeren gesellschaftlichen Polarisierung führen (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V. 2022). Dies ist besonders alarmierend, da Deutschland nach wie vor ein Land mit schlechter Bildungsdurchlässigkeit ist, die sich in der sozialen Ungleichheit in den Schullaufbahnen zeigt. Es ist in den letzten 20 Jahren nicht gelungen, die enge Verknüpfung zwischen sozialer Herkunft und dem erreichten Qualifikationsniveau aufzulösen und den Anteil kompetenzschwacher Schüler:innen zu vermindern. Sozial benachteiligte Jugendliche haben dreimal so häufig keinen Schulabschluss wie Jugendliche mit hohem sozioökonomischen Status. Sie erlangen auch weniger als halb so oft eine Hochschulzugangsberechtigung als die Vergleichsgruppe (Autor:innengruppe Bildungsberichterstattung 2022, 10).

Die dargestellten Trends, die in Richtung einer Verschärfung von Ungleichheiten deuten, haben das Potenzial, zentrale Grundlagen der Innovationsfähigkeit einer Gesellschaft wie Toleranz und Offenheit sowie das Vertrauen in Institutionen ins Wanken zu bringen. Schon jetzt wird in Studien eine Vertrauenskrise zwischen Bürger:innen und Politik erkannt, die sich auch in Form von Eliten- und Medienkritik äußert und im Wesentlichen auf der Unzufriedenheit mit Politikergebnissen basiert (Robert Bosch Stiftung und More in Common 2021, 10).

Ausrichtung des Innovationssystems

Sollte die Innovationsfähigkeit Deutschlands aufgrund der skizzierten Entwicklungsmöglichkeiten abnehmen, könnte es schwierig werden, die Souveränität in den Bereichen der Zukunfts- und Schlüsseltechnologien zu erlangen bzw. auf- und auszubauen. Ein negativ geprägtes Innovationsklima würde zudem die Ansiedlung neuer Firmen, FuE an kontrovers diskutierten Technologien (etwa KI oder Biotechnologie) sowie die Akquise von Talenten erschweren.

Da das Potenzial von Bildungsaufsteiger:innen unter der Annahme sich verschärfender Ungleichheit nicht ausgeschöpft werden würde und das Vertrauen in Innovationsakteure schwinden könnte, könnte es in der Konsequenz zu einer Verlagerung von FuE-Aktivitäten ins Ausland kommen, wodurch es zu einer Erosion regionaler Innovationscluster kommen könnte.

Umgekehrt könnte durch eine Verringerung von Ungleichheiten die Basis für ein weiterhin erfolgreiches Innovationssystem gelegt werden, das im ausreichenden Maß auf Fachkräfte aus dem In- und Ausland zurückgreifen kann.

Veränderung des Ökosystems

Unter der Annahme eines negativen Innovationsklimas würde das Innovationssystem stagnieren und wahrscheinlich an Innovationskraft verlieren. Da aufgrund von Risikoaversität und Skepsis gegenüber Wissenschaft und Technik keine neuen Akteure in das Ökosystem eintreten würden und der Zustrom von Ideen von außen gebremst würde, würden Produkte und Dienstleistungen, die ein solches System hervorbringen, deutlich an Wettbewerbsfähigkeit auf dem internationalen Markt verlieren. Auch hier gilt, dass ein positives Innovationsklima zu gegenteiligen Effekten führen und die Attraktivität des Standorts für Firmengründungen erhöhen könnte.

Geschwindigkeit des Innovationssystems

Verringert sich die Innovationsfähigkeit, dann erhöht sich auch die Zeitspanne zwischen FuE und Markteinführung. Die Gründe hierfür dürften in der abnehmenden Verfügbarkeit von Fachkräften aus dem In- und Ausland und dem hohen Aufwand für die politische und gesellschaftliche Moderation von Innovationsprozessen in einer Gesellschaft liegen, die von Skepsis gegenüber Wissenschaft, Technik und Staat geprägt ist.

Eine höhere gesellschaftliche Innovationsfähigkeit würde auch zu einer höheren Innovationsgeschwindigkeit und damit zu einer schnelleren Amortisation von Investitionen in das Innovationssystem führen.

Finanzierung des Innovationssystems

Vermindert sich die Innovationsfähigkeit der Gesellschaft, besteht auch das Risiko, dass immer weniger Gewinne durch Produkt- und Dienstleistungen erzielt werden können, die über Steuern teilweise dem Haushalt des Staates zufließen. Dies könnte letztlich dazu führen, dass sowohl staatliche Budgets für FuE (falls sie nicht ohnehin schon aufgrund der geringen gesellschaftlichen Akzeptanz für bestimmte Zukunftstechnologien vermindert worden sind) als auch unternehmerische FuE-Budgets schrumpfen. In einem solchen Szenario würde auch kaum Venture-Capital angezogen werden. Umgekehrt würde eine hohe Innovationsfähigkeit der

Gesellschaft zu mehr Prosperität führen und entsprechend zu besser ausgestatteten privaten und öffentlichen FuE-Budgets.

2.3 Außenhandel, Abhängigkeiten und Lieferketten

Das Geschäfts- und Wohlstandsmodell Deutschlands basiert stark auf einem funktionierenden, reibungslosen Außenhandel mit anderen Nationen. Die Gründe hierfür sind die Exportorientierung der deutschen Wirtschaft (jeder vierte Arbeitsplatz ist vom Export abhängig), der Grad der gesamtwirtschaftlichen Vorleistungsverflechtung und die Notwendigkeit, Rohstoffe und Energie importieren zu müssen. Im Jahr 2021 wurden Güter im Wert von 1.379 Mrd. Euro exportiert und Güter im Wert von 1.204 Mrd. Euro importiert. Der Außenhandelsaldo belief sich auf 175 Mrd. Euro und Deutschland erreichte hinter China und den USA Platz 3 der wichtigsten Exportländer weltweit (Statista 2022; Statista o. J.). Rund ein Drittel der benötigten Vorleistungen für die deutsche Industrieproduktion werden im Ausland erbracht. Insgesamt werden in der Industrieproduktion in Deutschland Güter in Höhe von 70 % des Bruttoproduktionswertes von anderen Unternehmen bezogen (Ragnitz 2022, 3).

In der ökonomischen Forschung wird belegt, dass der Kauf von Vorprodukten auf dem internationalen Markt zu bedeutenden volkswirtschaftlichen Effizienzgewinnen führt und Unternehmen im Inland Produktivitätsgewinne ermöglicht. Eine Nationalisierung von Lieferketten hingegen würde den Rückgang des deutschen Bruttoinlandsprodukts um knapp 10 % riskieren (Baur & Flach, 2022, S. 5).

Zahlreiche Entwicklungen in der jüngeren Vergangenheit stellen das Geschäftsmodell Deutschlands jedoch vor beträchtliche Herausforderungen und erfordern eine resiliente Nachjustierung bzw. Neuausrichtung der Absatz- und insbesondere der Beschaffungsseite. Zu diesen Entwicklungen zählen die protektionistischen Tendenzen in relevanten Absatzmärkten (z. B. China, Strafzölle auf Stahl- und Aluminiumimporte unter Trump, „Inflation Reduction Act“ unter Biden). Der Ukraine-Krieg hat zudem das politische Bewusstsein für asymmetrische Abhängigkeiten bei der Energie- und Rohstoffversorgung geschärft und den politischen Wunsch gefestigt, eine wertorientierte Außenpolitik und damit auch Handelspolitik zu verfolgen. Im Jahr 2021 wurden 75,5 % des deutschen Handelsvolumens (78,4 % der Exporte) mit Demokratien abgewickelt (Brüggemann et al. 13.01.2023, Nr. 10, 5).

Eine weitere zentrale Herausforderung sind die durch die Corona-Pandemie gestörten oder unterbrochenen Lieferketten. Die Lieferkettenprobleme, mit denen sich die deutsche Wirtschaft zurzeit konfrontiert sieht, haben temporäre, strukturelle und nachfrageinduzierte Ursachen. Vorübergehend und

damit vernachlässigbar dürften die durch die Corona-Pandemie hervorgerufenen Engpässe sein, die auf Produktionsunterbrechungen aufgrund von Lockdowns, die Umstellung der Produktion zugunsten in der Pandemie nachgefragter Güter, die Schließung von Häfen und besondere Ereignisse (Blockade des Suez-Kanals durch ein Containerfrachtschiff im März 2021, Chinas Null-Covid-Politik) zurückzuführen sind (Ragnitz 2022, 5–6). Im Gegensatz dazu werden die strukturellen und nachfrageinduzierten Faktoren voraussichtlich mittel- bis langfristig die Beschaffungsseite prägen. So wird die hohe Nachfrage nach spezialisierten Halbleitern aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung von Produktionsbereichen weltweit sehr wahrscheinlich anhalten bzw. noch anwachsen (Ragnitz 2022, 7). Die EU hat hierauf mit dem „European Chips Act“ reagiert und möchte bis 2030 20 % des globalen Marktanteils bei der Herstellung von Mikrochips erreichen (Haeck 2022). Auch die Herstellung von Halbleitern in Deutschland soll intensiviert werden. Die Errichtung neuer Produktionsstätten (Beispiel INTEL in Magdeburg) ist jedoch kapitalintensiv und nicht schnell umsetzbar, zumal Baufacharbeiter:innen fehlen (Ragnitz, 2022, S. 7).

Zu den strukturellen Faktoren für die Lieferkettenprobleme zählen die demografische Entwicklung in Deutschland und in Lieferländern (sich verstärkender Fachkräftemangel), die perspektivisch auch zu einer Verknappung bei Vorleistungen aus heimischer Produktion führen könnte, sowie die geostrategische Handelspolitik Chinas, die u. a. auf der Sicherung von Rohstoffvorkommen weltweit und dem Produktionsausbau im Hinblick auf höherwertige Vorleistungen etwa Halbleiter fußt. Dadurch ist die Volksrepublik in die Lage versetzt, durch Verknappung oder Verteuerung von Rohstoffen und Vorleistungen der deutschen Wirtschaft zu schaden (Ragnitz 2022, 6–7). Nur sieben der für die deutsche Wirtschaft strategisch relevanten Rohstoffe mit mittlerem oder hohem Versorgungsrisiko, insbesondere im Hinblick auf Zukunftstechnologien in den Bereichen Digitalisierung, Energie und Mobilität, werden zurzeit in Deutschland selbst abgebaut (Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft 2022, 13). Mehrere Rohstoffe können zudem aktuell nur aus Autokratien importiert werden, da sie über große Rohstoffvorkommen verfügen und durch hohe Fördervolumen eine marktbeherrschende Stellung einnehmen; die Opportunitätskosten für den Bezug aus anderen Ländern wären hoch (Fremerey und Iglesias Geradis 2022, 23). Dennoch kann eine Diversifizierung des Rohstoffbezugs aus ökologischen und sozialen Gründen sinnvoll bzw. auch rechtlich geboten sein (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz, Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD)) und gleichzeitig die Resilienz von Lieferketten erhöhen (Hackenbruch 06.01.2023; Ragnitz 2022, 7). Dies umfasst auch die heimische und europäische Rohstoffgewinnung. So wurde Mitte Januar 2023 das wahrscheinlich größte Vorkommen Seltener Erden im nördlichen Schweden entdeckt, das sich vermutlich auf 1 Mio. Tonnen beläuft, da-

mit aber immer noch deutlich hinter den vermuteten chinesischen Reserven (44 Mio. Tonnen) zurückliegt. Eine Ausbeutung wäre aufgrund der Dauer von Genehmigungsverfahren auch erst in zehn bis 15 Jahren möglich (Donges 2023).

Auch in Deutschland muss von der Exploration bis zu Förderung von Rohstoffen aufgrund aufwendiger Genehmigungsverfahren mit sieben bis zehn Jahren gerechnet werden. Außerdem müssten hierzulande Möglichkeiten zur Weiterverarbeitung geschaffen werden, um nicht neue Abhängigkeiten zu generieren. Die Weiterverarbeitung ist jedoch energieintensiv und deshalb vom Energiepreinsniveau abhängig (Hackenbruch 06.01.2023). Weitere zentrale Strategien zum Umgang mit Rohstoffrisiken können u. a. die Steigerung von Effizienz, Recycling und Substitution sowie die staatlich und privatwirtschaftlich organisierte Lagerhaltung sein (Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft 2022, 101–102). Ein wichtiger Ansatzpunkt ist zudem die Nutzung der Digitalisierung zur Erhöhung der Transparenz von Lieferketten, damit Unternehmen frühzeitig auf etwaige Störungen reagieren können (Baur und Flach 2022, 7). Potenziale werden hier den üblicherweise im Supply-Chain-Management verwendeten Technologien wie dem „Industrial Internet of Things“, der Radiofrequenzidentifikation, der Nahfeldkommunikation und der Blockchaintechnologie zugeschrieben (Bogenstahl und Richter 2020, 3). Vielversprechende Ansätze sind Projekte wie „Catena-X“, ein kollaboratives, offenes Datenökosystem für die europäische Automobilindustrie, das die Transparenz von Lieferketten auf der Basis einheitlicher Datenstandards für die gesamte automobilen Wertschöpfungskette verbessern soll (Baur und Flach 2022, 7).

Ausrichtung des Innovationssystems

Der Bedarf nach digitalen Technologien zum Monitoring von Wertschöpfungs- und Lieferketten wird in Anbetracht der Notwendigkeit einer resilienten Gestaltung von Lieferketten und aufgrund der rechtlichen Vorgaben in Bezug auf unternehmerische Sorgfaltspflichten steigen und damit auch die Ziele/Maßnahmen im Rahmen des deutschen Innovationssystems prägen.

Produkt- und Prozessinnovationen werden möglicherweise stärker durch die Substitution von Rohstoffen getrieben werden und verstärkt die Umweltwirkungen und Energiebilanz von zu innovierenden Produkten in den Blick nehmen müssen.

Der heimische Abbau von Rohstoffen wird den Druck auf die Entwicklung nachhaltiger Abbauprozesse erhöhen, da andernfalls eine gesellschaftliche Akzeptanz nicht zu erwarten ist. Zudem werden die möglichen Erfolge der im Februar 2021 verkündeten „offenen, nachhaltigen und entschlossenen Handelspolitik“ der EU, die auf die strategi-

sche Autonomie Europas, nachhaltigen Handel und die Erschließung neuer Absatz- und Liefermärkte vor allem in der Indopazifik-Region setzt, einen starken Einfluss auf die Ausrichtung des Innovationssystems (z. B. hinsichtlich der Produktentwicklung) haben und mitbestimmen, wie stark der Anpassungsdruck letztlich sein wird (Hilpert, 2022, S. 1–2).

Veränderung des Ökosystems

Da die Neu- und Umgestaltung von Lieferketten sowohl eine Frage der Resilienz als auch der ökologischen Nachhaltigkeit ist, ist der Themenbereich für Technologie-Start-Ups interessant. Möglicherweise könnten Innovationen in diesem Anwendungsfeld vermehrt durch eine Kooperation von größeren Unternehmen, die über die entsprechende Datenhaltung zu ihren spezifischen Wertschöpfungs- und Lieferketten und über ausreichend Investitionskapital verfügen, und kleinen agilen Technologiefirmen entstehen.

Durch den heimischen Abbau von Rohstoffen könnten sich neue regionale Innovationscluster entwickeln. Bedeutsame Vorkommen für die Energiewende relevanter Rohstoffe wie Lithium, Zinn, Indium, Wolfram, Kobalt oder Kupferschiefer werden in Sachsen, Thüringen und Baden-Württemberg vermutet (Hackenbruch, 2023).

Geschwindigkeit des Innovationssystems

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Entwicklungen auf der Beschaffungsseite erfordern die notwendigen Innovationen vor allem Ful in den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnologie, Datenmanagement, Materialforschung, nachhaltige Rohstoffgewinnung und Recycling, und Bau-, Geo- und Rohstoffingenieurswesen. Die Innovationsgeschwindigkeit könnte aufgrund des Fachkräftemangels in den MINT-Berufen in Deutschland gehemmt sein. In der Konsequenz könnten Unternehmen geneigt sein, FuE in diesen Bereichen stärker ins Ausland zu verlagern oder in global organisierten Netzwerken durchzuführen.

Finanzierung des Innovationssystems

Die Diversifizierung, das Monitoring und die Substitution von bestimmten Rohstoffen oder Vorprodukten in Lieferketten ist kostenintensiv und erfordert den Auf- und den Ausbau von Allianzen staatlicher und privater Akteure, die gemeinsame Investitionen in die Transformation von Lieferketten vornehmen. Auf Unternehmensebene könnten je nach Wertschöpfungstiefe und korrespondierender Sensibilität gegenüber Schwierigkeiten auf der Beschaffungsseite so viele Ressourcen für die Anpassung von Lieferketten gebunden sein, dass kaum Ausgaben für andere Ful-Aktivitäten in wichtigen branchenspezifischen Zukunftsfeldern oder etwa zugunsten der Personalentwicklung und Fachkräftegewinnung getätigt werden können.

2.4 Arbeitsmarkt

Der Arbeitsmarkt und dessen Funktion für die Fachkräfteversorgung sind ein Schlüssel für den nachhaltigen Erfolg des Innovationssystems. Das Vorhandensein von Talenten gilt in der Forschung seit langem als wesentliche Voraussetzung für die Innovationsfähigkeit (Florida 2003). Jüngste Erkenntnisse stützen diesen Zusammenhang auch empirisch (Horbach und Rammer 2022). Die historisch gewachsenen Voraussetzungen Deutschlands mit einem starken System primärer, sekundärer und tertiärer Bildung sind eine der zentralen Stärken des hiesigen Innovationssystems (OECD 2022, 32). Wenn aktuelle Untersuchungen also insbesondere in wichtigen Kompetenzbereichen wie MINT und bei digitalen Kompetenzen einen erheblichen Fachkräftemangel attestieren (OECD 2022, 32), stellt dies die Grundlagen des Innovationsstandorts Deutschland in Frage. Dabei beeinträchtigt der Fachkräftemangel nicht nur langfristig die Aussichten künftiger Innovationsvorhaben. Es lässt sich empirisch zeigen, dass der Fachkräftemangel auch zum Abbruch geplanter Innovationsvorhaben führen kann (Horbach und Rammer 2022). Schwerpunkte des Fachkräftemangels liegen dabei im Bereich der Pflege, medizinischer Berufe, der Bauwirtschaft und dem Handwerk (Bundesagentur für Arbeit 2022). Neben Berufsgruppen, die für grundlegende Funktionen der Gesellschaft – etwa die Gesundheitsversorgung – Verantwortung tragen, sind damit vor allem solche Tätigkeitsbereiche betroffen, denen eine Schlüsselrolle bei der Verwirklichung der Dekarbonisierung zukommen, z. B. im Bereich der energetischen Gebäudesanierung (Saleh et al. 2022, 27).

Während in den vergangenen Jahren in vielen Branchen in Deutschland technologische Veränderung mit einem möglichen Verlust von Arbeitsplätzen assoziiert worden ist (Apt et al. 2021, 28), findet hier inzwischen ein Perspektivwechsel statt. Im Vordergrund der politischen Debatte steht nun das Potenzial von Innovationen, um sowohl ökonomischen Interessen (z. B. Abschwächung des Fachkräftemangels durch Automatisierung) als auch den Interessen von Arbeitnehmer:innen dienen zu können, indem Beschäftigte durch Technologie in ihrer Arbeit Unterstützung erfahren (Korinek und Stiglitz 2021). Als politische Handlungsansätze zur Überwindung des Fachkräftemangels werden derzeit vor allem die Ausschöpfung der Fachkräftereserven – z. B. über eine Stärkung von Re- und Upskilling und die dazu erforderliche Aufwertung und Flexibilisierung der beruflichen Weiterbildung (Bundesministerium für Arbeit und Soziales und Bundesministerium für Bildung und Forschung Juni 2019) – sowie die Stärkung von Fachkräftezuwanderung (Bundesregierung 2022) verfolgt. Dass Fachkräftezuwanderung dabei mehr sein kann als lediglich eine Kompensation fehlender Quantität von Arbeitnehmer:innen, zeigen Forschungsergebnisse aus den USA. So kann die Zuwanderung hochqualifizierter Arbeitskräfte Innovation aktiv befördern (Bloom et al. 2019, 174).

Jenseits eines persistenten Fachkräftemangels gibt es insbesondere in den vergangenen Jahren Anzeichen für eine mögliche Veränderung der Einstellungen und Erwartungen, die insbesondere junge Menschen zu und an Erwerbsarbeit haben. Monetäre Vergütung und sozialer Aufstieg durch Erwerbsarbeit verlieren für manche gesellschaftlichen Segmente zunehmend an Bedeutung (Korinek und Stiglitz 2021). Ortsunabhängiges Arbeiten und die Arbeit in hybriden Teams erfuhr in Folge der Covid-19-Pandemie einen Schub. Damit verbunden steigt die Erwartung von Arbeitnehmer:innen, dass Unternehmen ihnen dauerhaft entsprechende Möglichkeiten des flexiblen Arbeitens bieten (Peters et al. 2021). Flexibilität bezogen auf Arbeitsort und Arbeitszeit und eine an den eigenen Bedürfnissen orientierte und sinnstiftende Arbeit gewinnen an Bedeutung bei Entscheidungen über die eigene Erwerbsbiografie (Stepstone 2022). Vor diesem Hintergrund deutet sich an, dass Beschäftigte bei der Arbeitgeberwahl den Werten, für die Unternehmen stehen, in der Praxis bereits erhebliche Bedeutung beimessen. Eine Befragung unter mehr als 1.000 Entwickler:innen im Vereinigten Königreich kommt zu dem Ergebnis, dass knapp 60 % aller Befragten bereits an der Entwicklung digitaler Technologien mitgewirkt haben, die sie als gesellschaftlich schädlich einschätzten. Etwa ein Viertel dieser Beschäftigten hat sich aus diesem Grund für eine Kündigung entschieden (Doteveryone 2019). Eine Fallstudie über ein deutsches Unternehmen aus der Kunststoffindustrie illustriert, wie ein Imageverlust beim Thema Nachhaltigkeit die Möglichkeiten zur Gewinnung neuer Beschäftigter beeinträchtigen kann (Busch-Heizmann et al. 2021, 119–124).

Ausrichtung des Innovationssystems

Der Druck auf das Innovationssystem wächst, bei der Automatisierung von Prozessen schneller voranzukommen, um den Fachkräftengpass zu reduzieren. Dies könnte dazu beitragen, dass sich das Innovationssystem verstärkt auf die Entwicklung von Prozessinnovationen konzentriert. Offen ist, inwiefern dies zu einer einseitigen Priorisierung von Prozessinnovationen vor Produktinnovationen beiträgt. Es ist nicht auszuschließen, dass unter einer solchen Priorisierung die Fähigkeit des deutschen Innovationssystems leidet, innovative Produkte in der erforderlichen Quantität und Geschwindigkeit zu entwickeln, um langfristig am Markt zu bestehen.

Veränderung des Ökosystems

Schon heute sind Unternehmen, deren Werte und/oder deren Image mit den Werten potenzieller Arbeitnehmer:innen konfliktieren, im Wettbewerb um Fachkräfte benachteiligt. Es deutet sich an, dass Unternehmen, die z. B. glaubwürdig für soziale und ökologische Nachhaltigkeit stehen, künftig davon profitieren könnten, wenn Menschen ihre Arbeitgeber verstärkt anhand nicht-monetärer Kriterien auswählen. Dies könnte den Anreiz für Unternehmen setzen, ihre Innovations- und Geschäftsstrategien z. B. stärker auf Clean-Tech

oder gemeinwohldienliche Innovationen auszurichten. Dadurch könnten solche Akteure im Innovationssystem gestärkt werden, die hier Maßstäbe setzen und glaubhaft sinnstiftende Arbeit bieten. Auch bezogen auf den Standort Deutschland insgesamt könnte das Image und die Glaubwürdigkeit im Bereich von Werten wie Toleranz erheblichen Einfluss darauf haben, wie erfolgreich beispielsweise die Bemühungen um Fachkräftezuwanderung in der Praxis sein werden. Innerhalb Deutschlands könnte es bei den Voraussetzungen für das Innovationssystem ebenfalls zu Friktionen kommen, wenn z. B. einzelne Regionen in Folge eines Imageschadens wegen hoher Zustimmungswerte für rechtsextreme Parteien für Fachkräfte aus anderen Regionen Deutschlands oder aus dem Ausland nicht mehr attraktiv sind.

Geschwindigkeit des Innovationssystems

Der Fachkräftemangel dürfte auf absehbare Zeit die Geschwindigkeit von Ful-Prozessen in erheblicher Weise beeinflussen. Dies könnte künftig die Fähigkeit des deutschen Innovationssystems beeinträchtigen, mit der Geschwindigkeit im internationalen Wettbewerb Schritt zu halten. Zu einer besonderen Herausforderung könnte dies vor allem dort werden, wo eine hohe Innovationsgeschwindigkeit im internationalen Wettbewerb auf einen besonders ausgeprägten Fachkräfteengpass in Deutschland trifft (z. B. in der Entwicklung europäischer Hyperscaler im Bereich Sprachtechnologien oder bei der Entwicklung des „Industrial Metaverse“). Auch bei Technologien mit einem hohen Technologiereifegrad und zu einem späten Zeitpunkt im Innovationsprozess kann ein Mangel an Fachkräften noch erhebliche Folgen haben. So kann z. B. die Diffusion energiesparender Lösungen im Bereich der Gebäudesanierung durch das Fehlen von Baufachkräften verlangsamt und für Konsumenten kostspieliger werden.

Finanzierung des Innovationssystems

Der Wettbewerb von Unternehmen um knappe Fachkräfte könnte im Arbeitsmarkt dauerhaft zu strukturell steigenden Löhnen führen, wenn Unternehmen dazu gezwungen sein sollten, ihre finanziellen Spielräume für Lohnerhöhungen immer weiter auszureizen. Sollte sich zudem die Inflation bis in die zweite Hälfte der 2020er Jahre hinein deutlich oberhalb des von der Europäischen Zentralbank angestrebten Ziels von 2 % halten, könnten aufgrund wachsender Lohnkosten und eines abnehmenden Grenznutzens von Automatisierung und Digitalisierung die Ful-Budgets von Unternehmen zur Kompensation des Fachkräftemangels dauerhaft stagnieren bzw. sinken. Vor allem KMU, die im Gegensatz zu global operierenden Großkonzernen nicht die Möglichkeit haben, ihre Ful-Aktivitäten in Länder mit ausreichendem Fachkräfteangebot zu verlagern, werden hiervon betroffen sein.

2.5 Infrastrukturen

Infrastrukturen bilden gleichsam das funktionale Gerüst von Gesellschaft und Wirtschaft. Allgemein beruht die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands auch auf der Güte seiner Infrastrukturen. Von der anhaltenden Herausforderung beim Ausbau von Glasfasernetzen (Neumann et al. 2021) über die schleppende Instandhaltung und Erweiterung von Verkehrsinfrastruktur bis hin zur langsamen Erneuerung im Bildungssektor wird deutlich, dass neue Infrastruktur nicht in der erforderlichen Geschwindigkeit aufgebaut und die Substanz der Infrastrukturen an vielen Stellen aufgezehrt wurde (Heinrich-Böll-Stiftung 2020, 38–39). Über einen Zeitraum von rund zwanzig Jahren hat der Staat in der Summe weniger für neue Kapitalgüter ausgegeben als für ihre Nutzung abgeschrieben wurde. Auch von internationalen Unternehmen mit Niederlassungen in Deutschland wird die Qualität der Infrastrukturen in Deutschland – allen voran die digitalen – zunehmend kritisch gesehen (Glunz et al. 2021). Eine umfassende Analyse verschiedener Infrastrukturen in Deutschland macht deutlich, in welchen Bereichen Handlungsbedarf, aber auch Hoffnung für nachhaltige Verbesserungen und Impulse für die Transformationen bestehen.

Insbesondere digitale Infrastrukturen spielen dabei für die nationale und technologische Souveränität zur Vermeidung von einseitigen Abhängigkeiten eine sehr wichtige Rolle. So wird auf europäischer Ebene mit GAIA-X der Ansatz verfolgt, in einem offenen und transparenten digitalen Ökosystem Daten und Dienste verfügbar zu machen, zusammenzuführen, vertrauensvoll zu teilen und zu nutzen (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2019b). Parallel dazu entstehen im Zuge der Multi-Cloud-Strategie des Bundes auf nationaler Ebene Angebote für Souveräne Clouds; im Regelfall werden die Angebote von einem nationalen Technologiekonzern, der als Datentreuhänder fungiert, in Kooperation mit einem der großen US-amerikanischen Cloud-Anbieter umgesetzt (Peters 2022). Cloud-Dienste sind aufgrund der Dezentralität und Redundanz von Datenspeicherung und -verarbeitung ein wichtiger Baustein für Resilienz.

Auf Ebene des 5G- und insbesondere des zukünftigen 6G-Netzes für mobiles Internet zeigt sich bereits sehr deutlich, wie präsent das Thema der technologischen Souveränität ist. So wurde ein chinesischer Netztechnik-ausrüster durch die Vereinigten Staaten von nationalen Beschaffungsverfahren ausgeschlossen (Bartz und Alper 2022).

Im Bereich der Energieinfrastruktur steht langfristig vor allem die Frage der H₂-Infrastruktur im Fokus. Da Deutschland seinen Bedarf an grünem H₂ nicht aus eigener Produktion wird decken können, müssen Möglichkeiten zum Import (europäi-

sche Pipelines, H₂-Terminals in Häfen) und zur Speicherung sowie Verteilung ausgebaut und über weite Strecken neu geschaffen werden (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2020). All diese Systeme müssen „H₂-ready“ sein, was etwa auf die bestehenden Erdgasinfrastrukturen nur sehr eingeschränkt zutrifft; aktuell wird das Problem in erster Linie über H₂-Beimischungen in Höhe von rund 10 % gelöst, doch ist diese Strategie angesichts der angestrebten Klimaneutralität und Dekarbonisierung (= Verzicht auf Erdgas) zeitlich begrenzt tragfähig.

Eine weitere für das Innovationssystem bedeutsame Infrastruktur ist der Bildungssektor. Bei den Investitionen in die Schulbildung wird es neben der baulichen Instandsetzung und Ausstattung auch um weitergehende infrastrukturelle Ansprüche gehen, wie die qualitative Weiterentwicklung von Prüfungskultur und die personelle Ausstattung von Schulen (Wilhelm-Weidner und Rotter 2023). Auch das System primärer, sekundärer und tertiärer Bildung gelten als eine der zentralen Stärken des hiesigen Innovationssystems (OECD 2022, 32). Folglich gehört mit Blick auf die Transformationsprozesse zur „Infrastruktur einer zunehmend wissensintensiven Wirtschaft auch eine qualitativ hochwertige und ausdifferenzierte Wissenschaftslandschaft. Sie entscheidet maßgeblich über die Verfügbarkeit qualifizierter Fachkräfte und die Innovationsfähigkeit der Wirtschaft“ (Brandt und Krämer 2022).

Über alle Infrastrukturbereiche hinweg sind Fachkräfteverfügbarkeit, Budgetbereitstellung sowie Planungs- und Genehmungsverfahren die zentralen Herausforderungen bezogen auf die Entwicklung bis 2030. So beträgt die Genehmigungsdauer für einen Windpark aktuell rund vier bis fünf Jahre (Bundesverband WindEnergie e.V. ohne Jahr), bei Verkehrswegen auch deutlich länger. Angesichts dieser Zeithorizonte gibt es in der Bundesregierung Überlegungen, ein Staatsziel Infrastruktur in die Verfassung aufzunehmen, das dem Ausbau von Infrastrukturen Vorrang vor anderen Rechtsgütern einräumt und so eine deutliche Verbesserung der Planungs- und Investitionssicherheit mit verkürzten Genehmigungsdauern anstrebt (Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2022). Deutlich wird hier, dass die Verwaltung selbst eine zentrale Infrastruktur bei der Bewältigung der Transformation ist. Will der Staat für Unternehmen und Bürger:innen seine Aufgaben in vollem Umfang und mit hoher Effizienz erfüllen, bedarf es einer grundlegenden Modernisierung von Organisationen und Prozessen im Bereich der Verwaltung. Neben der Digitalisierung von Verwaltungsabläufen wirkt die Verwaltung als Infrastruktur dabei über eine Modernisierung der Fördermittelvergabe auf das Innovationssystem ganz unmittelbar ein (Bogumil et al. 2022).

Ausrichtung des Innovationssystems

Bildung sowie die Erzeugung und Bereitstellung von Wissen sind zentrale (kritische) Infrastrukturen und integraler Be-

standteil des Innovationssystems. Ihnen kommt angesichts der demografiebedingten Schrumpfung der Erwerbsbevölkerung und der Zunahme wissensbasierter Wertschöpfung eine doppelte Bedeutung zu. Darüber hinaus zeigt sich immer mehr, dass ein Wechselspiel zwischen Digitalisierung und Innovationsfähigkeit besteht – beide bedingen sich in hohem Maße. Ohne eine leistungsfähige digitale Infrastruktur dürften in Zukunft auch keine maßgeblichen Innovationsprozesse mehr möglich sein; dies dürfte insbesondere für disruptive Innovationen gelten.

Darüber hinaus sind auch die weiteren Infrastrukturen wichtige Elemente eines innovationsförderlichen Rahmens. Wenn Unternehmen aufgrund guter Infrastrukturen und Produktionsbedingungen (leistungsfähige Logistik, effiziente/digitalisierte Verwaltung, qualifizierte Fachkräftebasis etc.) Investitionsentscheidungen jeder Art zugunsten Deutschlands treffen, steigt mit ihnen die Chance, dass diese Entscheidungen auch FuE+I umfassen.

Veränderung des Ökosystems

Aufgrund der digitalen Vernetzung dürften zukünftig praktisch alle Infrastrukturen als kritisch anzusehen sein – womöglich nicht immer in der Dimension nationaler Sicherheit oder Souveränität, wohl aber mit Blick auf deren Verfügbarkeit sowie Integrität. Und angesichts des Metaversums als virtuelle Super-Infrastruktur müssen diese Fragen insbesondere mit Blick auf technologische und nationale Souveränität voraussichtlich neu gestellt und beantwortet werden. Die Erneuerung und der Ausbau der Infrastrukturen sind unmittelbar auf innovative Lösungen angewiesen, um die bestehenden Systeme neu zu denken und zukünftige Infrastrukturerfordernisse zu antizipieren und frühzeitig umzusetzen. Grundsätzlich ist damit die Schaffung neuer Leitmärkte verbunden, wobei es in Deutschland und Europa insbesondere bei den digitalen Technologien Nachholbedarf gibt. Wenn es nicht gelingt, die bestehenden Abstände gegenüber Wettbewerbern durch ein „Made in Europe“ zu verringern, droht neben bereits bestehenden Abhängigkeiten ein dauerhafter Verlust an Kompetenzen und der Innovationsfähigkeit in zentralen Feldern nationaler Souveränität (z. B. beim Quantencomputing).

Geschwindigkeit des Innovationssystems

Die Transformationsprozesse werden viele Entwicklungen – wie schon während der Corona-Krise zu beobachten war – weiter beschleunigen, sodass der Bedarf nach neuen Lösungen außerhalb eines „Weiter so“ zunehmen wird. Ebenso sind in vielen Sektoren immer kürzere Innovationszyklen zu beobachten. Angesichts der engen Verflechtung von (nicht nur, aber insbesondere digitalen) Infrastrukturen mit dem Innovationssystem ist hier eine wechselseitige Beschleunigung zu erwarten: So erfordert ein rascher Ausbau der Infrastruktur für grünen Wasserstoff zahlreiche Innovationen und zugleich

bieten weitere Innovationen die Möglichkeit, die Nutzungsräume und Anwendungsmöglichkeiten zu erweitern. Ähnlich wie für den industriellen Kern sind hier an vielen Stellen „Prozessrevolutionen“ zu erwarten.

Finanzierung des Innovationssystems

Um die bestehenden Infrastrukturen – insbesondere der KRITIS – resilient zu machen und entsprechend der Triple-D-Transformation (Dekarbonisierung, Digitalisierung, demografischer Wandel) zu erneuern, dürfte ein umfassendes staatliches Investitionsprogramm notwendig sein, das in Kombination mit den entsprechenden rechtlichen Anpassungen (Genehmigungsverfahren) praktisch gleichbedeutend ist mit einem Investitionsprogramm für das Innovationssystem (siehe oben).

2.6 Industrieller Kern

Der Anteil des produzierenden Gewerbes in Deutschland betrug im Jahr 2021 26,6 % an der Bruttowertschöpfung und liegt damit deutlich vor Ländern wie Frankreich (16,8 %), UK (17,7 %) oder den USA (18,4 %), aber beispielsweise hinter Irland (40,2 %), China (39,4 %), Japan (29,0 %) und Südkorea (32,5 %) (DESTATIS 2022a). Die Industrie steht für rund 7,5 Mio. meist gut bezahlte und qualifizierte Beschäftigte (Stand 2021); der Maschinen- und Anlagenbau ist mit rund 1,15 Mio. Beschäftigten der größte Arbeitgeber der Industrie (DESTATIS 2022b). Zu den industriellen Schlüsselbranchen, in denen Deutschland als führend gilt, zählen die Stahl-, Kupfer- und Aluminium-Industrie, die Chemieindustrie, der Maschinen- und Anlagenbau, die Automobilindustrie, die optische Industrie, die Medizingeräteindustrie, der GreenTech-Sektor, die Rüstungsindustrie, die Luft- und Raumfahrtindustrie sowie die additive Fertigung/3D-Druck (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2019c).

Unter dem Eindruck der multiplen, sich überlagernden und oftmals wechselseitig beeinflussenden Einflüsse erfolgt eine weitreichende Transformation der Wertschöpfung (und Beschäftigung), deren Zukunft ganz maßgeblich von grünen, digitalen und zirkulären Paradigmen und Technologiefeldern bestimmt wird. „Dabei werden Technologien in den Bereichen Verkehr, Energiewirtschaft, Künstliche Intelligenz, Cybersecurity, Batterien und Circular Economy eine wesentliche Rolle spielen“ (Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. 2022). Für die industrielle Produktion in Deutschland bedeutet das zum einen, dass sich Branchen erneuern und in bestimmten Bereichen „neu erfinden“ müssen. Zum anderen kann es aber auch bedeuten, dass sich das Profil und die Zusammensetzung des industriellen Kerns vor dem Hintergrund des internationalen Wettbewerbs ändern wird. Damit kommt der Fähigkeit der Industrie, sich an neue Bedingungen anzupassen, neues Wissen zu erzeugen und aufzunehmen,

Innovationen hervorzubringen und neue Chancenräume zu eröffnen, eine zentrale Bedeutung zu. Eine Detailauswertung des „Global Innovation Index 2022“ kommt zu dem Schluss, dass der „Wissens- und Technologietransfer [...] in verschiedenen Wirtschaftszweigen und Technologiefeldern gut [gelingt]“, insbesondere zwischen FuE-treibenden Unternehmen traditioneller Wirtschaftszweige und dem Wissenschaftssektor. Bei neuen Technologien gelingt dies jedoch weniger gut, sodass insgesamt das bestehende Potenzial nicht ausgenutzt wird. Dies gilt etwa in Bezug auf Technologien, die für die Digitalisierung und für die Umsetzung neuen Wissens durch Unternehmensgründungen relevant sind. Darüber hinaus gibt es Anzeichen auf Schwächen bei der Wissensdiffusion, insbesondere zu kleinen und mittleren Unternehmen. Darauf deutet die Konzentration der Innovationstätigkeit auf eine immer kleiner werdende Zahl von Unternehmen hin (Zimmermann 2023, 6). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit komplementären Untersuchungen, nach denen deutsche Unternehmen im Vergleich zu anderen Ländern während der Covid-19-Pandemie vergleichsweise wenig in Innovationen als Mittel der Krisenbewältigung und Eröffnung von neuen Perspektiven und Geschäftsmöglichkeiten investiert haben (FTI-Andersch 2021). Und auch bei der Digitalisierung ergibt sich für Deutschland ein heterogenes Bild. Unternehmen, die schon vor der Pandemie investiert und einen erkennbaren Digitalisierungsstand erreicht hatten, haben diesen noch weiter ausgebaut, während Firmen mit geringer oder fehlender Digitalisierung hier kaum etwas erreicht haben; dies trifft insbesondere auf KMU zu und gilt mit wenigen Ausnahmen branchenübergreifend (Krzywdzinski et al. 2022). Diese Befunde gehen mit Untersuchungen zur Innovationsfähigkeit einher. Die Innovationsfähigkeit beruht neben der expliziten FuE im Wesentlichen auf drei Kapitaltypen (Trantow et al. 2011):

- Flexible/agile und auf Eigenverantwortung/Selbstorganisation setzende Arbeitsprozesse und -strukturen (Strukturkapital)
- Tendenziell wissensbasierte Wertschöpfung mit hoher Aufgabenvielfalt (Humankapital)
- Vernetzung/Kollaboration mit externen Akteuren (Beziehungskapital)

Dies betrifft vor allem Unternehmen, die im globalen Innovationswettbewerb stehen, einen überproportionalen Digitalisierungsgrad aufweisen und deren Geschäftsmodell zumindest teilweise auf höherwertigen (datengetriebenen) und wissensintensiven Dienstleistungsanteilen beruht. Sie folgen oftmals dem Prinzip der hybriden Wertschöpfung (Produkt und Service bzw. „Product as a Service“), was auch für das produzierende Gewerbe gilt. Es ergeben sich deutliche Hinweise, dass Unternehmen mit einer hohen organisatorisch-technischen Innovationsfähigkeit deutlich anpassungsfähiger sind und in Folge dessen über ein hohes Maß an Resilienz verfügen (Krzywdzinski et al. 2022). Die Kapitaltypen wer-

den demzufolge beim Aufbau von Resilienz zur Prävention und Bewältigung von Krisen und Shocks ebenso wichtig sein (Busch-Heizmann et al. 2023) wie bei Transformationsprozessen. Ihnen kann demzufolge in Verbindung mit dem Innovationssystem eine Schlüsselposition beim Erhalt, Wandel und Ausbau des industriellen Kerns Deutschlands zukommen.

Die Verzahnung von Innovations-, Industrie- und Arbeitsmarktpolitik dürfte dabei vor allem dort von zentraler Bedeutung sein, wo es ein starkes europäisches bzw. nationales Interesse gibt, technologische Souveränität wiederzuerlangen. Sichtbar wird dies besonders im Bereich der Chipstechnologie, wo Deutschland und Europa erkennbar ins Hintertreffen geraten sind. Insbesondere die Fertigung von Höchstleistungs-chips (7 nm und darunter) geht aktuell gänzlich am europäischen Markt vorbei (Hofer 2021). Auch aus diesem Grund spielen Europa und Deutschland in Sachen Unterhaltungselektronik, Multimediageräte und bei KI-Anwendungen nur eine unbedeutende Rolle. Bei der Entwicklung innovativer Services wie dem Industrial Metaverse kooperieren deutsche Industrieunternehmen wie BMW mit nicht-europäischen Chipherstellern wie NVIDIA (Peters et al. 2022). Dabei ist vor allem bei solchen politischen Maßnahmen, die als „Moon Shots“ (Südekum, Jens 2022) systemische Impulse für die Transformation setzen sollen, die Zeit bis zur Realisierung ein kritischer Faktor. So werden die beiden Großforschungseinrichtungen zur Astrophysik (mit deutlichen Spillovers Richtung Mikro-/Nanoelektronik) und zur Transformation der Chemieindustrie zugunsten der Defossilierung, die im Zuge des Strukturwandels in der Lausitz und im Mitteldeutschen Revier realisiert wird (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2022), erst im Jahr 2038 ihre volle Ausbaustufe erreichen. Wie an vielen Stellen der doppelten Transformation gilt auch hier, dass die positiven Impulse durch eine starke Beschleunigung vermutlich deutlich wirkungsvoller ausfielen: „Eine Politik der digitalen und ökologischen Transformation erfordert zweifelsohne eine erhebliche Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren“ (Brandt und Krämer 2022, 920).

Ausrichtung des Innovationssystems

Da die FuE+I-Aufwendungen der Wirtschaft in Deutschland wie in den meisten entwickelten Industrieländern rund zwei Drittel der Gesamtaufwendungen ausmachen, wird die Innovationsfähigkeit ganz maßgeblich von der Industrie bestimmt. Allerdings kooperiert die Industrie weltweit mit aus ihrer Sicht geeigneten (Forschungs-)Partnern und siedelt auch ihre eigenen FuE-Zentren im internationalen Wettbewerb an.

Veränderung des Ökosystems

Insbesondere die Wirtschaftssektoren, in denen Deutschland im internationalen Vergleich Schwächen in der Wettbewerbsfähigkeit aufweist, dürften in den kommenden Jahren stark an Bedeutung gewinnen. Dabei handelt es sich im Wesent-

lichen um digitale Technologien (Hard- und Software, z. B. Chip-Design). Demgegenüber bietet sich gerade durch Transformationsprozesse, etwa in den Bereichen Dekarbonisierung und Kreislaufwirtschaft die Chance, aufbauend auf den bestehenden Leitmärkten durch nachhaltig ausgerichtete Innovationen neue Wertschöpfungspotenziale aufzubauen. Dies wird jedoch ein erhebliches Vorinvestment bedeuten, da neue Ansätze gegenüber etablierten Mechanismen, Prozessen und Technologien oftmals Startnachteile haben (Markthochlauf, Realisierung von Skaleneffekten). Fraglich ist, inwiefern traditionelle Akteure des industriell geprägten Innovationssystems in der Lage sind, entsprechende Potenzialfelder rechtzeitig zu erkennen, die notwendigen Investitionsvolumen aufzubringen und in der notwendigen Geschwindigkeit neue Produkte und Services auf den Markt zu bringen.

Geschwindigkeit des Innovationssystems

Die Geschwindigkeit von Innovationszyklen tickt heute mehr denn je im globalen Takt; Deutschland und Europa müssen hier bei zentralen Entwicklungen an vorderster Front mitwirken, um die Spielregeln zukünftiger Entwicklungen mitzubestimmen. Neben internationalen FuE-Kooperationen mit vertrauensvollen Partnern kann dazu das Feld der internationalen Normung und Standardisierung dienen; ein klassisches Tätigkeitsfeld für Industrieunternehmen, das jedoch nur schwierig zu realisieren ist, wenn noch keine ausgeprägte Branchenstruktur („Zukunftstechnologien“) existiert.

Finanzierung des Innovationssystems

Wenn es um die Beschleunigung von Prozessen im Innovationssystem geht, sind es nicht in erster Linie fehlende Finanzmittel, die das Innovationssystem belasten, sondern andere Faktoren wie der Fachkräftemangel und lange Genehmigungsverfahren. Dennoch dürfte sich eine zunehmend unter Druck geratene Wettbewerbsposition der deutschen Industrie perspektivisch negativ auf die von Unternehmen aufzuwendenden Investitionsvolumen auswirken.

3. Identifikation von Schlüsselfaktoren

3.1 Zugrundegelegte Einflussfaktoren

Ausgehend von der Analyse der Rahmenbedingungen wurden 15 zentrale Einflussfaktoren für die Zukunft des Innovationssystems im Jahr 2030 identifiziert, die als Input für einen Cross-Impact-Workshop mit Expert:innen aus Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Bundesregierung genutzt wurden. Diese Faktoren sind:

- **Lohnniveau und Produktivität:** Kosten des Faktors Arbeit und Arbeitsproduktivität

- **Fachkräfte:** Verfügbarkeit und Qualität von Fachkräften inklusive Migrationseffekten
- **Digitalisierungsgrad der Wirtschaft:** Grad der Digitalisierung in ökonomischen Prozessen in Unternehmen und entlang von Lieferketten
- **Geopolitische Strategie und Verflechtung:** Ausrichtung der Handelspolitik auf neue Absatz- und Beschaffungsmärkte und Umfang der ökonomischen Austauschbeziehungen mit dem Ausland
- **Technologische und ressourcenbezogene Souveränität:** Souveränität in relevanten technologischen Feldern, bei kritischen Anwendungen und Verfügbarkeit erforderlicher Rohstoffe
- **Transparenz und Bewertbarkeit von Lieferketten:** Nachvollziehbarkeit von Herkunft, Herstellungsbedingungen und Transportwegen entlang von Lieferketten und Wertschöpfungsprozessen
- **Energieverfügbarkeit und -kosten:** Verfügbarkeit und Kosten für Energie sowie Grad der Versorgungssicherheit
- **Rolle des Staates:** Handlungsfähigkeit des Staates und Vertrauen in den Staat und seine Organe in Hinblick auf die Erfüllung seiner Aufgaben im Innovationssystem und staatliche Integrität
- **Regulierungsrahmen und Genehmigungsverfahren:** Effizienz der Verwaltung und Einbindung in den europäischen Regulierungsrahmen (z. B. Transition Pathways, REACH)
- **Geschäftsmodelle:** Art und Weise, wie und womit Unternehmen Mehrwert für Kund:innen erzeugen
- **Ungleichheit:** Ungleichheit gesellschaftlicher Gruppen in Hinblick auf Einkommen, Partizipationsmöglichkeiten und Bildungschancen
- **Softe Standortfaktoren:** Kulturelle und ökologische Attraktivität eines Standorts
- **Innovationsaffinität:** Grad der Innovationstätigkeit von Unternehmen sowie Einstellung zu Technik und Wissenschaft
- **Unternehmenssteuern:** Höhe der von Unternehmen abzuführenden Steuern
- **Finanzierungsvoraussetzungen:** Entwicklung von Zinsniveau und Inflation sowie Zugang zu VC

Für die Erfassung zukünftiger Entwicklungen und Optionen wurde die Cross-Impact-Analyse genutzt (Weimer-Jehle 2015). Sie ist eine bewährte Foresight-Methode, mit der unter Rekurs auf Expert:innen- und Stakeholdereinschätzungen Wechselwirkungen in komplexen Systemen systematisch analysiert werden können. Die Herausforderung für die Formulierung von Entwicklungspfaden und Handlungsperspektiven besteht in der Vielschichtigkeit und „Vertracktheit“ der Problemlagen („wicked problems“). Aufgrund der Tatsache, dass sich Hinweise auf Entwicklungen, die relevant für die Transformation 2030 sind, oftmals nicht aus Einzelindikatoren, sondern aus dem Zusammenwirken unterschiedlicher

Impulse und Signale ergeben, besteht der Vorteil der akteur-basierten Cross-Impact-Analyse im Diskurs interdisziplinärer Perspektiven auf den Untersuchungsgegenstand.

Neben Hinweisen zur Notwendigkeit einer Definition des Innovationssystems („Gehört das Bildungssystem dazu?“) sowie der Einbeziehung sozialer Innovationen und der Erläuterung einiger getroffener Annahmen („Es ist nicht gesetzt, dass die Energiepreise mittelfristig hoch bleiben“) wurden Vorschläge für zusätzliche Einflussfaktoren wie „Nachhaltigkeit“ gemacht. Diese Diskussion wurde anschließend fortgesetzt, um das Ausgangs-Set der 15 Einflussfaktoren möglichst passgenau zu fassen. An die Diskussion schloss sich die eigentliche Cross-Impact-Analyse an. Sie ist eine bewährte Foresight-Methode, mit der unter Rekurs auf Expert:innen- und Stakeholder:inneneinschätzungen Wechselwirkungen in komplexen Systemen systematisch analysiert werden. Der Vorteil der akteursbasierten Cross-Impact-Analyse besteht darin, dass sie diskursiv, interdisziplinäre Perspektiven auf den Untersuchungsgegenstand einbezieht.

3.2 Cross-Impact-Analyse

Die 15 identifizierten Faktoren und deren Einflussstärke sowie Wechselwirkungen wurden in drei Arbeitsgruppen diskutiert und bewertet. Erwartungsgemäß ergab sich dabei ein sehr ausgeprägtes Gefüge von Wechselwirkungen; derartig vernetzte Wirkungsgefüge sind auch aus anderen Kontexten bekannt (Parkes et al. 2021). Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der drei Gruppen bezüglich der identifizierten Schlüsselfaktoren; die jeweilige Anzahl der Schlüsselfaktoren wurde dabei von jeder Gruppe selbst gewählt. Die mit grüner Schrift hervorgehobenen Faktoren finden sich – wenngleich zum Teil mit neuer Prägung, wie in den jeweiligen Klammern benannt – in allen drei Gruppen. Mit orangefarbener Schrift hervorgehobene Faktoren wurden in zwei der drei Gruppen – zum Teil ebenfalls mit neuer Prägung – übereinstimmend benannt.

Anmerkung: In Gruppe 3 wurden zahlreiche Aspekte des Fachkräftethemas, und zwar insbesondere mit Blick auf die Entwicklung und Anwendung neuer (digitaler) Technologien (vorwiegend „Expert:innen“ und „Spezialist:innen“) im Kontext des zusätzlichen Faktors „Leistungsfähigkeit von Hochschulen und FuE-Einrichtungen“ diskutiert/genannt.

Die qualitative Zusammenführung der in der Tabelle dokumentierten Ergebnisse ergibt unter Berücksichtigung der in den Gruppen geführten Diskussionen und vorgenommenen Schärfungen folgendes Bild: Dem Einflussfaktor „Rolle des Staates“ bzw. „Politische Governance“ (neue, oftmals nicht-hierarchische Formen der politischen Steuerung und des Regierens) wird eine zentrale Hebelwirkung zugeschrieben. Damit wird staatliches Handeln und innovative, politische

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
<ol style="list-style-type: none"> 1. Rolle des Staates (15) 2. Regulierungsrahmen und Genehmigungsverfahren (15) (inkl. Steuern und Rechtssicherheit) 3. Fachkräfte (10) 4. Energieverfügbarkeit und -kosten (10) 5. Digitalisierungsgrad der Wirtschaft (8) 6. Innovationsaffinität (8) (Hier: „Innovationsoffenheit und Beteiligung in Unternehmen und Gesellschaft“) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rolle des Staates (Hier: Politische Governance“) (15) 2. Innovationsaffinität (12) (Hier: „Mindset“) 3. Geopolitische Lage und Verflechtungen (9) 4. Regulierungsrahmen und Genehmigungsverfahren (8) 5. Ungleichheit (7) (Hier: „Gesellschaftliche Teilhabe“) 6. Energieverfügbarkeit und -kosten (6) 7. Digitalisierungsgrad der Wirtschaft (6) (Hier: „Digitalisierungsgrad in Wirtschaft, Gesellschaft, Verwaltung“) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rolle des Staates (15) 2. Finanzierungsvoraussetzungen (15) 3. Digitalisierungsgrad der Wirtschaft (11) (Hier: „Digitalisierungsgrad der Wirtschaft, der Gesellschaft, der Verwaltung“) 4. Neu: Leistungsfähigkeit von Hochschulen und FuE-Einrichtungen (11) 5. Geschäftsmodelle (10)

Tabelle 1: Konsolidierung der in den drei Parallelgruppen genannten Schlüsselfaktoren. Erklärung im Text.

Steuerung an sich als wichtige Strukturvariable zum Aufbrechen von Silostrukturen und Policy-Koordinierung (starker Staat vs. Staat, der sich auf unmittelbare Gefahrenabwehr beschränkt) angesehen, nicht nur für das Innovationssystem, sondern auch für andere Teile der Transformation. Aufgrund dieser Universalität wird der Faktor gleichsam vor die Klammer gezogen. Aus der weiteren Verdichtung können die folgenden Schlüsselfaktoren qualitativ abgeleitet werden.

1) **Innovationsaffinität in Wirtschaft und Gesellschaft:** Dieser Schlüsselfaktor beinhaltet die Aufgeschlossenheit gegenüber (wissenschaftlich-technischen) Neuerungen und Pfadwechseln und die Beteiligung an den entsprechenden Prozessen. Sie ist Ausdruck der Wandelbarkeit von Unternehmen, Branchen und Volkswirtschaften im Zusammenspiel mit gesellschaftlichen und politischen Akteuren. Dabei ist die Innovationsaffinität auch Ausdruck der kollektiven Erfahrungen im Umgang mit Innovationen vs. Pfadabhängigkeiten. Das damit verbundene „Mindset“ ist auf individueller und kollektiver Ebene die Fähigkeit, mit Unsicherheit umzugehen und Chancen auch dann zu erkennen und zu ergreifen, wenn damit verbundene Risiken noch nicht abschließend geklärt und „versichert“ sind.

2) **Verfügbarkeit und die Kosten von Energie:** Die Frage des Strompreises im internationalen Vergleich sowie die Frage der Versorgungssicherheit im Zuge der Energiewende (Ausstieg aus der Atomkraft und der Braunkohleverstromung etc.) ist für die energieintensiven Branchen und insbesondere die Grundstoffindustrie wie Chemie-, Kupfer- und Stahlindustrie ein langjähriger Kosten- und damit Standortfaktor. Dieser hat unter dem Eindruck des Energiepreisschocks in Folge des Angriffskrieges auf die Ukraine weiter an Bedeutung gewonnen. Steigende bzw. dauerhaft hohe Energiepreise schränken die Verfügbarkeit von freien Finanzmitteln etwa für FuE ein und mindern somit die Innovationsfähigkeit. Im Umkehrschluss sind Innovationen eine Voraussetzung für energiesparende Verfahren.

3) **Verfügbarkeit und Qualität von Fachkräften:** Dieser Schlüsselfaktor beinhaltet übereinstimmend für die drei Gruppen, die bis zum Jahr 2030 benötigte Fachkräftebasis, um die im Zuge der Energiewende nötigen Infrastrukturen zu schaffen (und bestehende zu erneuern/zu erweitern), die Digitalisierung voranzutreiben, neue Geschäftsmodelle und Technologien zu entwickeln und diese anzuwenden/zu nutzen, Wettbewerbsfähigkeit zu

erhalten, technologische Souveränität zu stärken und einseitige Abhängigkeiten zu vermeiden.¹

- 4) **Geschwindigkeit und Angemessenheit von Regulierung:** Gruppenübergreifend markiert Regulierung (Regeln und ihre Durchsetzung) den zentralen Beitrag des Staates mit Blick auf die zukünftige Leistungsfähigkeit des Innovationssystems. Dabei kommt Regulierung vor allem für die konkrete Verwertung und den Transfer neuen Wissens und neuer Technologien eine zentrale Bedeutung zu. Der Staat schafft damit durch vorausschauende, innovationsfreundliche Regulierung eine „flexible Verlässlichkeit“. Zudem wird eine regulatorische Vereinfachung der Anerkennung im Ausland erworbener Bildungsabschlüsse als zentral betrachtet. Die genannten Ansätze erleichtern die individuelle und institutionelle Durchlässigkeit. Um wirksam zu werden, erfordert Regulierung dabei eine effiziente und effektive Verwaltung, die Regeln zeitnah um- und durchsetzt (eine mehrere Ebenen übergreifende und den Wandel fördernde Governance) sowie Formen einer partizipativen Gesetzesfolgenabschätzung.
- 5) **Grad der Digitalisierung in Wirtschaft, Verwaltung und auch Gesellschaft:** Hierunter wurde in den drei Gruppen sowohl eine flächendeckend leistungsfähige IKT-Infrastruktur, als auch die Verfügbarkeit von Fachkompetenzen für deren Nutzung gefasst. Es wurde zudem über die Möglichkeit diskutiert, dass fehlende Fachkräfte mit fortschreitender Digitalisierung in Teilbereichen kompensiert werden könnten. Ebenso beinhaltet der Faktor die Verfügbarkeit von (öffentlich zugänglichen) Daten und die Schaffung von universell, vertrauenswürdig und unbürokratisch nutzbaren Angeboten und Diensten (u. a. öffentliche und private Forschungseinrichtungen).

Zusätzlich konnte durch eine Plausibilisierung noch der 6) Wandel von Geschäftsmodellen als Schlüsselfaktor identifiziert werden. Dieser Faktor wurde im partizipativen Prozess nur in einer Gruppe unmittelbar herausgehoben, doch zeigt die Brückenfunktion, die ein sich wandelndes Geschäftsmodell zwischen Innovation und Markt einnimmt (Gatautis et al. 2019), dass es sich um ein Kernelement der Transformation handelt. Neuartige tragfähige Geschäftsmodelle auf der Ebene von Staat und Einzelunternehmen sind somit der Ausdruck einer gelungenen Transformation; auch und insbesondere entlang des Nachhaltigkeitspfades (Energieverfügbarkeit und -kosten).

Ebenso spricht für einen Schlüsselfaktor Geschäftsmodelle, dass diese nicht nur über neue Verfahren, Materialien und Effizienz beispielsweise auf die (Un-)Abhängigkeit von Lieferketten und Rohstoffen sowie die Bereitstellung und Nutzung von Energie wirken, sondern auch die fünf identifizierten Schlüsselfaktoren (s. o.). Die Brücken- und Integrationsfunktion der Geschäftsmodelle für ein leistungsfähiges Innovationssystem drückt sich in dem Umstand aus, dass diese in den drei parallel durchgeführten Cross-Impact-Analysen auch stark von anderen Faktoren beeinflusst werden. Somit können innovative und sich wandelnde Geschäftsmodelle wichtige Impulse in das Innovationssystem senden (Formulieren von FuE-Bedarfen, aber auch die Bereitstellung von FuE-relevanten Technologien, Daten, Kompetenzen²) als auch aus dem Innovationssystem aufnehmen (Innovationsaffinität); dies gilt insbesondere für Geschäftsmodelle, die sich auf komplexe Systemlösungen beziehen und hierbei einerseits die Stärken des „Germann Engineering“ fortführen und andererseits stark auf die Integration transdisziplinärer, digitaler und KI-Elemente im Sinne eines „Advanced Systems Engineering“ setzen (Albers et al. 2022).

Die doppelte Funktion von neuen Geschäftsmodellen als Impulsgeber und -rezipient geht einher mit der Überwindung einer linearen Funktionslogik von Grundlagen zur angewandten Forschung (Pielke und Byerly 1998). Mit dem Schlüsselfaktor „Wandel von Geschäftsmodellen“ verknüpfen sich die Transformationspfade in Deutschland mit den notwendigen Umsetzungen auf der Ebene der (neuen) Unternehmen und des Staates.

Innovative Geschäftsmodelle benötigen sowohl im bestehenden industriellen Kern als auch in aufkommenden neuen Industrien mitunter eine flexibel auf ihre Besonderheiten eingehende Regulierung, um überhaupt eine Marktwirkung entfalten zu können. Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass durch die neuen Geschäftsmodelle keine unverhältnismäßigen Nachteile entstehen (bzw. diese in einem Interessenausgleich berücksichtigt werden). Eine strategisch antizipierende, neue Pfade und Räume öffnende Rahmensetzung kann bis zum Jahr 2030 innovationsfördernde Impulse setzen. Anstelle einer von Beginn an operativ alles vorausdenkenden, kleinteilig ansetzenden und zeitintensiven Regulierung kann diese operativ flexibel und nachsteuernd mit geteilter Verantwortung von Staat und Unternehmen umgesetzt werden.

1 In Gruppe 3 wurden die initialen Einflussfaktoren durch „Leistungsfähige Hochschulen & FuE-Einrichtungen“ ergänzt. Unter diesem zusätzlichen Faktor wurden in der Gruppe zentrale Aspekte der Fachkräftebedeutung speziell für die Segmente „Expert:in“ und „Spezialist:in“ und in Ergänzung zum ursprünglichen Einflussfaktor „Fachkräfte“ gefasst.

2 Die hochentwickelte kommerzielle Computertechnologie macht Grundlagenforschung in der Astrophysik vielfach erst möglich. Das KI-Unternehmen DeepMind hat eine Lösung entwickelt, mit der sich die Faltung von Proteinen in der biologischen Grundlagenforschung vorausberechnen lässt, und die Daten aus Twitter und anderen sozialen Medien werden in den Sozialwissenschaften für Diskursanalysen etc. genutzt.

4. Ermittlung von Szenariopfaden

4.1 Ausprägungen der Schlüsselfaktoren

Die identifizierten Schlüsselfaktoren wurden mit ihren jeweiligen Ausprägungen in einem morphologischen Kasten (Zwicky 1971) abgetragen und zu konsistenten Entwicklungspfaden kombiniert (Abbildung 2).

Ausgelöst durch Klimakrise, geopolitische Verschiebungen, Pandemie und Ukrainekrieg ist das über Jahrzehnte erfolgreich bestehende Geschäftsmodell Deutschlands – Outsourcing der nationalen Sicherheit an die USA, der billigen Energieversorgung an Russland und der Produktion an China – zunehmend brüchig geworden. Gegenwärtig mehrten sich die Anzeichen dafür, dass Deutschland Gefahr läuft, auf den Pfad „Schleichender Abstieg“ zu geraten. Tatsächlich zeigt der Länderindex Familienunternehmen, dass Deutschland im internationalen Vergleich an Boden verliert (Stiftung Familienunternehmen 2023) und als Wirtschaftsstandort an Attraktivität einbüßt (The Pioneer 01.02.2023). Auch die

Wahrnehmung der Bevölkerung unterstützt diesen Eindruck. Gemäß einer aktuellen Umfrage sind nur 31 % der Bevölkerung davon überzeugt, dass sich Deutschland in den nächsten zehn Jahren gut entwickeln wird, und lediglich 39 % gehen davon aus, dass Deutschland in zehn bis 15 Jahren noch zu den führenden Wirtschaftsnationen gehören wird. Dieser Wert lag vor fünf Jahren bei 59 % (Zeit Online 2023b). Zentrale Ursache für das Einschwenken auf den Pfad „Schleichender Abstieg“ ist die Unfähigkeit, die bekannten Probleme zu adressieren und so zu einer substanziellen Verbesserung und zu einem Stimmungsumschwung beizutragen. Exemplarisch wäre dies gegeben, wenn angesichts nun wieder sinkender Preise für fossile Energien der gerade gesetzte Impuls für den Ausbau der Erneuerbaren Energien (EEG 2023 Wind auf Land³ und Photovoltaik sowie WindSeeG Wind auf See) nur halbherzig und hinter den Ausbauzielen zurückbleibend fortgeführt würde (Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft und Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. 2023).

Demgegenüber beschreiben die Pfade „Zuversichtliche Stagnation“ und „Reformorientierte Transformation“ unter-

Energiekosten und -verfügbarkeit	Passfähigkeit und Verfügbarkeit Fachkräfte	Governance und Regulierung	Digitalisierungsgrad in Wirtschaft, Verwaltung und Gesell.	Innovationsaffinität in Wirtschaft und Gesellschaft	Geschäftsmodelle	Performance Innovations-system
Dauerhaft hohe Kosten und schwankende Verfügbarkeit erschweren Fortschritt und erhöhen die Auslandsinvestitionen	Mehr angeleitete Helfer:innen und Fachkräfte durch modularisierte Aus- und Weiterbildung und Einbindung von Zugewanderten	Neuartige Verfahren erleichtern und beschleunigen die Umsetzung lokaler Projekte und nationaler Maßnahmen	Nahtlose Digitalisierung und Beschleunigung von Prozessen auf Basis einer einheitlichen Datennutzung	Neuer Fortschrittsoptimismus durch erste erfolgreiche Transformationsschritte	Stark digital geprägte neue Geschäftsmodelle mit entsprechender Skalisierung	(Deutliche) Fortschritte bei disruptiven Innovationen im Zuge von nationalen Missionen
Dauerhaft hohe Kosten aber stabile Verfügbarkeit begrenzen negative Standortentscheidungen	Der demografische Wandel schlägt in der Erwerbsbevölkerung ungebremst durch und verfestigt den Fachkräftemangel	Verfahren werden weiterhin durch Bürokratie und Einspruchsregelungen verzögert und erschwert	Uneinheitliche Digitalisierung verschärft die Unterschiede zwischen Regionen	Stagnierende Bedeutung: Mit dem Thema „Innovation“ werden weiterhin keine Wahlen gewonnen	Übertragung/Anpassung bestehender Geschäftsmodelle in Zukunftsmärkte	(Deutliche) Fortschritte bei inkrementellen Innovationen im Zuge von regionalen Missionen
Perspektivisch sinkende Kosten bei meist guter Verfügbarkeit sind positives Signal für Investitionen	Deutschland erlebt einen akademischen Brain Gain durch Repatriation und Gewinnung internationaler Talente		Im internat. Vergleich unterdurchschnittl. Digitalisierungsgrad	Technikskeptizismus und Wissensschafts-feindlichkeit prägen weite Teile der Gesellschaft und treffen auch die Wirtschaft	Erneuerung und Fortführung bestehender Geschäftsmodelle; neue Geschäftsmodelle nur in Nischenmärkten	Stagnierend bzw. leicht abnehmend im internationalen Vergleich

Abbildung 2: Morphologischer Kasten mit unterschiedlichen Ausprägungen der Schlüsselfaktoren. Der **orangefarbende Verlauf** beschreibt den Pfad „Schleichender Abstieg“, der **blaue Verlauf** den Pfad „Zuversichtliche Stagnation“ und der **grüne Verlauf** den Pfad „Reformorientierte Transformation“. Hinweis: Die dargestellten Szenariopfade beschreiben weder einen zeitlichen Verlauf noch eine funktionale Abfolge gemäß einer Lesrichtung von links nach rechts“.

3 Mit dem „Wind-an-Land-Gesetz“ des Bundes (in Kraft seit 01. Februar 2023) wurde ein Instrument geschaffen, um die Abstandsregeln der Länder außer Kraft setzen zu können, wenn länderspezifische Ausbauziele nicht erreicht werden.

schiedlich ambitionierte Wandlungsprozesse. Am deutlichsten wird dies an der Art neuer Geschäftsmodelle: Während in der „Zuversichtlichen Stagnation“ das existierende „German Engineering“ durch Innovationen zwar verbessert und erweitert, im Kern aber beibehalten würde, käme es in der „Reformorientierten Transformation“ zu einer Neudefinition, sodass die resultierenden Geschäftsmodelle einen viel stärkeren digitalen und KI-Anteil hätten (Hinweise darauf ergeben sich u. a. in Albers et al. 2022; Hanselka et al. 2020; Emmrich et al. März 2015). In diesen Geschäftsmodellen können demnach die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – wirtschaftlich, ökologisch und sozial – ebenso wie agile und ebenenübergreifende Kooperationen zentral verankert werden (Snihur und Bocken 2022). In der Folge würden damit nicht nur verstärkt disruptive Impulse aufgenommen und gesetzt, sondern es könnten auch soziale und gemeinwohlorientierte Innovationen gleichberechtigt integriert werden. Mit einer stärkeren Durchlässigkeit zwischen Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft wird siloübergreifendes und vernetztes Denken gefördert. Zudem würde sich die Chance bieten, Forschungs-, Innovations- und Industriepolitik als integriertes Handlungsfeld zu betrachten (Hanselka et al. 2020).

Sowohl die „Zuversichtliche Stagnation“ als auch die „Reformorientierte Transformation“ könnten, unter der gemeinsamen Maßgabe einer weitgehenden Flexibilisierung von Prozessen und Verfahren wie neuen Aus- und Weiterbildungsregimen, einer erleichterten Zuwanderung oder einer neugefassten Regulierung nach dem Prinzip der materiellen Präklusion als Reaktion auf das EuGH-Urteil aus dem Jahr 2015 (Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages 18.05.2018), deutlich zur Leistungsfähigkeit des Innovationsystems beitragen. Zum einen, weil grundlegend notwendige Standardvoraussetzungen wie Infrastrukturleistungen – siehe das Infrastrukturbeschleunigungsgesetz (tagesschau.de 2023) – und passfähige Fachkräfte erfüllt wären, zum anderen, weil aus der Umsetzung dieser Pfade selbst Impulse für die Innovationsfähigkeit ausgehen. Grundsätzlich bieten insbesondere Reallabore die Möglichkeit, Regulierung fallweise anzupassen oder auch auszusetzen (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2019a). Auf diese Weise wären auch persistierende Standortnachteile wie hohe Energiekosten zumindest in Teilen kompensierbar. Kennzeichen einer „neuen“ Regulierung könnte dabei sein, nach angelsächsischem Vorbild erst die Innovation zu fördern und dann die Regulierung daran anzupassen, um Praxiserfahrungen

und daraus resultierende Güterabwägungen in die Gesetzgebung aufzunehmen; Ziel wären von Deutschland/der EU ausgehende technologische Impulse, die ausreichend Substanz haben, um sich zu führenden Technologiestandards zu entwickeln (Parkes et al. 2021, 17 ff.) und somit die technologische Souveränität sicherzustellen. Anknüpfend an die „Important Projects of Common European Interest (IPCEI)“⁴ und den „European Chips Act“⁵ auf europäischer Ebene werden entsprechende Programme mit eigenen Gremien wie dem „Rat für technologische Souveränität“ beim BMBF unterstützt. Dessen 12 prioritäre Felder⁶ zeigen ein hohes Maß an Übereinstimmung mit den sechs „Key Enabling Technologies“, die das Europäische Parlament als strategisch wichtig zum Erhalt der technologischen Souveränität Europas identifiziert hat (European Parliamentary Research Service 2021). Die Stärkung der technologischen Souveränität kann dabei integraler Bestandteil von technologieorientierten, aber dennoch auf gesellschaftliche Herausforderungen ausgerichteten Missionen sein (Lindner et al. 2021; Mazzucato 2021), wobei diese im Pfad „Zuversichtliche Stagnation“ aufgrund der unzureichenden nationalen Integration kleiner und weniger wirkmächtig ausfallen als im Pfad „Reformorientierte Transformation“ mit möglichen weitergehenden institutionellen Voraussetzungen (Lindner et al. 2023).

Beide Pfade einer innovations- und wissensbasierten Wertschöpfung können jedoch auf der ausgeprägten „ökonomischen Komplexität“ Deutschlands auf- und diese in Wert setzen. Die „ökonomische Komplexität“ (Hidalgo und Hausmann 2009) ist Ausdruck von Wettbewerbsfähigkeit und der Vielfalt nützlichen Wissens. Eine Volkswirtschaft mit hoher ökonomischer Komplexität ist somit in der Lage, Produkte herzustellen, die nur wenige andere Volkswirtschaften ebenfalls herstellen können. Im Komplexitätsranking steht Deutschland auf Platz drei⁷ und scheint auch aus dieser Sicht dafür prädestiniert zu sein, sich im Feld komplexer Systemlösungen und darauf beruhender, digital vernetzter Geschäftsmodelle zu positionieren. Ein solches Feld ergibt sich beispielsweise unmittelbar in der Realisierung einer umfassenden Kreislaufwirtschaft, die gleichermaßen dafür geeignet ist, auf die Dekarbonisierung/Defossilierung (der stofflichen Basis) der Wertschöpfung einzuzahlen, als auch die Rohstoffabhängigkeit zu verringern. Zudem kann die Nutzung von Sekundärrohstoffen den Energiebedarf reduzieren und einen Beitrag zur Suffizienz leisten (Ragwitz et al. 2023). Mit der Umstellung der Prozesse zur Bereitstellung, Steuerung und Nutzung von Stoffströmen in einer Kreislaufwirtschaft würde ein enor-

4 Siehe <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/FAQ/IPCEI/01-faq-ipcei.html>

5 Siehe <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/european-chips-act-communication-regulation-joint-undertaking-and-recommendation>

6 Siehe https://www.bmbf.de/bmbf/de/europa-und-die-welt/innovationsstandort-deutschland/technologische-souveraenitaet/technologische-souveraenitaet_node.html

7 Siehe <https://atlas.cid.harvard.edu/rankings>

mes Nachfragepotenzial nach neuartigen Lösungen entstehen. Hier ergibt sich ein umfassendes Innovationsfeld in einer der weltweit beachtlich wettbewerbsfähigen Kernbranchen der deutschen Wirtschaft – dem Maschinen- und Anlagenbau, der von der Defossilierung und der zu erwartenden „Prozessrevolution“ besonders profitieren könnte (Neuhold 2021). Die Umsetzung von Strategien zur Nutzung von Sekundärrohstoffen sowie die Fähigkeit, digitale Technologien selbst entwickeln und vor allem auch herstellen zu können – ähnlich wie für die Herstellung von Systemen für Erneuerbare Energien ist auch die Produktion von digitalen Technologien und Geräten/Systemen auf eine leistungsfähige Ausrüsterindustrie angewiesen –, reduziert globale Abhängigkeiten. Auf diese Weise könnte die Resilienz mittels national und europäisch diversifizierter Lieferketten gestärkt, eine verstärkte Wertschöpfung in Deutschland bzw. in der EU realisiert, die Nutzung fossiler (Primär-) Rohstoffe und Energien gemindert und die technologische Souveränität gestärkt werden.

4.2 Kernelemente der Szenariopfade

Hauptmerkmal des Pfades **Reformorientierte Transformation** sind deutliche Fortschritte der Innovationssystem-Performance bis zum Jahr 2030 im Zuge disruptiver nationaler Missionen.

- Durch die Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren gelingt ab der zweiten Hälfte der Dekade der Ausbau von erneuerbaren Energien und der Energienetze wie geplant und führt perspektivisch zu sinkenden Kosten. Es gelingt, verlorengegangenes Vertrauen zwischen Staat und EE-Industrie wiederherzustellen und somit eine leistungsfähige Allianz zu bilden.
- Durch die Schaffung forschungsgetriebener Ökosysteme und eines verbesserten Transfers aus Forschung in Anwendung wird das Potenzial von Zukunfts- und disruptiven Technologien für neue Wertschöpfung und zukunftsfähige Arbeitsplätze in Deutschland gehoben.
- Erste Transformationserfolge zur Mitte der 2020er-Jahre stoßen eine neue Fortschrittszuversicht an, in deren Folge Deutschland einen „Brain Gain“ durch Zurückführung und Gewinnung internationaler Talente erlebt.
- Auch Standortfaktoren wie die Wohnungssituation (Neubau) verbessern sich in diesem Zeitraum.
- Vorausschauende missionsorientierte Strategien und ressortübergreifende Policy-Koordinierung werden bis zum Jahr 2030 als gängige Praxis etabliert.
- Die ebenen- und sektorenübergreifende Digitalisierung und die offene Datennutzung verleihen Deutschland und Europa bis zum Jahr 2030 eine führende Position im internationalen Vergleich.

Ergebnis: Der industrielle Kern wandelt sich grundlegend und hoch skalierende Deep-Tech-Startups werden essenzielle Partner im (Innovations-)Ökosystem. Stärken des „German Engineerings“ bilden in Kombination mit hochentwickelten digitalen und KI-Fähigkeiten die Basis für ein neuartiges „Systems Engineering“. Im Verbund mit europäischen Partnern kann Deutschland gegen Ende der Dekade in relevanten Potenzialfeldern internationale Standards setzen und kooperiert weltweit mit den Besten.

Der Pfad **Zuversichtliche Stagnation** geht bis zum Jahr 2030 von Fortschritten insbesondere bei inkrementellen Innovationen und Wertschöpfungspotenzialen aus.

- Energie aus erneuerbaren Quellen ist bis zum Ende der Dekade in ausreichender Menge verfügbar, allerdings zu relativ hohen Kosten. Negative Standortentscheidungen halten sich dennoch in Grenzen, da andere Effekte (s. u.) die Energiekosten teilweise kompensieren.
- So erlebt der Arbeitsmarkt zur Mitte der 2020er-Jahre einen Zuwachs an qualifizierten Fachkräften aufgrund eines in der Breite implementierten modularen und digitalisierten Aus- und Weiterbildungssystems und der gezielten Mobilisierung und Einbindung von Zugewanderten.
- Durch eine verbesserte Zusammenarbeit von Forschung und Unternehmen wird die Wettbewerbsfähigkeit industrieller Wertschöpfungsprozesse verbessert und neue Technologien in die Produktion gebracht.
- Vorausschauende Governance und Regulierung beschleunigen den Ausbau von Infrastrukturen. Dabei ist die Digitalisierung in Regionen und Sektoren auch bis zum Jahr 2030 unterschiedlich weit vorangeschritten.

Ergebnis: Innovation ist absehbar weiterhin keine starke Triebfeder im öffentlichen Diskurs. Fortschritte in Wertschöpfung und Wettbewerbsfähigkeit sind in der zweiten Hälfte der 2020er-Jahre erkennbar, aber inkrementeller Natur im bestehenden industriellen Kern. Technologie-Startups unterstützen die Transformation im Zuge regional und sektoral fragmentierter Missionen, es entstehen jedoch kaum entsprechende deutsche Unicorns.

Der Pfad **Schleichender Abstieg** beschreibt eine über die Zeit leicht abnehmende Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Vergleich bis zum Jahr 2030.

- Die mit einem schleppenden Ausbau Erneuerbarer Energien und instabilen Netzen einhergehenden dauerhaft hohen Kosten und schwankende Verfügbarkeit von (grünem) Strom führen bis zum Jahr 2030 zu vermehrten Standortentscheidungen zum Nachteil Deutschlands.

- Durch eine verbesserte Zusammenarbeit von Forschung und Unternehmen wird die Wettbewerbsfähigkeit industrieller Wertschöpfungsprozesse verbessert und neue Technologien in die Produktion gebracht.
- Aufgrund mangelnder qualifizierter Zuwanderung und einer ausstehenden Flexibilisierung des Aus- und Weiterbildungssystems schlägt der demografische Wandel in der Erwerbsbevölkerung ungebremst durch, und der Fachkräftemangel verfestigt sich in den 2020er-Jahren.
- Im Bereich Governance dominiert eine reaktive politische Steuerung nach formaler Zuständigkeit und Geschäftsverteilungsplan. Genehmigungsverfahren werden über die Mitte der 2020er Jahre hinaus durch hohe bürokratische Aufwände und Einspruchsregelungen verzögert.
- Bedingt durch eine stockende Digitalisierung über Sektoren und Ebenen hinweg verliert Deutschland bis 2030 zusätzlich an Wettbewerbsfähigkeit.

Ergebnis: Vertrauensverluste in Innovationsakteure und Technikskepsis in der Gesellschaft sind wahrnehmbar, die regionalen Ökosysteme schöpfen ihr Potenzial nicht aus, und die grundlegende Erneuerung von Geschäftsmodellen und Wertschöpfung erfolgt insbesondere bei KMU auch in der zweiten Hälfte der 2020er-Jahre meist lediglich in Nischenmärkten ohne Skalierungspotenzial.

5. Volkswirtschaftliche Einordnung

Unter Nutzung des quantitativen Modellsystems (vgl. Anhang) des QuBe-Projekts erfolgte eine volkswirtschaftliche Einordnung der identifizierten Zukunftspfade. Dabei wurden die **Unterschiede zwischen dem Zukunftspfad „Reformorientierte Transformation“ und „Schleichender Abstieg“**

bis 2030 in den Blick genommen (Tabelle 2). Verglichen mit dem „Schleichenden Abstieg“ kann eine Entwicklung „Reformorientierter Transformation“ bis 2030 einen **positiven Wertschöpfungsbeitrag leisten (+ 120 Mrd. Euro), die Zahl der Arbeitsplätze ist zudem höher (+ 130 Tsd.)**. Arbeitsplatzzuwächse sind vor allem bei „IT- und Informationsdienstleistungen“ zu verzeichnen. In diesem Sektor wäre mit einem Anstieg der Arbeitsplätze um gut 43.000 im Vergleich zum Szenario „Schleichender Abstieg“ zu rechnen. Dies ist die direkte Folge einer verstärkten Digitalisierung von Prozessen in Wirtschaft und Verwaltung. Ebenfalls in direkter Folge der hohen Transformationsdynamik stiege die Zahl von Arbeitsplätzen im „Handel von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen“, in den Bereichen „Forschung und Entwicklung“, „Erziehung und Unterricht“ (jeweils um gut 5.000 Arbeitsplätze) sowie in geringerem Maße auch im Bereich der „Telekommunikation“. Darüber hinaus ergeben sich indirekt bzw. über den Wirtschaftskreislauf induzierte positive Beschäftigungseffekte in zahlreichen weiteren Branchen. Negative Beschäftigungseffekte ergeben sich direkt vor allem im Bereich der „Öffentlichen Verwaltung, Verteidigung und Sozialversicherungen“ (-3.400) sowie in Folge des Strukturwandels im „Einzelhandel“ (-7.200).

Auch die preisliche Wettbewerbsfähigkeit kann sich verbessern. Positiv wirken getätigte Investitionen (z. B. in Erneuerbare Energien), der Abbau von Verwaltungskosten, sowie eine Beschleunigung der Digitalisierung in den Unternehmen.

Ein effizienterer Einsatz von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen und ein produktiverer Arbeitseinsatz kommen hinzu. Werden zudem Elemente einer Kreislaufwirtschaft hinzugenommen, wird der Bedarf an Rohstoffen (z. B. Erzen) oder Halbfertig-

	Wertschöpfung	Arbeitsplätze	Preisliche Wettbewerbsfähigkeit
Energiekosten und -verfügbarkeit	++	+	++
Passfähigkeit und Verfügbarkeit Fachkräfte	+	++	+
Governance und Regulierung			++
Digitalisierungsgrad in Wirtschaft, Verwaltung und Gesellschaft	+	+	
Innovationsaffinität in Wirtschaft und Gesellschaft		++	+

Tabelle 2: Die Auswirkungen der 5 Schlüsselfaktoren (links) gemäß ihrer Ausprägungen im Pfad „Reformorientierte Transformation“ auf die drei Dimensionen „Wertschöpfung“, „Arbeitsplätze“ und „preisliche Wettbewerbsfähigkeit“ bis zum Jahr 2030. Ein „+“ steht für einen möglichen positiven bzw. einen „++“ stark positiven Zusammenhang. Der Schlüsselfaktor „Geschäftsmodelle“ fließt querschnittlich in die anderen fünf Schlüsselfaktoren ein.

produkten (z. B. Metallerzeugung) in seiner Dynamik nachlassen und die **Nachfrage nach heimischen Leistungen** (z. B. Recycling) nehmen zu.

Branchen wie „Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“, „Maschinenbau“ und „IT-Dienstleistungen“ werden gestärkt. Gleichzeitig müssen aber hohe Investitionen finanziert (z. B. höhere Stückkosten) und die Energiewirtschaft umgebaut werden. Zudem müssen neue digitale Arbeitsweisen eingeübt und Weiterbildung organisiert werden, um neue Fachkräfte in die Arbeitsprozesse zu integrieren. **Beschleunigte und verkürzte Verwaltungsverfahren müssen bis zur Mitte der Dekade rasch etabliert und eingeübt werden, um bis 2030 positive Effekte erzeugen zu können.**

Für das Gelingen der „reformorientierten Transformation“ ist wichtig, **die preisliche Wettbewerbsfähigkeit zu halten oder gar zu steigern**. Gerade hier bestehen jedoch erhebliche Unsicherheiten, da die Kosten für den Umbau sowohl der Produktions- als auch der Arbeitsweise potenziell den Ertrag übersteigen können.

Für die Pfade **„Schleichender Abstieg“** und **„Zuversichtliche Stagnation“** ergeben sich demgegenüber bis zum Jahr 2030 in der Modellierung einerseits jeweils geringere Aufwände hinsichtlich Digitalisierung, Infrastrukturausbau sowie Flexibilisierung und Integration (mit negativen Auswirkungen auf die ökonomische Aktivität im Vergleich zum heutigen Stand), andererseits aber auch deutlich geringere positive Auswirkungen mit Blick auf die ausreichende und sichere Versorgung mit EE, ein passfähiges Arbeitsmarktangebot, eine umfassende Digitalisierung etc. Insbesondere im Pfad „Schleichender Abstieg“ führt dies dauerhaft zu negativen Nettoeffekten.

Wichtig ist der Zeitpfad: So wirken sinkende Verwaltungsaufwendungen besonders stark auf die Lage in 2030, wenn sie früh, d. h. noch in der ersten Hälfte der Dekade, realisiert werden. Andere Effekte stützen sich insbesondere dann, wenn sie im zeitlichen Einklang auftreten.

6. Schlussfolgerungen und Handlungsansätze

Basierend auf den entwickelten Szenariopfaden ergeben sich folgende Schlussfolgerungen für die Weiterentwicklung des deutschen Innovationssystems:

1) Nicht nur neue Mechanismen und Instrumente im Innovationssystem selbst, sondern das komplexe Zusammenspiel aus Rahmenbedingungen und -setzungen bestimmen maßgeblich über die zukünftige Innovations- und damit Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands.

- 2) Deutschland muss den Pfad eines „Schleichenden Abstiegs“ vermeiden; gegenwärtig gibt es Anzeichen dafür, dass Deutschland Gefahr läuft, diesen Pfad einzuschlagen. Empirische Untersuchungen zu Indikatoren, die weitgehend den hier identifizierten Schlüsselfaktoren entsprechen, zeigen dass Deutschland im internationalen Vergleich an Boden und als Wirtschaftsstandort an Attraktivität verliert.
- 3) Deutschland sollte die Pfade „Zuversichtliche Stagnation“ bzw. „Reformorientierte Transformation“ ansteuern. Diese beiden Pfade unterscheiden sich zwar in ihrer Konsequenz und insbesondere in ihrem Disruptionspotenzial voneinander, sie stellen jedoch jeweils erkennbare Fortschritte im Vergleich zum Status Quo dar. Im Falle der „Reformorientierten Transformation“ sind diese Fortschritte auch mit Blick auf die volkswirtschaftlichen Effekte deutlich positiver.
- 4) Während in der „Zuversichtlichen Stagnation“ das existierende „German Engineering“ durch Innovationen zwar verbessert und erweitert, im Kern aber beibehalten würde, käme es in der „Reformorientierten Transformation“ zu einer Neudefinition im Sinne eines fortgeschrittenen „Systems Engineering“, sodass die resultierenden Geschäftsmodelle einen viel stärkeren digitalen und KI-Anteil hätten.
- 5) In diesen Geschäftsmodellen können die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – wirtschaftlich, ökologisch und sozial – ebenso wie agile und ebenenübergreifende Kooperationen zentral verankert werden.
- 6) In der Folge würden damit nicht nur verstärkt disruptive Impulse aufgenommen und gesetzt, sondern es könnten auch soziale und gemeinwohlorientierte Innovationen gleichberechtigt integriert werden. Zudem würde sich die Chance bieten, Forschungs-, Innovations- und Industriepolitik als integriertes Handlungsfeld zu betrachten und in eine Mission zu überführen.
- 7) Schließlich zeigt sich, dass insbesondere neue Formen der agileren, flexibleren Governance und Regulierung rasch und koordiniert eingeleitet bzw. gestärkt werden müssen, um positive Effekte der Transformationspfade bis zum Jahr 2030 zu ermöglichen. In einer solchen Reform liegen große volkswirtschaftliche Potenziale.

Aus den skizzierten Szenariopfaden und den abgeleiteten Schlussfolgerungen ergeben sich Handlungsansätze, die es bereits kurzfristig ermöglichen, Chancen zu realisieren und mittelfristig verhindern, dass Deutschland auf den Pfad des „Schleichenden Abstiegs“ einschwenkt. Darüber hinaus sind weitere Maßnahmen nötig, die bis zum Jahr 2030 eine posi-

tive Wirkung auf die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands entwickeln können und den Pfad der „Reformorientierten Transformation“ ermöglichen.

▪ **Handlungsfeld Kooperation, Ökosysteme, Leuchtturmprojekte:** Um unmittelbare Chancen wahrzunehmen, sind Maßnahmen denkbar wie

- 1) die Stärkung von forschungsgetriebenen Ökosystemen und produktionsorientierten Transferprogrammen (Fast Track to Innovation),
- 2) die Nutzung von (Auslands-)Investitionen in Technologiefabriken (Chips, Batteriezellen etc.) als Ökosystemkerne für wissensbasierte Wertschöpfung (speziell KMU),
- 3) die Vernetzung und Stärkung von Forschungskapazitäten in Transformationstechnologien,
- 4) die Etablierung strategischer Partnerschaften (bilaterale „Joint Technology Initiatives“) mit Technologienationen wie Südkorea oder Indien zur Stärkung technologischer Souveränität jenseits USA/China,
- 5) der Ausbau von FuE+I-orientierten globalen Partnerschaften (z. B. Brasilien) auch zur Stärkung der Rohstoffsicherung und
- 6) die Stärkung europäischer FuE- und Industriepolitik u. a. im Rahmen von Horizon 2030 oder Projects of Common European Interest (IPCEI).

- *Wie und in welchen Technologiefeldern kann es Deutschland und Europa zukünftig gelingen, die Abhängigkeiten von Anbietern aus den USA und Asien (China) durch ein „Made in Europe“ zu verringern?*
- *Wie können neu strukturierte Lieferketten/-netzwerke aufgebaut und gesichert werden?*
- *Wie kann unser großes Forschungspotenzial zum Aufbau innovativer und transferstarker Ökosysteme genutzt werden? Wie können KMU und Start-ups einen Beitrag zur Neudefinition und -ausrichtung des industriellen Kerns Deutschlands und seiner Leistungserbringung leisten?*

▪ **Handlungsfeld Fachkräfte und Talente:** Um die Engpässe bei wichtigen Qualifikationen (etwa für den Ausbau der EE) bis zum Jahr 2030 zu beseitigen und mehr Menschen den Zugang zum Arbeitsmarkt zu ermöglichen, werden Ausbildungsbausteine in Aus- und Weiterbildungsangeboten umgesetzt sowie die Zuwanderung von Fachkräften und Talenten erleichtert und gefördert.

- *Wie können angesichts der Fachkräftebedarfe einerseits und der -angebote andererseits Wege in „Gute Arbeit“ komplementär zur bisherigen Berufsfachlichkeit beschritten werden?*

▪ *Wie können wir junge Menschen stärker für Ausbildung und Arbeit in Transformationsbranchen begeistern?*

▪ **Handlungsfeld Regulierung/Governance:** Im Bereich Regulierung/Genehmigung kann es unter Umständen notwendig werden, Prioritäten von nationaler Bedeutung politisch festzulegen, um angestrebte Ausbauziele zu erreichen. Zudem kann die Förderung von lokalen/regionalen Innovations- und Wertschöpfungsökosystemen durch eine experimentell-antizipative Regulierung mit deutlichem Laissez-faire-Charakter unterstützt werden; Verwaltungsstrukturen und -prozesse müssen entsprechend angepasst werden.

- *Wie kann die institutionelle Durchlässigkeit gesteigert und auch unter Beibehaltung des Ressortprinzips eine missionsorientierte Governance als Einheit aus Forschungs-, Innovations- und Industriepolitik plus X umgesetzt werden?*

▪ **Handlungsfeld Missionsorientierung:** Komplementär zur Zukunftsstrategie der BReg. kann im Sinne einer Missionsbildung ein Fokus auf „Das neue Geschäftsmodell Deutschlands: Die Zukunft intelligenterer Wertschöpfung in Zeiten von Klimawandel und Zeitenwende“ als Zusammenwirken aus FuE-, Innovations-, Industrie-, Infrastruktur- und Arbeitsmarktpolitik gelegt werden.

- *Wie muss Deutschland aufgestellt sein, um im Zuge einer Missionsorientierung disruptive Innovationen und neue internationale (Technologie-)Champions hervorzubringen?*
- *Unter welcher Maßgabe kann es dem deutschen Innovationssystem im Kontext von Missionen gelingen, komplexe Produkte und Services, die wirksame Beiträge zur nachhaltigen Transformation (z. B. EE, Kreislaufwirtschaft) leisten und international wettbewerbsfähig sind, schneller auf den Markt zu bringen?*
- *Wie lassen sich Spillover-Effekte aus einer Verstärkung der FuE+I-Aktivitäten im Zusammenhang mit der nachhaltigen Transformation für andere Innovationsbereiche (z. B. digitale Transformation) realisieren?*

7. Literaturverzeichnis

(2018). Entwicklung der Präklusionsregelungen im Umweltrecht. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages. Berlin. Dokumentation WD 7 - 3000 - 115/18.

Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/562792/9fda7896348c13f200b89c8708e574e6/WD-7-115-18-pdf-data.pdf> (abgerufen am 05.02.2023).

(2019a). Freiräume für Innovationen. Das Handbuch für Reallabore. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/handbuch-fuer-reallabore.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 08.02.2023).

(2022). Fachkräftemonitoring für das BMAS. Mittelfristprognose bis 2026. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. Berlin. Forschungsbericht 602. Online verfügbar unter https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Forschungsberichte/fb-602-fachkraeftemonitoring-fuer-das-bmas.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 06.02.2023).

(2023). Fortschrittsmonitor 2022 Energiewende. Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft; Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. Online verfügbar unter https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de_de/news/2023/02/ey-fortschrittsmonitor-energiewende-2023.pdf (abgerufen am 07.02.2023).

(2023). Inflation Reduction Act: Der Subventionswettbewerb. The Pioneer. Berlin. (abgerufen am 03.02.2023).

Agora Energiewende (Hg.) (2023). Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2022. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2023. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-10_DE_JAW2022/A-EW_283_JAW2022_WEB.pdf (abgerufen am 12.01.2023).

Albers, Albert/Dumitrescu, Roman/Gausemeier, Jürgen/Lindow, Kai/Riedel, Oliver/Stark, Rainer (Hg.) (2022). Strategie Advanced Systems Engineering. Leitinitiative zur Zukunft des Engineering- und Innovationsstandorts Deutschland. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. München. Online verfügbar unter https://www.advanced-systems-engineering.de/ASE_Strategie.pdf (abgerufen am 30.01.2023).

Apt, Wenke/Bovenschulte, Marc/Glock, Gina/Goluchowicz, Kerstin/Krabel, Stefan/Peters, Robert/Strach, Heike (2021). Qualität der Arbeit, Beschäftigung und Beschäftigungsfähigkeit im Wechselspiel von Technologie, Organisation und Qualifikation – Querschnittsanalyse.

Online verfügbar unter https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Forschungsberichte/fb522-9-qualitaet-der-arbeit-beschaeftigung-und-beschaef-tigungsfahigkeit.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (abgerufen am 15.04.2023).

Autor:innengruppe Bildungsberichterstattung (2022). Bildung in Deutschland 2022. Ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zum Bildungspersonal. Online verfügbar unter <https://www.bildungsbericht.de/de/bildungsberichte-seit-2006/bildungsbericht-2022/pdf-dateien-2022/bildungsbericht-2022.pdf> (abgerufen am 12.01.2023).

Bartz, Diane/Alper, Alexandra (2022). U.S. bans new Huawei, ZTE equipment sales, citing national security risk. Online verfügbar unter <https://www.reuters.com/business/media-telecom/us-fcc-bans-equipment-sales-imports-zte-huawei-over-national-security-risk-2022-11-25/> (abgerufen am 19.10.23).

Baur, Andreas/Flach, Lisandra (2022). Die Globalisierung als Sündenbock? Internationale Lieferketten in der Corona-Pandemie. In: Strategien gegen die Flaschenhals-Rezession: Was hilft bei Lieferengpässen und steigenden Preisen. ifo Schnelldienst 75, 3–7. (abgerufen am 05.01.2023).

Bdi (Hg.) (2021). Klimapfade 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft.

Belitz, Heike/Kirn, Tanja (2008). Deutlicher Zusammenhang zwischen Innovationsfähigkeit und Einstellungen zu Wissenschaft und Technik im internationalen Vergleich. Vierteljahreshäfte zur Wirtschaftsforschung 77 (2), 47–64. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/99510/1/vjh.77.2.47.pdf> (abgerufen am 12.01.2023).

Bloom, Nicholas/van Reenen, John/Williams, Heidi (2019). A Toolkit of Policies to Promote Innovation. Journal of Economic Perspectives 33 (3), 163–184. <https://doi.org/10.1257/jep.33.3.163>.

Bogenstahl, Christoph/Richter, Stephan (2020). Technologien zur Nachverfolgbarkeit von Wertschöpfungs- und Lieferketten. Themenkurzprofil N. 37. Online verfügbar unter <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000133946/120641666> (abgerufen am 11.01.2023).

Bogumil, Jörg/Gerber, Sascha/Vogel, Hans-Josef (2022). Verwaltung besser machen. Vorschläge aus Wissenschaft und Praxis. ZEFIR-Materialien Band 19. Online verfügbar unter http://www.zefir.ruhr-uni-bochum.de/mam/materialien_band_19_verwaltung_besser_machen.pdf (abgerufen am 16.01.2023).

Brandt, Arno/Krämer, Hagen (2022). Deindustrialisierung, Transformation und eine moderne Industriepolitik. Wirtschaftsdienst / Zeitgespräch (102(12)), 918–921.

Brüggemann, Mathias/Heide, Dana/Koch, Moritz/Müller, Mareike/Müchrath, Jens (2023, Nr. 10). Schrei nach Freiheit. Handelsblatt Topic Davos 2023 vom 13.01.2023, Nr. 10, 4–8.

Bundesagentur für Arbeit (Hg.) (2022). Fachkräfteengpassanalyse 2021.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales/Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2019). Nationale Weiterbildungsstrategie. Wissen teilen. Zukunft gestalten. Zusammen wachsen. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/files/NWS_Strategiepapier_barrierefrei_DE.pdf.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022). Entscheidung zur Gründung von zwei Großforschungszentren in der Lausitz un- im mitteldeutschen Revier gefallen. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2022/09/290922-GFZ.html> (abgerufen am 25.12.2022).

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022). Der Weg in die Zukunft gelingt nur mit einer modernen Infrastruktur. Erschienen im Handelsblatt am 30.09.2022. Online verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/volker-wissing-handelsblatt-moderne-infrastruktur.html> (abgerufen am 14.01.2023).

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2019b). Der deutsche Gaia-X Hub. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/gaia-x.html> (abgerufen am 14.01.2023).

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hg.) (2019c). Nationale Industriestrategie 2030. Strategische Leitlinien für eine deutsche und europäische Industriepolitik. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/nationale-industrie-strategie-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=28 (abgerufen am 15.01.2023).

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hg.) (2020). Die Nationale Wasserstoffstrategie. Die Bundesregierung. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20. (abgerufen am 26.12.2021).

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hg.) (2022). Eröffnungsbilanz Klimaschutz. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 13.01.2022).

Bundesnetzagentur (Hrsg.) (2023). Aktuelle Lage Gasversorgung. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/aktuelle_gasversorgung/_svg/Gaspreise/Gaspreise.html (abgerufen am 12.01.2023).

Bundesregierung (2022). Fachkräftestrategie der Bundesregierung.

Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (Hg.) (2022). Europäische Souveränität stärken. Zur offenen strategischen Autonomie. Berlin.

Bundesverband WindEnergie e.V. (ohne Jahr). Planung von Windenergieanlagen. Online verfügbar unter <https://www.wind-energie.de/themen/mensch-und-umwelt/planung/#:~:text=Der%20Planungsprozess%20f%C3%BCr%20Windenergieprojekte%20ist,Genehmigung%204%20bis%205%20Jahre.> (abgerufen am 15.01.2023).

Busch-Heizmann, Anne/Krabel, Stefan/Wangler, Leo (2023). Die Resilienz von Unternehmen und Wirtschaft in Zeiten externer Schocks. In: Volker Wittpahl (Hg.). Resilienz. Leben - Räume - Technik. iit-Themenband. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 102–115.

Busch-Heizmann, Anne/Shajek, Alexandra/Brandt, Arno/Nerger, Michael/Peters, Robert (2021). Fallstudien zu den Auswirkungen der Corona-Krise auf betriebliche Transformationsprozesse. Begleitforschung zur Arbeitsweltberichterstattung im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS), Band 3. Berlin. Forschungsbericht 580/3. Online verfügbar unter https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Forschungsberichte/fb-580-3-fallstudien-auswirkungen-corona-transformationsprozesse.pdf;jsessionid=782328C7A4E4CD58BFAE8370ADAF30CB.delivery2-master?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen am 21.01.2022).

COGITO (2022). Interview Richard Florida. Reflecting on the future of the "creative class" in regional development. Online verfügbar unter <https://oecdcoigito.blog/2022/08/10/reflecting-on-the-future-of-the-creative-class-in-regional-development/> (abgerufen am 12.01.2023).

DESTATIS (2022a). Basistabelle Bruttowertschöpfung: Produzierendes Gewerbe. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Thema/Tabellen/Basistabelle_IndWertschoepfung.html (abgerufen am 15.01.2023).

DESTATIS (2022b). Industrie, Verarbeitendes Gewerbe. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Tabellen/kennzahlen-verarbeitendes-gewerbe.html> (abgerufen am 15.02.2023).

Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hg.) (2021). Abschlussbericht dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe.

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V. (Hg.) (2022). Löhne, Renten und Haushaltseinkommen sind in den vergangenen 25 Jahren real gestiegen. DIW Wochenbericht 23.

Die Bundesregierung (Hrsg.) (2022a). Ausbau erneuerbarer Energien massiv beschleunigen. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/novelle-eeg-gesetz-2023-2023972> (abgerufen am 12.01.2023).

Die Bundesregierung (Hrsg.) (2022b). Generationenvertrag für das Klima. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> (abgerufen am 12.01.2023).

Donges, Sofie (2023). Unter Kiruna soll die Zukunft liegen. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/ausland/schweden-seltene-erden-103.html> (abgerufen am 17.01.2023).

Doteveryone (Hg.) (2019). People, Power and Technology. The Tech Workers' View. Online verfügbar unter https://doteveryone.org.uk/wp-content/uploads/2019/04/PeoplePowerTech_Doteveryone_May2019.pdf.

Emmrich, Volkhard/Döbele, Mathias/Bauernhansl, Thomas/Paulus-Rohmer, Dominik/Schatz, Anja/Weskamp, Markus (2015). Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0. Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau. Dr. Wieselhuber & Partner GmbH; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung. München.

Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2022). Staatliche Instrumente zur Erhöhung der Versorgungssicherheit von mineralischen Rohstoffen. Online

verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/studie-staatliche-instrumente-versorgungssicherheit.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen am 05.01.2023).

European Commission (Hrsg.) (2023). Transition pathways for European industrial ecosystems. Online verfügbar unter https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/transition-pathways_en (abgerufen am 16.01.2023).

European Parliamentary Research Service (Hg.) (2021). Key enabling technologies for Europe's technological sovereignty. Panel for the Future of Science and Technology; Scientific Foresight Unit. Brussels. PE 697.184. Online verfügbar unter [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU\(2021\)697184_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU(2021)697184_EN.pdf) (abgerufen am 12.07.2022).

Florida, Richard L. (2003). The Rise of the Creative Class. And How It's Transforming Work, Leisure, Community, and Everyday Life. Brilliance Corp.

Fremerey, Melinda/Iglesias Geradis, Simon (2022). Abhängigkeit - Was bedeutet sie und wo besteht sie? IW-Report 56/2022. Online verfügbar unter https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Report/PDF/2022/IW-Report_2022-Abh%C3%A4ngigkeit.pdf (abgerufen am 11.01.2023).

FTI-Andersch (Hg.) (2021). FTI Resilience Barometer. September 2021. Frankfurt a. M.

Gatautis, Rimantas/Vaiciukynaitė, Egle/Tarute, Asta (2019). Impact of business model innovations on SME's innovativeness and performance. *Baltic Journal of Management* 14 (4), 521–539. <https://doi.org/10.1108/BJM-01-2018-0035>.

Glunz, Andreas/Schneidel, Sebastian/Koldijk, Anabel/Pritt-witz, Joachim von (2021). Business Destination Germany 2022. How CFOs of German subsidiaries of foreign corporations evaluate Germany. KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. Köln.

Hackenbruch, Felix (2023). Gegen Rohstoff-Abhängigkeiten. Habeck will heimischen Bergbau fördern. *Tagesspiegel* vom 06.01.2023, 7.

Haeck, Pieter (2022). In the global chips race, EU's cash engine sputters. *Politico*. Online verfügbar unter <https://www.politico.eu/article/budget-squabbles-put-eu-on-the-back-foot-in-the-chips-race/> (abgerufen am 26.12.2022).

Hanselka, Holger/Hassel, Anke/Hölzle, Katharina/Riemensperger, Frank (Hg.) (2020). Zukunft der Wertschöpfung. Hightech-Forum. Berlin. Impulspapier. Online verfügbar unter https://www.hightech-forum.de/wp-content/uploads/hightech-forum_impulspapier_wertsch%C3%B6pfung.pdf (abgerufen am 08.02.2023).

Hartmann, Ernst Andreas/Engelhardt, Sebastian von/Hering, Martin/Wangler, Leo/Birner, Nadine (2014). Der iit-Innovationsfähigkeitsindikator. Ein neuer Blick auf die Voraussetzungen von Innovationen. iit-perspektive 16. Online verfügbar unter <https://www.iit-berlin.de/de/publikationen/der-iit-innovationsfaehigkeitsindikator> (abgerufen am 12.11.2020).

Heinrich-Böll-Stiftung (Hg.) (2020). Infrastrukturatlas 2020 - Daten und Fakten über öffentliche Räume und Netze. Berlin.

Hidalgo, César A./Hausmann, Ricardo (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (26), 10570–10575. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106>.

Hofer, Joachim (2021). Geldverschwendung: Warum Halbleiter-Experten eine Mega-Chipfabrik der neuesten Generation in Europa ablehnen. Die EU will Milliardenbeträge in hochmoderne Chipwerke stecken. Branchenkenner halten das für den falschen Weg, um unabhängiger von Asien zu werden. *Handelsblatt*. Online verfügbar unter <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/technologie-geldverschwendung-warum-halbleiter-experten-eine-mega-chipfabrik-der-neuesten-generation-in-europa-ablehnen/27273020.html> (abgerufen am 26.12.2022).

Horbach, Jens/Rammer, Christian (2022). Skills shortage and innovation. *Industry and Innovation* 29 (6), 734–759. <https://doi.org/10.1080/13662716.2021.1990021>.

Korinek, Anton/Stiglitz, Joseph E. (2021). *Steering Technological Progress*.

Krzywdzinski, Martin/Butollo, Florian/Bovenschulte, Marc/Nerger, Michael/Flemming, Jana/Gerber, Christine/Wandjo, Davis/Delicat, Nina/Herzog, Lorena (2022). Wachsende Kluft zwischen Vorreiterunternehmen und Nachzüglern: Digitalisierung, Automatisierung und organisatorischer Wandel in Folge der COVID19-Krise. Berlin. Policy Brief. Online verfügbar unter https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/77728/ssoar-2022-krzywdzinski_et_al-Wachsende_Kluft_zwischen_Vorreiterunternehmen_und.pdf?sequence=1&isAllowed=y&lnkname=ssoar-2022-krzywdzinski_et_al-Wachsende_Kluft_zwischen_Vorreiterunternehmen_und.pdf (abgerufen am 25.12.2022).

Leopoldina (Hg.) (2022). Welche Auswirkungen hat der Ukrainekrieg auf die Energiepreise und Versorgungssicherheit in Europa? Online verfügbar unter https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale_Empfehlungen/2022_ESYS_Sonderimpuls_Versorgungssicherheit_web.pdf (abgerufen am 12.01.2023).

Lindner, Ralf/Edler, Jakob/Hufnagl, Miriam/Kimpeler, Simone/Kroll, Henning/Roth, Florian/Wittmann, Florian/Yorulmaz, Merve (2021). *Missionsorientierte Innovationspolitik. Von der Ambition zur erfolgreichen Umsetzung*. Karlsruhe. Perspektiven Policy Brief 02/2021.

Lindner, Ralf/Wittmann, Florian/Jackwerth-Rice, Thomas/Daimer, Stephanie/Edler, Jakob/Posch, Daniel (2023). Deutschland transformieren: Missionsagenturen als innovativer Baustein zur Bewältigung gesamtgesellschaftlicher Herausforderungen. Bertelsmann Stiftung. Gütersloh. Nachhaltige Soziale Marktwirtschaft - Focus paper 4. Online verfügbar unter https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user_upload/Diskussionspapier_Missionsagenturen.pdf (abgerufen am 13.02.2023).

Massis, Alfredo de/Audretsch, David/Uhlaner, Lorraine/Kammerlander, Nadine (2018). Innovation with Limited Resources: Management Lessons from the German Mittelstand. *Journal of Product Innovation Management* 35 (1), 125–146. <https://doi.org/10.1111/jpim.12373>.

Mazzucato, Mariana (2021). *Mission Economy. A Moonshot Guide to Changing Capitalism*. Dublin, Allen Lane.

Neuhold, Martin (2021). *Glokalisierung und Kreislaufwirtschaft im Maschinenbau*. Online verfügbar unter <https://www.produktion.de/wirtschaft/glokalisierung-und-kreislaufwirtschaft-im-maschinenbau-126.html> (abgerufen am 02.01.2022).

Neumann, Karl-Heinz/Plückebaum, Thomas/Strube Martins, Sonia/Schwarz-Schilling, Cara (2021). Übergang von Kupfer- auf Glasfasernetze: Interessen, Spannungsfelder und mögliche Schnittmengen. Studie zur Erörterung im Gigabit-Forum. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/Gigabitforum/WIK-Studie_Uebergang_Kupfer_Glasfaser.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 16.01.2023).

OECD (2022). *OECD-Berichte zur Innovationspolitik: Deutschland 2022*. <https://doi.org/10.1787/9d21d68b-de>.

Parkes, Roderick/Kirch, Anna-Lena/Dinkel, Serafine (2021). Aufbau europäischer Resilienz und Handlungsfähigkeit: Lehren für 2030. Deutsche Gesellschaft für Auswärtige Politik e. V. Berlin. DGAP Report 13. Online verfügbar unter https://dgap.org/sites/default/files/article_pdfs/dgap_report_nr.13_dezember_2021_60_s_0.pdf (abgerufen am 06.02.2023).

Petereit, Dieter (2022). Öffentliche Verwaltung: Google und Telekom bringen Behörden-Cloud für Deutschland. t3n – digital pioneers. Online verfügbar unter <https://t3n.de/news/t-systems-sovereign-cloud-google-verwaltung-1516027/> (abgerufen am 14.01.2023).

Peters, Robert/Bovenschulte, Marc/Burmeister, Klaus/Ehrenberg-Silies, Simone/Mangelsdorf, Axel/Nerger, Michael/Zinke, Guido (2021). Pandemiebedingte Veränderungen für Gesellschaft und Innovation in Deutschland. Online verfügbar unter https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2022/03/SSW_Pandemiebedingte-Veränderungen-fuer-Gesellschaft-und-Innovation-in-Deutschland.pdf.

Peters, Robert/Schmietow, Bettina/Krieger, Benedikt (2022). Zwischen Hype und Zukunftsthema: Auf dem Weg ins Metaverse? Bestandsaufnahme und Handlungsperspektiven für die Gestaltung des Metaverse. Online verfügbar unter https://www.iit-berlin.de/wp-content/uploads/2022/11/V2_2022_12_06_iit-perspektive_Nr-62.pdf (abgerufen am 16.01.2023).

Pielke, Roger A./Byerly, Radford (1998). Beyond Basic and Applied. *Physics Today* 51 (2), 42–46. Online verfügbar unter https://sciencepolicy.colorado.edu/admin/publication_files/1998.12.pdf (abgerufen am 04.02.2023).

Ragnitz, Joachim (2022). Lieferengpässe in der deutschen Industrie – Eine Einordnung. ifo Dresden berichtet 5. Online verfügbar unter https://www.ifo.de/DocDL/ifoDD_22-05_03-08_Ragnitz.pdf (abgerufen am 06.01.2023).

Ragwitz, Mario/Weidlich, Anke/Biermann, Dirk/Brandes, Julian/Brown, Tom/Burghardt, Céilia/Dütschke, Elisabeth/Erlach, Berit/Fischedick, Manfred/Fuss, Sabine/Geden, Oliver/Gierds, Jörn/Herrmann, Ulrike/Jochem, Patrick/Kost, Christoph/Luderer, Gunnar/Neuhoff, Karsten/Schäfer, Mirko/Wagemann, Kurt/Wiese, Frauke/Winkler, Jenny/Zachmann, Bastian/Zheng, Lin (2023). Szenarien für ein klimaneutrales Deutschland. Technologie umbau, Verbrauchsreduktion und Kohlenstoffmanagement. Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften; acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.; Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V. München, Halle, Mainz. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. Online verfügbar unter

<https://www.acatech.de/publikation/transformationspfade-klimaneutralitaet/download-pdf?lang=de> (abgerufen am 07.02.2023).

Robert Bosch Stiftung/More in Common (Hg.) (2021). Beziehungskrise? Bürger und ihre Demokratie in Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Polen und den USA. Online verfügbar unter https://www.bosch-stiftung.de/sites/default/files/documents/2021-06/Summary_Bezeichnungskrise_B%C3%BCrger_und_ihre_Demokratie_2021.pdf (abgerufen am 12.01.2023).

Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (Hg.) (2022). Energiekrise solidarisch Bewältigen, neue Realität gestalten. Online verfügbar unter https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/jg202223/JG202223_Gesamtausgabe.pdf (abgerufen am 12.01.2023).

Saleh, Faten/Goluchowicz, Kerstin/Bovenschulte, Marc (2022). Die Auswirkungen von Digitalisierung und Dekarbonisierung auf Arbeitsinhalte und Arbeitsqualität. Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Berlin. Online verfügbar unter https://www.denkfabrik-bmas.de/fileadmin/Downloads/Publikationen/Deep-Dive_Dekarbonisierung-und-Digitalisierung.pdf (abgerufen am 15.04.2023).

Snihur, Yuliya/Bocken, Nancy (2022). A call for action: The impact of business model innovation on business ecosystems, society and planet. *Long Range Planning* 55 (6), 102182. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2022.102182>.

Statista (2022). Die 20 größten Exportländer weltweit im Jahr 2021. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37013/umfrage/ranking-der-top-20-exportlaender-weltweit/> (abgerufen am 11.01.2023).

Statista (o. J.). Außenhandel. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Aussenhandel/_inhalt.html (abgerufen am 11.01.2023).

Stepstone (Hg.) (2022). The Silent Resignation. Online verfügbar unter https://www.stepstone.de/Ueber-StepStone/wp-content/uploads/2022/03/StepStone_2022_The_Silent_Resignation.pdf.

Stiftung Familienunternehmen (Hg.) (2023). Länderindex Familienunternehmen. 9. Aufl. ZEW; Calculus Consult. Mannheim, München. Online verfügbar unter https://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/Laenderindex-2022_Studie_Stiftung-Familienunternehmen.pdf (abgerufen am 18.01.2023).

tagesschau.de (2023). Gerichte sollen schneller entscheiden. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/bundestag-infrastruktur-101.html> (abgerufen am 11.02.2023).

Trantow, Sven/Hees, Frank/Jeschke, Sabina (2011). Innovative Capability – an Introduction to this Volume. In: S. Jeschke/I. Isenhardt/F. Hees et al. (Hg.). Enabling Innovation: Innovative Capability – German and International Views. Berlin Heidelberg, Springer, 1–13.

Ulrich, Klaus (2021). Was wurde eigentlich aus Huawei und 5G? Deutsche Welle. Online verfügbar unter <https://www.dw.com/de/was-wurde-eigentlich-aus-huawei-und-5g/a-59364349> (abgerufen am 14.01.2023).

Weimer-Jehle, Wolfgang (2015). Cross-Impact Analyse. In: M. Niederberger/S. Wassermann (Hg.). Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung. Wiesbaden, VS-Verlag, 17–34.

Wilhelm-Weidner, Arno/Rotter, Uwe (2023). Resilienz von Bildungssystemen: Wie Digitalisierung zur Sicherung des Bildungserfolgs beitragen kann. In: Volker Wittpahl (Hg.). Resilienz. Leben - Räume - Technik. iit-Themenband. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 212–228.

Zeit Online (2023). Die soziale Spaltung eskaliert. Eine Kolumne von Marcel Fratzscher. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/wirtschaft/2022-09/ungleichheit-einkommen-gehaltsentwicklung-energiekrise> (abgerufen am 12.01.2023).

Zeit Online (2023b). Viele Deutsche zweifeln an Zukunftsfähigkeit des Landes. Online verfügbar unter <https://www.zeit.de/gesellschaft/2023-01/umfrage-deutsche-zukunft-wirtschaft-buerokratie> (abgerufen am 30.01.2023).

Zimmermann, Volker (2023). Wo steht Deutschland bei Innovation und Digitalisierung im internationalen Vergleich? KfW Research. Fokus Volkswirtschaft 412. Online verfügbar unter <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzern-themen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2023/Fokus-Nr.-412-Januar-2023-Innosystem.pdf>.

Zwicky, Fritz (1971). Entdecken - Erfinden - Forschen im morphologischen Weltbild. München, Droemer Knauer.

8. Anhang

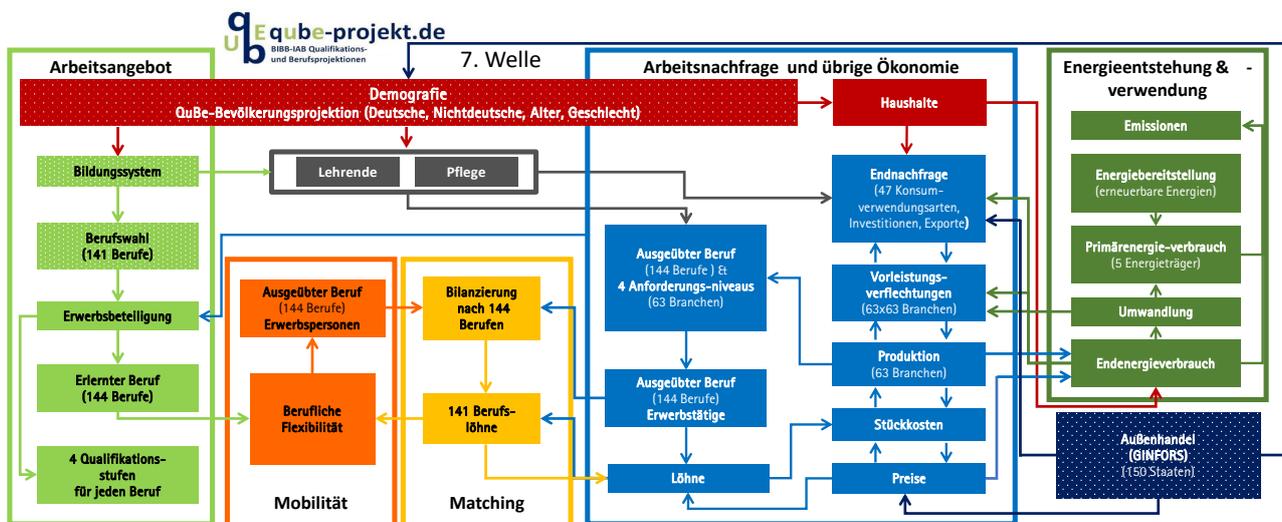
QINFORGE (Stand 7.Welle, 2022)

Das QuBe-Projekt (www.QuBe-Projekt.de) wird seit 2007 unter der gemeinsamen Leitung des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) und des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) durchgeführt. Das eingesetzte Modell QINFORGE basiert auf dem ökonomischen Modell INFORGE (INterindustry FORecasting Germany) der GWS. QINFORGE nutzt einen abgestimmten Datensatz, der auf den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (detaillierte Inlandsproduktberechnung und Input-Output-Rechnung), dem Mikrozensus als amtliche Repräsentativstatistik und dem Bevölkerungsstand des Statistischen Bundesamts, den Energiebilanzen der AG Energiebilanzen e.V. sowie den Registerdaten der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Bundesagentur für Arbeit (BA) beruht.

Die Modellentwicklung ist ein fortlaufender Prozess und wird alle zwei Jahre aktualisiert. Informationen zu vorangehenden Modellständen finden sich unter www.qube-projekt.de. Aktuell (7. Welle 2022) besteht die Modellierung aus sechs Blöcken (vgl. Abbildung). Die Projektion der Bevölkerung bis 2050 beruht auf dem Modell des IAB, das insbesondere die Wanderungen nach Zu- und Abwanderungen sowie nach Staatsangehörigkeiten (deutsch, nicht deutsch) erfasst (Dunkelrot). Das Bildungssystem (Hellgrün), das vom BIBB erstellt wird bestimmt auf Basis der Bevölkerungsprojektion den Output des Bildungssystems nach erlernten Berufen und berücksichtigt auch die Erwerbsneigung. Hinzu kommt das Au-

Benhandelsmodell GINFORS der GWS (Dunkelblau), das die Importpreise und die Exportnachfragen Deutschlands nach Gütergruppen projiziert. Während die genannten Module des Modellsystems exogene sind, sind die übrigen Module endogen miteinander verknüpft. Der ökonomische Teil des Modells (Blau) beinhaltet das Modell INFORGE, das unter Berücksichtigung der Verflechtung der Branchen untereinander, die Entwicklung der Arbeitsplätze und der Wertschöpfung nach Branchen projiziert. Dabei sind sowohl Mengen- als auch Preismechanismen abgebildet. Zwischen dem ökonomischen Teil und dem Bildungssystem ist die sogenannte Flexibilität (Orange & Gelb). Sie verknüpft die erlernten Berufe aus dem Bildungssystem mit den ausgeübten Berufen aus der ökonomischen Projektion. Die Verknüpfung des Arbeitskräfteangebots nach einem erlernten Beruf mit dem berufsspezifischen Arbeitskräftebedarf durch die Verwendung beruflicher Flexibilitätsmatrizen ist ein Alleinstellungsmerkmal des QuBe-Projektes. Hierdurch kann eine fachliche Bilanzierung des Arbeitsmarkts durch den Vergleich von Erwerbspersonen und Erwerbstätigen nach Berufsgruppen erfolgen. In der letzten Modellerweiterung ist die Energieverwendung und Entstehung (Dunkelgrün) hinzugekommen, die auf den Energiebilanzen der AG Energiebilanz beruht. Das Energiemodul erlaubt Aussagen über die Art und Menge der erzeugten Energien und verknüpft diese mit der ökonomischen Entwicklung und den resultierenden Strukturveränderungen z. B. in der Energiewirtschaft.

Mit dem Modell QINFORGE des QuBe-Projekts wird in der Basisprojektion ein auf Empirie basiertes Konzept verfolgt: Es werden nur bislang nachweisbare Zusammenhänge in die Zukunft projiziert. Das Verhalten der Akteure kann sich in der Zukunft also etwa infolge von Knappheits- und Lohnentwick-



Dabei kennzeichnen ■ ■ ■ eigenständige Modelle. Alle anderen Teile sind im Modell QINFORGE integriert.

Quelle: QuBe-Projekt, 7. Welle

lungen modellendogen anpassen, in der Vergangenheit nicht angelegte neuartige Verhaltensänderungen sind aber nicht Teil der Basisprojektion. Künftige Schocks und/ oder Trendbrüche (z. B. „Wirtschaft 4.0“, Elektromobilität, Klimapaket, Änderung des Mobilitätsverhaltens) werden in Form von Alternativszenarien analysiert und betrachtet.

Weitere Informationen unter www.qube-projekt.de; Ergebnisse unter www.qube-data.de. und www.QuBe-Dossiers.de

Der Foresight-Report von VDI/VDE-IT und GWS basiert auf Arbeiten im Rahmen eines Auftrags des Bundeskanzleramts im Zusammenhang mit der „Allianz für Transformation“. Es handelt sich um eine eigenständige Auswertung von Quellen und Aufbereitung von Ergebnissen durch die VDI/VDE-IT und die GWS.

Der Foresight-Report beinhaltet ausschließlich Schlussfolgerungen der Autor:innen.

Herausgegeben von

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1 | 10623 Berlin
www.vdivde-it.de

in Kooperation mit der

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH (GWS)
Heinrichstraße 30
49080 Osnabrück

Bildnachweis
Nuthawut/AdobeStock (Titelbild)

Berlin, November 2023