

Infrastruktursystem Bildung und Forschung

Ergebnisse aus dem Resilienz-Radar



Downloadversion
foresight.tab-beim-bundestag.de

September 2025
Foresight-Report

Foresight-Report zum Infrastruktursystem Bildung und Forschung, September 2025, Downloadversion

Die TAB Foresight-Reports fassen die Ergebnisse des Resilienz-Radars zusammen und erscheinen seit 2024 jährlich auf der Microsite <https://foresight.tab-beim-bundestag.de>.

Das [Resilienz-Radar](#) dient der Identifikation und Bewertung von Entwicklungen, die mit systemischen Risiken für kritische Infrastrukturen verbunden sind. Neben der Analyse zentraler Trends liegt der Fokus auf der Einschätzung von systemischen Risiken mit potenziell weitreichenden Auswirkungen, um die Gefährdungslage einzelner Infrastruktursysteme fundiert zu bewerten. Zudem werden jeweils infrastrukturspezifische Fokusthemen vorgeschlagen, die von besonderer Relevanz für eine vertiefende Untersuchung sind. Die Ergebnisse werden jährlich in den Foresight-Reports zusammengefasst.



Das TAB analysiert im Auftrag des Deutschen Bundestages umfassend und vorausschauend die Potenziale wissenschaftlich-technischer Entwicklungen und ihre Auswirkungen auf die Gesellschaft.

Inhalt

Infrastruktursystem Bildung und Forschung	2
Überblick über aktuelle Trends.....	7
Neue Bildungsanforderungen und soziale Bildungsungleichheiten	10
Digitalisierung der Bildungswelten	16
Wettlauf um technologische Vorherrschaft und Innovationskraft .	24
Digitalisierung der Forschungswelten	28
Systemische Risiken und ihre Auswirkungen auf das Infrastruktursystem Bildung und Forschung	36
Status quo der Gefährdungslagen.....	37
Entwicklungsdynamiken ausgewählter systemischer Risiken	46
Gefährdungslagen im Zuge der Transformation.....	52
Fokusthemen	60
Fokusthema 1: Cybersicherheit im Forschungsprozess – Resilienz stärken, Risiken minimieren.....	60
Fokusthema 2: Hochschulen im Spannungsverhältnis von kommerziellen Anbietern digitaler Technologien und Open-Source- Lösungen.....	61
Fokusthema 3: Digitale Technologien in der Schule.....	62
Methodik und Vorgehen	64

Infrastruktursystem Bildung und Forschung

Gute Bildung erhöht nicht nur die individuellen Berufs- und Zukunftschancen, sondern ist auch eine volkswirtschaftliche Ressource, die – ebenso wie die durch Forschung und Entwicklung gewonnenen Erkenntnisse und Innovationen – ganz entscheidend zur Wettbewerbsfähigkeit eines Landes und seiner Wirtschaft beiträgt. Ein leistungsfähiges Forschungs- und Bildungssystem ist daher von entscheidender Bedeutung für die Zukunftssicherung eines Landes. Es umfasst eine Vielzahl von Einrichtungen, Ressourcen und Dienstleistungen. Dazu gehören neben Schulen und Universitäten auch Laboratorien, wissenschaftliche Großgeräte, Archive und Bibliotheken, Datenbanken und IT-Infrastrukturen.



Systembild des Infrastruktursystems Bildung und Forschung

Die Stärkung der Resilienz im Infrastruktursystem Bildung und Forschung ist angesichts gesellschaftlicher, technologischer und geopolitischer Umbrüche von strategischer Bedeutung. Drei zentrale Herausforderungen stehen dabei im Fokus: Erstens erfordert die **digitale Transformation** den Aufbau robuster technischer, organisatorischer und institutioneller Strukturen. Die Digitalisierung ist Voraussetzung für die internationale Wettbewerbsfähigkeit des

Bildungs- und Forschungssystems sowie für die Vermittlung digitaler Kompetenzen, die gesellschaftliche Teilhabe ermöglichen. Mit dem Digitalpakt 2.0 setzen Bund und Länder die Initiative zur Digitalisierung des Bildungswesens fort, um die digitale Infrastruktur und Medienkompetenz an Schulen in Deutschland nachhaltig zu stärken. Zweitens stellt die **Herstellung und Sicherung von Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit** eine dauerhafte Transformationsaufgabe dar. Ziel ist es, soziale, regionale und digitale Disparitäten zu überwinden und allen Menschen unabhängig von ihrer Herkunft Zugang zu hochwertiger Bildung zu ermöglichen. Drittens gewinnt die **Ausrichtung des Forschungssystems auf gesellschaftliche Herausforderungen** an Bedeutung. Der missionsorientierte Politikansatz, der zunehmend Eingang in die deutsche Forschungs- und Innovationspolitik findet, verlangt eine stärkere Fokussierung auf anwendungsorientierte Forschung zur Lösung komplexer Zukunftsfragen wie technologische Souveränität, Klimawandel oder demografischer Wandel. Hochschulen und Forschungseinrichtungen sind gefordert, ihre Strukturen und Strategien entsprechend weiterzuentwickeln, um zur Resilienz und Innovationsfähigkeit des Gesamtsystems beizutragen.

Das Infrastruktursystem Bildung und Forschung ist nicht zuletzt deshalb komplex, weil Bildungs- und Hochschulpolitik im Kern Ländersache ist und es daher einige Unterschiede zwischen den Bundesländern gibt. In der vorliegenden Analyse liegt der Fokus auf den folgenden Bereichen (nicht betrachtet werden frühkindliche Bildung, informelle Bildung und Industrieforschung):

Primarbereich

Er umfasst die Grund- und Förderschulen, in die Kinder mit Beginn der Schulpflicht im Alter von 6 Jahren eintreten. Je nach Bundesland endet die Grundschulzeit nach 4 oder 6 Jahren. Neben den öffentlichen gibt es eine wachsende Zahl privater Grundschulen.

Sekundarbereich

Er baut auf einer abgeschlossenen Grundschulbildung auf und gliedert sich in den Sekundarbereich I und II. Zum Sekundarbereich I gehören Förderschulen, Hauptschulen, Realschulen und Gymnasien, die nach Leistungsniveaus differenzieren und zu unterschiedlichen Abschlüssen führen (Hauptschulabschluss, Mittlerer Schulabschluss, Abitur etc.). Teilweise werden die verschiedenen Leistungsniveaus auch gemeinsam in Gemeinschaftsschulen oder Integrierten Gesamtschulen unterrichtet.

Die Sekundarstufe II umfasst berufsorientierte Bildungsgänge, die mit einem Hauptschulabschluss oder einem Mittleren Schulabschluss abschließen. Dazu gehören die Berufsfachschulen, die den schulischen Teil der dualen Berufsausbildung abdecken, sowie die beruflichen Oberschulen wie Fach- oder Berufsoberschulen, deren Abschlüsse zur Aufnahme einer bestimmten beruflichen Tätigkeit oder zum Studium an einer Fachhochschule oder Universität berechtigen.

Tertiärbereich

Er umfasst zum einen Universitäten, Fachhochschulen und andere Hochschularten, die eine umfassende akademische Ausbildung anbieten, zum anderen Fachschulen, die der beruflichen Weiterbildung dienen und eine abgeschlossene Berufsausbildung sowie Berufserfahrung voraussetzen.

Universitäre Forschung

In Deutschland gibt es über 400 Hochschulen, davon 208 Fachhochschulen und 109 Universitäten, die eine breite Palette an Fachrichtungen abdecken. Diese Institutionen sind zentrale Akteure in der Grundlagen- und angewandten Forschung. Eine etwas speziellere Rolle spielen Universitätskliniken, die medizinische Forschung und Patientenversorgung kombinieren. Sie sind oft an Universitäten angeschlossen und spielen eine wichtige Rolle in der klinischen Forschung und der Entwicklung neuer medizinischer Verfahren und Therapien. Auch die Aus- und Weiterbildung von Ärzten gehört zu ihren Aufgaben.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Zu den außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Deutschland zählen verschiedene öffentlich finanzierte Gesellschaften und spezialisierte Forschungsinstitute. Die Max-Planck-Gesellschaft konzentriert sich auf die Grundlagenforschung, die Fraunhofer-Gesellschaft auf die angewandte Forschung. Die Helmholtz-Gemeinschaft widmet sich der Lösung großer und komplexer wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Herausforderungen und die Leibniz-Gemeinschaft berät und informiert Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Öffentlichkeit. Außerdem sind viele außeruniversitäre Forschungseinrichtungen den Ministerien unterstellt und unterstützen diese mit wissenschaftlicher Expertise (z.B. das Bundesinstitut für Risikobewertung oder das Umweltbundesamt). Schließlich existieren viele unabhängige wissenschaftliche Einrichtungen, die sich

ausschließlich durch Drittmittel finanzieren, beispielsweise im Bereich der Nachhaltigkeitsforschung.

Fort- und Weiterbildung

Zu den wichtigsten Einrichtungen, die Weiterbildungsmöglichkeiten für Erwachsene anbieten und das lebenslange Lernen fördern, gehören Fachschulen, Weiterbildungszentren und Volkshochschulen.

Fachschulen setzen eine abgeschlossene Berufsausbildung voraus und haben einen starken Anwendungsbezug. Volkshochschulen und Weiterbildungszentren sind hingegen eher auf die allgemeine Erwachsenenbildung ausgerichtet, wobei Weiterbildungszentren einen spezialisierteren Fokus haben und sich auf bestimmte berufliche Qualifikationen konzentrieren. Darüber hinaus bieten auch private Bildungsträger, Universitäten und Hochschulen sowie Unternehmen spezielle Weiterbildungsprogramme an.

Kernergebnisse

Fünf Trendcluster

prägen gemäß der Trendanalyse derzeit das Infrastruktursystem: Neue Bildungsanforderungen und soziale Bildungsungleichheiten, die Digitalisierung der Bildungswelten, der Wettlauf um technologische Vorherrschaft und Innovationskraft, der Wandel des Verhältnisses von Wissenschaft und Gesellschaft sowie die Digitalisierung der Forschungswelten.

Aufkommende Technologien

sind unter anderem personalisierte Lernmethoden durch KI-gestützte Tutorsysteme, die auf individuelle Bedürfnisse der Lernenden eingehen, vollständig automatisierte Labore, die wissenschaftliche Experimente eigenständig planen, durchführen und auswerten können, sowie die Entwicklung datenschutzkonformer generativer KI.

Status quo der Gefährdungslagen

Die aktuelle Gefährdung des Infrastruktursystems durch die meisten systemische Risiken ist insgesamt als mittel einzustufen. Die Funktionsfähigkeit und die Stabilität des Infrastruktursystems werden derzeit vor allem durch Versorgungsengpässe im Personalbereich, Epidemien und Pandemien, gesellschaftliche Polarisierung sowie

Technikversagen und eingeschränkte Technikbeherrschbarkeit gefährdet.

Entwicklungsdynamiken

Die fortschreitende Digitalisierung erhöht die Gefährdungslagen durch Cyberkriminalität, Technikversagen und eingeschränkte Technikbeherrschbarkeit sowie zunehmende Machtkonzentration, insbesondere bei Technologieunternehmen. Zusätzlich verstärken geopolitische Konflikte den Druck auf das Forschungssystem und erschweren internationale Kooperationen.

Gefährdungslagen im Zuge der Transformation

Die Umsetzung der zentralen Transformationsziele – die Digitalisierung des Infrastruktursystems, mehr Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit sowie ein höherer Anteil anwendungsorientierter Forschung – wird durch systemische, politische und technologische Pfadabhängigkeiten erschwert.

Fokusthemen

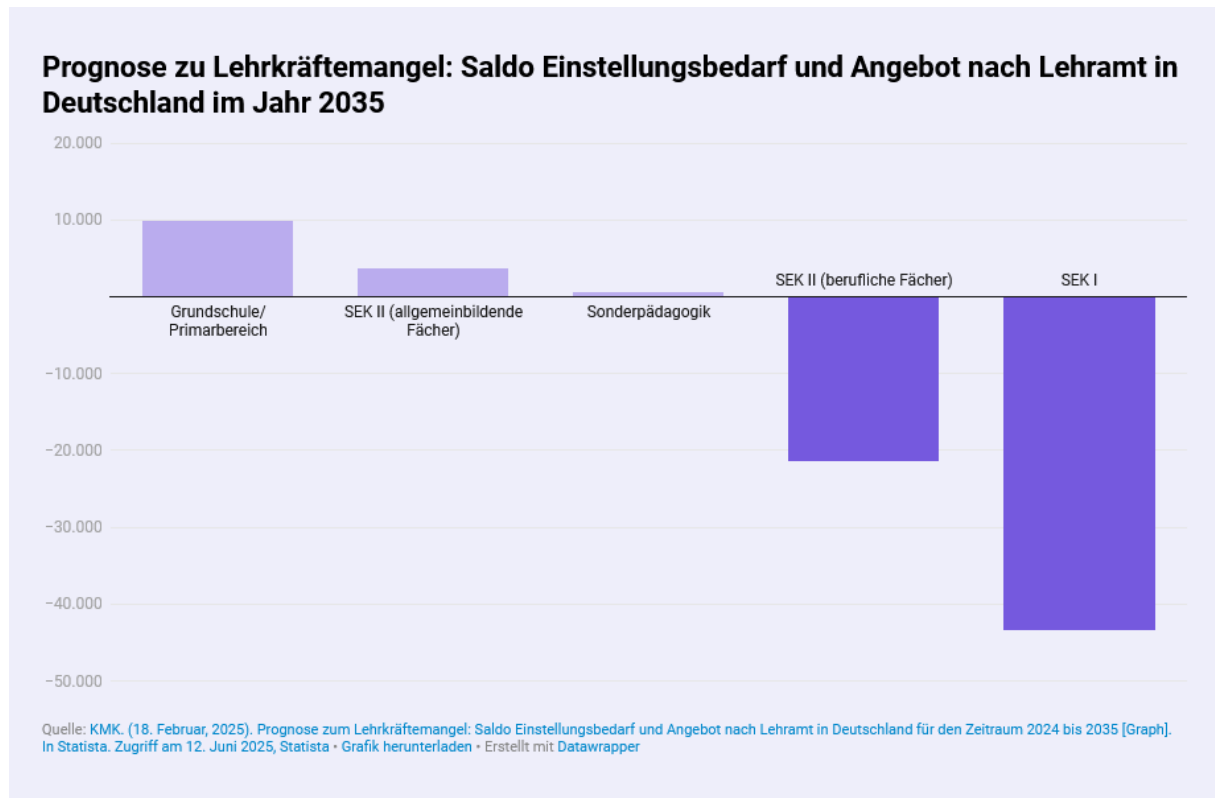
Für eine Vertiefung im Rahmen des Resilienz-Checks werden drei Fokusthemen vorgeschlagen: (1) Cybersicherheit im Forschungsprozess – Resilienz stärken, Risiken minimieren, (2) Hochschulen im Spannungsverhältnis von kommerziellen Anbietern digitaler Technologien und Open-Source-Lösungen sowie (3) Digitale Technologien in der Schule.

Überblick über aktuelle Trends

Das Infrastruktursystem Bildung und Forschung ist geprägt von wachsenden öffentlichen Ausgaben und einer steigenden Zahl an Beschäftigten. Zugleich steht es vor bedeutenden Herausforderungen, darunter ein zunehmender Lehrkräftemangel sowie die vielerorts prekäre Beschäftigungssituation im wissenschaftlichen Mittelbau. Deutschland zählt in zahlreichen Wissenschafts- und Forschungsfeldern zu den leistungs- und innovationsstärksten Ländern Europas. Zentrale Entwicklungstrends lassen sich fünf Themenclustern zuordnen: Im Bildungsbereich betreffen diese neuen Anforderungen an Bildungsinhalte und soziale Bildungsungleichheiten sowie die fortschreitende Digitalisierung der Bildungswelten. Im Forschungsbereich zeigen sich der globale Wettbewerb um technologische Vorherrschaft, der Wandel im Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft sowie die digitale Transformation der Forschung.

Bildung ist in Deutschland föderal organisiert. So ist es grundsätzlich Aufgabe der Bundesländer, „Bildung gesetzgeberisch zu regeln sowie entsprechende Bildungsgesetze auszuführen und -aufgaben zu finanzieren“ [1]. Dies führt zu einer großen **Vielfalt an Bildungsangeboten** und -regelungen. Grundsätzlich gilt, dass das deutsche Bildungswesen in nahezu allen relevanten Aspekten gewachsen ist, insbesondere getrieben durch das Bevölkerungswachstum [2], das wiederum vor allem auf die fluchtbedingte Zuwanderung zurückzuführen ist: So ist die **Zahl der Schüler/innen** gestiegen [3], das **Angebot an Bildungseinrichtungen** hat zugenommen (2022: 6% mehr Bildungseinrichtungen als 2012), ebenso die **Zahl der Beschäftigten** im Bildungswesen (2022: Zunahme um 21 % gegenüber 2012). Auch bei den **öffentlichen Bildungsausgaben** ist ein Anstieg zu verzeichnen [4]. Der Anteil der öffentlichen Bildungsausgaben am Bruttoinlandsprodukt (BIP) stieg in Deutschland zwischen 2015 und 2023 von 4,2 % auf 4,5 % – ein Wert, der jedoch unter dem OECD-Durchschnitt von 4,9 % des BIP liegt [5][6]. Obwohl in den vergangenen Jahren die Zahl der Lehrer/innen in Deutschland kontinuierlich angewachsen ist [7], besteht ein wachsender **Mangel an Lehrkräften** sowohl an allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen als auch im Weiterbildungsbereich [4]. Die Kultusministerkonferenz schätzt, dass deutschlandweit bis 2035 insgesamt rund 49.000 Lehrkräfte fehlen werden [8]. Der Trend ist jedoch in den verschiedenen Bundesländern sowie für die

unterschiedlichen Bildungsbereiche (Primarbereich, Sekundarbereich I etc.) sehr unterschiedlich ausgeprägt. Besonders der Sekundarbereich I und die beruflichen Schulen sind laut KMK von einem zukünftigen Mangel betroffen ([Datengrafik](#)).



Auch im **Forschungsbereich** sind die Investitionen in den letzten Jahren angewachsen. Das **Budget für Forschung und Entwicklung (FuE)** hat sich zwischen 2005 und 2022 mehr als verdoppelt (auf 121,4 Mrd. Euro; inklusive Investitionen der privaten Wirtschaft) und die **Zahl der Beschäftigten** in öffentlichen und privaten FuE-Einrichtungen ist stark gestiegen [9]. In einem von starkem Wettbewerb geprägten internationalen Wissenschaftssystem [10] gehört Deutschland in vielen Wissenschafts- und Forschungsbereichen zu den leistungs- und innovationsstärksten Ländern Europas [11][12]. Das Land ist in den letzten zehn Jahren für Forschende attraktiver geworden. Es kommen mehr Wissenschaftler/innen nach Deutschland als ins Ausland gehen, darunter viele erfolgreiche Wissenschaftler/innen, die nach einem Auslandsaufenthalt zurückkehren. Bei den patentaktiven Erfinder/innen ist ein **Rückgang der Nettoabwanderung** zu beobachten [13]. Allerdings hindert die schleppende Erteilung von Visa an Akademiker/innen aus Drittstaaten eine stärkere Internationalisierung der Forschung in Deutschland [14]. An deutschen Hochschulen gilt die **Beschäftigungssituation des wissenschaftlichen Mittelbaus** seit langer Zeit als vergleichsweise prekär: Die Mehrheit der

hauptberuflichen wissenschaftlichen und künstlerischen Beschäftigten ohne Professur an den Hochschulen ist befristet beschäftigt [15] und viele Forschende werden über Drittmittel finanziert. Zwischen 2005 und 2021 stieg der Anteil der drittmittelfinanzierten FuE an Hochschulen von 39 % auf 46 % [9].

Referenzen

1. Glinka, P. et al. (2019): Bildungsföderalismus in Deutschland. In: Wirtschaftsdienst 2019(3), S. 196–202
2. Statistisches Bundesamt (2024a): Bevölkerungsentwicklung: Einwohner in Deutschland bis 2023. Statista, www.statista.com/ (27.9.2024)
3. Statistisches Bundesamt (2023b): Schülerzahlen: Entwicklung bis 2023. Statista, www.statista.com/ (3.9.2024)
4. Autor:innengruppe Bildungsberichterstattung (2024): Bildung in Deutschland 2024: Ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zu beruflicher Bildung. Bielefeld, DOI: [10.3278/6001820iw](https://doi.org/10.3278/6001820iw)
5. OECD (2024): Education at a Glance 2024. Country note: Deutschland. Paris
6. Statistisches Bundesamt (2025): KORREKTUR: Öffentliche Bildungsausgaben 2023 um 4,3 % (vorher: 4,4 %) gestiegen. Statistisches Bundesamt, 21.1.2025, www.destatis.de/ (25.2.2025)
7. Statistisches Bundesamt (2023a): Lehrkräfte in Deutschland bis 2023. Statista, www.statista.com/ (1.10.2024)
8. KMK (2024): Lehrkräfteeinstellungsbedarf und -angebot in der Bundesrepublik Deutschland 2024 – 2035 – Zusammengefasste Modellrechnungen der Länder. Kultusministerkonferenz, Berlin
9. BMBF (2024b): Daten und Fakten zum Deutschen Forschungs- und Innovationssystem. Bundesbericht Forschung und Innovation 2024. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin
10. International Science Council (2023): Flipping the Science Model: A Roadmap to Science Missions for Sustainability. Paris
11. EU (2024): Science, Research and Innovation performance of the EU 2024. A competitive Europe for a sustainable future. www.research-and-innovation.ec.europa.eu/ (5.7.2024)
12. Europäische Kommission (2023a): Regional Innovation Scoreboard 2023. research-and-innovation.ec.europa.eu (4.7.2025)
13. EFI (2024): Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2024. Expertenkommission Forschung und Innovation, Berlin
14. Deutscher Bundestag (2024): Experten: Visa-Probleme behindern Austausch in der Wissenschaft. <https://www.bundestag.de> (22.1.2025)

15. Mense, L. et al. (2024): Multidimensionale Geschlechterungleichheiten im akademischen Mittelbau: Arbeit, Karriere, Perspektiven. Wiesbaden

Neue Bildungsanforderungen und soziale Bildungsungleichheiten

Die Bildungsanforderungen in unserer Gesellschaft steigen kontinuierlich, insbesondere weil der wissenschaftlich-technische Wandel und die zunehmende Digitalisierung der Arbeitswelt neue, spezialisierte Kenntnisse und Fähigkeiten erfordern. Finanzielle Ressourcen, Bildungsnähe der Eltern und Zugänge zu Fördermöglichkeiten sind oft ungleich verteilt und beeinflussen dadurch Bildungschancen maßgeblich.

Angeichts von gesellschaftlichen, technologischen und ökologischen Veränderungen steht das Bildungssystem vor der Herausforderung, neue Anforderungen an Kompetenzen, Inhalte und Lernformen zu erfüllen. In Deutschland ist, über praktisch alle Branchen weg, eine **zunehmende Nachfrage nach Fachkräften** festzustellen, die zukünftig mit großer Wahrscheinlichkeit weiter zunehmen wird [1]. Die **fortschreitende Digitalisierung** und Automatisierung führen zu Veränderungen in den Arbeitsinhalten und -prozessen und somit auch zu Veränderungen der geforderten beruflichen Kompetenzen und digitalen Fähigkeiten sowie der sogenannten Soft Skills. Zudem nimmt die **Ausdifferenzierung der Arbeitswelt** – in anspruchsvollere Tätigkeiten und einfache Routinetätigkeiten – zu [2][3]. Arbeitnehmer/innen sind heute mehr denn je gefordert, ihre Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen auf dem neuesten Stand zu halten und fortlaufend weiterzuentwickeln, wodurch **Lebenslanges Lernen** sowie **berufliche Weiterbildung** an Bedeutung gewinnen [4][5]. Zum Nachweis erworbener Qualifikationen und Kompetenzen werden zunehmend **digitale Zertifikate** eingeführt, die den Stellenwert des Lernens in der Gesellschaft grundlegend verändern können.

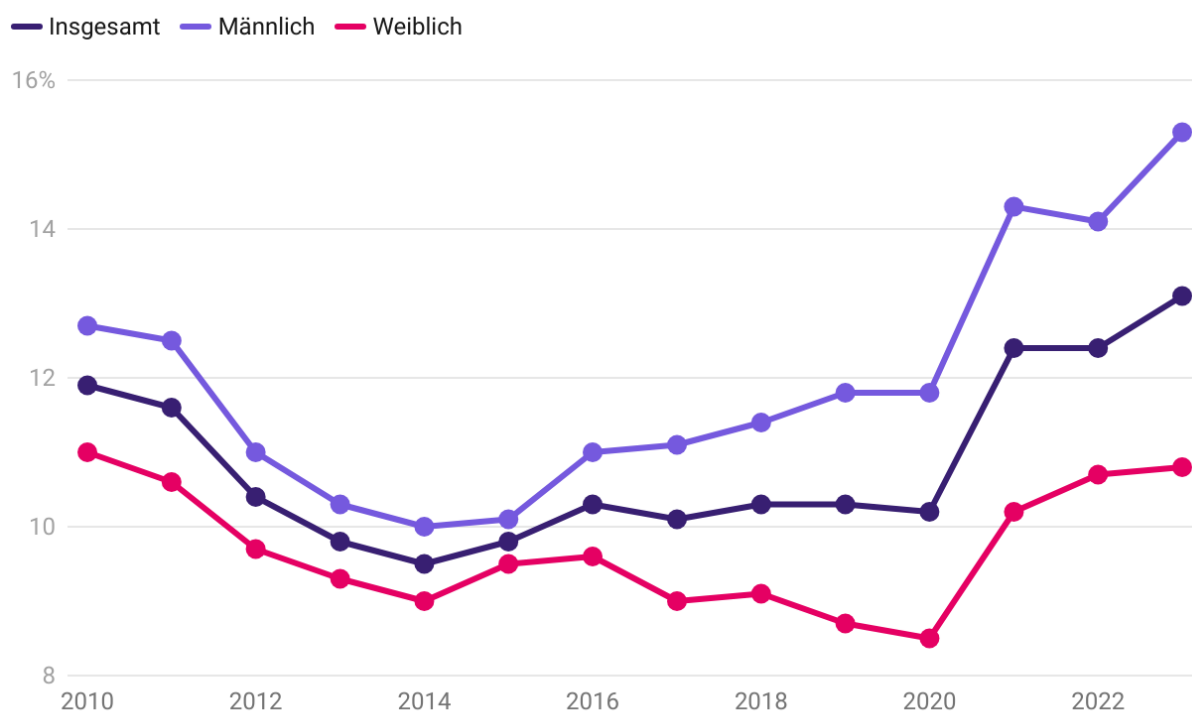
Bei der Frage, wie gut das deutsche Bildungssystem auf diese Herausforderungen eingestellt ist, ergibt sich aufgrund gegenläufiger Trends ein widersprüchliches Bild. Zum einen ist in Deutschland seit vielen Jahren ein **Trend zur Höherqualifizierung** zu beobachten. So werden seit 2015 mehr neue Ausbildungsverträge mit Studienberechtigten als mit Hauptschulabsolventen abgeschlossen [6]. Zum anderen ist seit vielen Jahrzehnten ein **Trend zur Akademisierung** zu beobachten, der sich zuletzt zwar etwas

abgeschwächt zu haben scheint, aber auf hohem Niveau stagniert [7]. Während 1950 auf zehn Studierende noch rund 75 Auszubildende kamen, gab es 2021 mehr als doppelt so viele Studierende (2,9 Millionen) wie Auszubildende (1,3 Millionen) [8]; auffällig ist dabei vor allem der **wachsende Anteil der Frauen**, die inzwischen mehr als die Hälfte der Erstsemesterstudierenden ausmachen. 2020 begannen erstmals in der Geschichte der Bundesrepublik mehr junge Menschen ein Hochschulstudium als eine Berufsausbildung [9].

Andererseits zeigen die in regelmäßigem Turnus durchgeführten Schulleistungsuntersuchungen (PISA, IGLU, IQB, TIMSS), dass in Deutschland der **Anteil bildungsarmer Schüler/innen** in den letzten Jahren zugenommen hat [10][7]. So wurden etwa beim PISA-Test 2022 in sämtlichen Kompetenzbereichen (Mathematik, Lesen, Naturwissenschaften) im Vergleich zu 2018 deutliche Leistungsabfälle unter den 15-Jährigen festgestellt [10]. Zudem hat der Anteil junger Menschen mit einem sehr **niedrigen formalen Bildungsstand** zugenommen (**Datengrafik**). Laut einem aktuellen OECD-Bericht ist Deutschland eines von nur vier OECD-Ländern, in denen der Anteil junger Erwachsener im Alter von 25 bis 34 Jahren ohne Sekundarbereich-II-Abschluss zwischen 2016 und 2023 gestiegen ist [11]. Ebenso hat sich in den letzten Jahren der Anteil der Jugendlichen erhöht, welche die allgemeinbildenden Schulen gänzlich **ohne Abschluss** verlassen und damit bei der Eingliederung in den Arbeitsmarkt mit besonders großen Problemen konfrontiert sind (2013: 5,7%; 2023: 6,9%) [7]. Zwar steigt die Zahl der Ausbildungsverträge seit einigen Jahren wieder kontinuierlich an, dennoch konnten 2023 35 % aller **Ausbildungsplätze nicht besetzt** werden (2010: 15%), meist aufgrund eines Mangels an geeigneten Bewerbungen [12].

Frühe Schulabgängerinnen und Schulabgänger

Anteil der 18- bis 24-Jährigen mit höchstens einem Mittleren Abschluss und ohne berufliche Ausbildung in Deutschland von 2010 bis 2023



Details: Deutschland, 18-24 Jahre

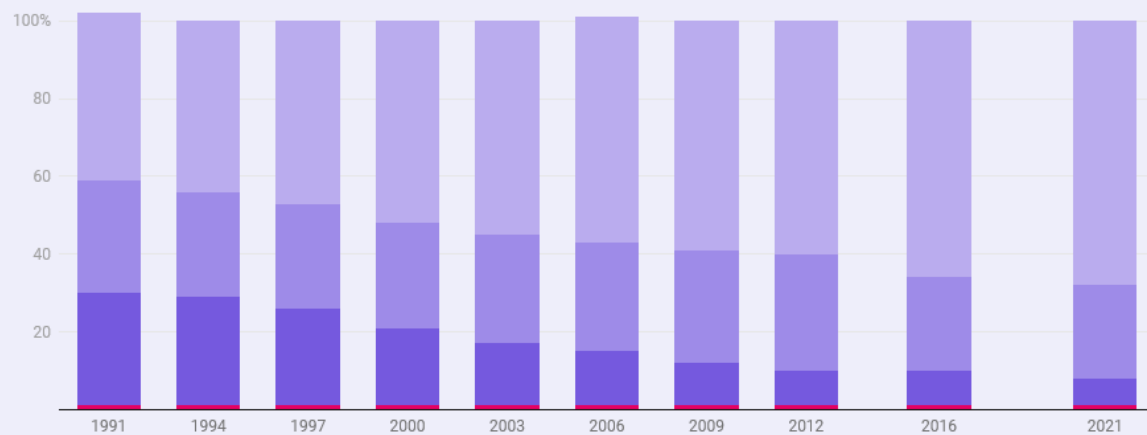
Source: Statistisches Bundesamt. (6. September, 2024). Frühe Schulabgängerinnen und Schulabgänger: Anteil der 18- bis 24-Jährigen mit höchstens einem Mittleren Abschluss und ohne berufliche Ausbildung in Deutschland von 2010 bis 2023 [Graph]. In Statista. Zugriff am 12. Juni 2025 • Created with Datawrapper

Die deutsche Schülerschaft ist zunehmend heterogen, was sich in immer **vielfältigeren soziokulturellen Hintergründen** widerspiegelt. Hinzu kommt der spezielle Förder- und Nachholbedarf durch die COVID-19-Pandemie, der zusätzliche Anforderungen an die Schulen stellt. Die Leistungen deutscher Schüler/innen sind am Ende der Pflichtschulzeit im OECD-Vergleich besonders breit gestreut [13] und die vorliegenden Daten legen nahe, dass die **soziale Herkunft** in Deutschland einen großen Einfluss auf den Bildungserfolg hat (**Datengrafik**): So studieren 56 % der Kinder aus einem akademischen Elternhaus (3% verbleiben ohne Abitur oder Berufsabschluss), hingegen nur 12 % der Kinder formal gering qualifizierter Eltern (40 % verbleiben ohne Abitur oder Berufsabschluss) [14]. Kinder mit Zuwanderungshintergrund, deren Anteil in den Grundschulen seit 2011 um fast 14 Prozentpunkte angestiegen ist (2023: 38%), schneiden in Kompetenztests deutlich schlechter ab als Schüler/innen ohne Zuwanderungshintergrund [15].

Bildungsherkunft der Studierenden in Deutschland bis 2021

Soziale Zusammensetzung der Studierenden in Deutschland nach höchstem Schulabschluss der Eltern von 1991 bis 2021

Kein Schulabschluss Hauptschulabschluss Realschulabschluss Hochschulreife



Details: Deutschland; DZHW; Deutsches Studierendenwerk; Uni Konstanz (AG Hochschulforschung); Sommersemester 2021; 74.124 befragte Studierende; ohne internationale und Fernstudierende; Online-Umfrage

Source: BMBF. (24. Mai, 2023). Soziale Zusammensetzung der Studierenden in Deutschland nach höchstem Schulabschluss der Eltern von 1991 bis 2021 [Graph]. In Statista. Zugriff am 12. Juni 2025 • Download image • Created with Datawrapper

Aufkommende technologische Entwicklung

Digitale Lernzertifikate

Die Dokumentation und Validierung von im Berufsleben erworbenen Kompetenzen wird angesichts der wachsenden Bedeutung Lebenslangen Lernens immer wichtiger [16]. Papierbasierte Qualifikationsnachweise stoßen angesichts der starken Ausdifferenzierung des Weiterbildungsangebots zunehmend an ihre Grenzen und könnten in Zukunft nach und nach durch digitale Lernzertifikate wie Microcredentials und Open Badges ersetzt werden. Microcredentials ermöglichen den Nachweis von spezifischen Kenntnissen und Fähigkeiten, die in kleineren Bildungskursen erworben wurden [17]. Sie bieten neue Perspektiven für die berufliche Weiterbildung und die Karriereentwicklung, da sie flexibel kombinierbar sind [16]. Microcredentials sind ein zentrales Element des europäischen Bildungsraums, den die Europäische Kommission bis 2025 schaffen will [18]. Die in Form von Microcredentials erworbenen Kenntnisse können durch Open Badges nachgewiesen werden, die als digitale Teilnahmebestätigungen fungieren und die erworbenen Kompetenzen sowie weitere Informationen (z.B. zur ausstellenden Institution) als Metadaten kodieren [19]. Da Open Badges auf einem offenen Standard basieren, können die Nachweise verschiedener Organisationen miteinander verknüpft werden.

Digitale Lernzertifikate wie Microcredentials und Open Badges eröffnen Chancen für eine inklusivere und international anschlussfähigere Anerkennung von Kompetenzen – auch in Bereichen, die bisher im formalen Bildungssystem wenig abgebildet sind – und können so Lebenslanges Lernen fördern und sichtbar machen.

Herausforderungen bestehen in der Entwicklung gemeinsamer Standards für Qualität, Transparenz und grenzübergreifende Vergleichbarkeit sowie in der Schaffung technischer Infrastrukturen für die fälschungssichere Verwaltung digitaler Zertifikate. Die Nationale Bildungsplattform (NBP) entwickelt eine entsprechende [Online-Infrastruktur](#) [16]. Distributed-Ledger-Technologien (DLT) können aufgrund ihrer Dezentralität und Integrität einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung und Verbreitung digitaler Lernzertifikate wie Microcredentials oder Open Badges leisten, insbesondere im Hinblick auf Sicherheit, Nachvollziehbarkeit und Transparenz sowie Interoperabilität [20].

Referenzen

1. Nationale Akademie der Wissenschaften; Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften (2024): Die Zukunft der Arbeit. Stellungnahme. Berlin
2. Arnold, D. et al. (2017): Arbeiten 4.0 – Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. In: Wirtschaftsdienst 2017(7), S. 459–476
3. Kutzner, E. et al. (2023): Digitalisierung der Arbeit und Auswirkungen auf das Geschlechterverhältnis. Allgemeine Entwicklungsmuster am Beispiel der Büroarbeit – eine empirische Untersuchung. Hans Böckler Stiftung, Düsseldorf
4. Ehlers, U.-D. (2020): Future Skills: Lernen der Zukunft – Hochschule der Zukunft. Wiesbaden, DOI: [10.1007/978-3-658-29297-3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-29297-3)
5. Schachtner, O.; Hammer, M. (2019): Future Skills. Kompetenzen für das 21. Jahrhundert. Linz
6. BIBB (2021): Datenreport / A5.5.1 Höchster allgemeinbildender Schulabschluss bei Auszubildenden mit Neuabschluss. Bildung 2030 – Sieben Trends, die die Schule revolutionieren. www.bibb.de/ (30.9.2024)
7. Autor:innengruppe Bildungsberichterstattung (2024): Bildung in Deutschland 2024: Ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zu beruflicher Bildung. Bielefeld, DOI: [10.3278/6001820iw](https://doi.org/10.3278/6001820iw)
8. Forschung & Lehre (2023): Die Akademisierung der BRD in Zahlen. 15.6.2023, www.forschung-und-lehre.de/ (30.9.2024)
9. Demografieportal (o. J.): Demografieportal – Fakten – Ausbildungs- und Studienanfänger. www.demografie-portal.de/ (15.7.2024)

10. Anders, F. (2023): PISA 2022 – das sind die zehn wichtigsten Ergebnisse. Das Deutsche Schulportal, 5.12.2023, www.deutsches-schulportal.de/ (10.7.2024)
11. OECD (2024): Education at a Glance 2024. Country note: Deutschland. Paris
12. IAB (2024): IAB-Betriebspanel: Rekordhoch beim Anteil der unbesetzten Ausbildungsstellen. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, IAB-Kurzbericht 16/2024
13. Diedrich, J. et al. (2023): Mathematische Kompetenz in PISA 2022. Von Leistungsunterschieden und ihren Entwicklungen. In: Lewalter, D. et al. (Hg.): PISA 2022. Analyse der Bildungsergebnisse in Deutschland. Münster, S. 53–86
14. Statistisches Bundesamt (2024): Hochschulabschluss hängt stark vom Bildungsstand der Eltern ab. Statistisches Bundesamt, 20.6.2024, www.destatis.de/ (30.9.2024). Als formal gering qualifiziert gilt, wer weder über einen beruflichen Abschluss noch die Hochschulreife, sondern maximal über einen Haupt- oder Realschulabschluss verfügt.
15. Lewalter, D. et al. (2023): PISA 2022. Analyse der Bildungsergebnisse in Deutschland. Zusammenfassung.
16. Buchem, I.; Deutsches Institut für Erwachsenenbildung (DIE) (Hg.) (2024): Zukunft der Anerkennung? Micro-Credentials, Open Badges und Data-Wallets. In: weiter bilden. DIE Zeitschrift für Erwachsenenbildung (1/2024), DOI: [10.3278/WBDIE2401W009](https://doi.org/10.3278/WBDIE2401W009)
17. Vanderheiden, E. (2024): Individuelle Lernkonten und Microcredentials. EU-Bildungsinitiativen zwischen Vision und Wirklichkeit. In: Erwachsenenbildung 70(1), S. 14–17, DOI: [10.13109/erbi-2024-700105](https://doi.org/10.13109/erbi-2024-700105)
18. Europäische Kommission (2024): Ein europäischer Ansatz für Microcredentials – European Education Area. 19.12.2024, www.education.ec.europa.eu/ (18.3.2025)
19. Buchem, I. et al. (2019): Kompetenzen sichtbar machen mit Open Badges. Abschlussbericht der HFD Community Working Group Kompetenz-Badges. Arbeitspapier Nr. 48. Hochschulforum Digitalisierung, Berlin
20. TAB (2022): Künstliche Intelligenz und Distributed-Ledger-Technologie in der öffentlichen Verwaltung: Ein Überblick von Chancen und Risiken einschließlich der Darstellung international einschlägiger Praxisbeispiele (Autor/innen: Evers-Wölk, M. et al.). Endbericht zum TA-Projekt »Chancen der digitalen Verwaltung«. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Berlin, DOI: [10.5445/IR/1000151158](https://doi.org/10.5445/IR/1000151158)

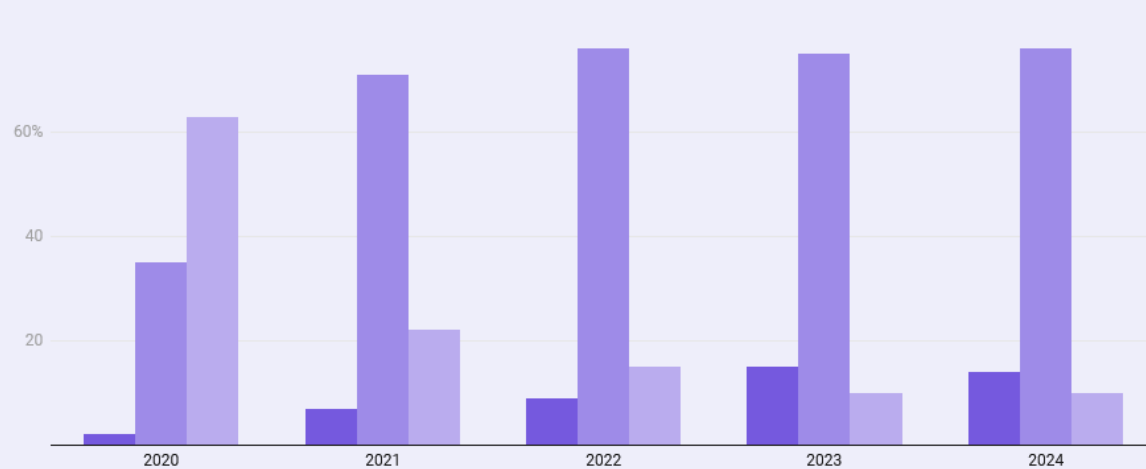
Digitalisierung der Bildungswelten

Die COVID-19-Pandemie hat einen deutlichen Digitalisierungsschub im Bildungsbereich bewirkt. Der weltweite Markt für Online-Bildung ist in den letzten Jahren stark gewachsen und mit der zunehmenden Verbreitung von E-Learning-Plattformen und Lern-Apps gewinnt auch Learning Analytics an Bedeutung. Eine wachsende Zahl von Anwendungen im Bildungsbereich ist inzwischen KI-gestützt, wobei besonders tiefgreifende und dynamische Veränderungen durch generative KI zu erwarten sind.

Das Bildungssystem befindet sich mitten in der **digitalen Transformation**, wobei zwischen den Bildungsbereichen große **Unterschiede in der Implementierung und Nutzung** digitaler Technologien bestehen. Während sich die Hochschulen in Lehre und Verwaltung bereits frühzeitig auf den Weg gemacht haben, konnten die allgemeinbildenden Schulen in Deutschland lange Zeit nicht mit der zunehmenden Digitalisierung der Gesellschaft Schritt halten [\[1\]](#). Vor 2020 gehörten die deutschen Schulen im internationalen Vergleich zu den digitalen Schlusslichtern, sowohl in der Ausstattung als auch in der Unterrichtspraxis [\[2\]](#). Seitdem wird der Ausbau der digitalen Infrastruktur an Schulen **politisch stark vorangetrieben**. Mit dem 2019 eingeführten DigitalPakt Schule unterstützt der Bund die Länder bei Investitionen in die digitale Infrastruktur, die erste Förderphase umfasste 6,5 Mrd. Euro und endete 2024 [\[3\]](#). Ein starker Impuls für die Digitalisierung ging zudem von der Corona-Pandemie aus. Bereits zu Beginn der Pandemie war ein sprunghafter Anstieg des digitalen Lernens sowie eine bessere Ausstattung mit **Tablets und WLAN** zu beobachten [\[4\]\[5\]](#) ([Datengrafik](#)). Im Jahr 2022 besuchten mehr als 80 % der Schüler/innen eine Schule, die mit einer Lernplattform ausgestattet war; ein deutlicher Zuwachs gegenüber 2018 (Ausstattungsgrad: 33 %) [\[6\]](#). Im Schulbereich ist außerdem eine zunehmende Digitalisierung von Kernprozessen wie Schülerverwaltung, Stunden-/Vertretungsplanung, Kurs- und Notenverwaltung, Klassenbuchführung, Ressourcenmanagement oder Leistungsdatenverwaltung zu beobachten [\[7\]](#). Trotz des Digitalisierungsschubes verfügten Ende 2023 im Durchschnitt immer noch erst 74 % der Schulen in Deutschland über Breitbandinternet.

Verfügbarkeit von Klassensätzen an Laptops, Tablet-PCs und Smartphones an der eigenen Schule in Deutschland in den Jahren 2020 bis 2024

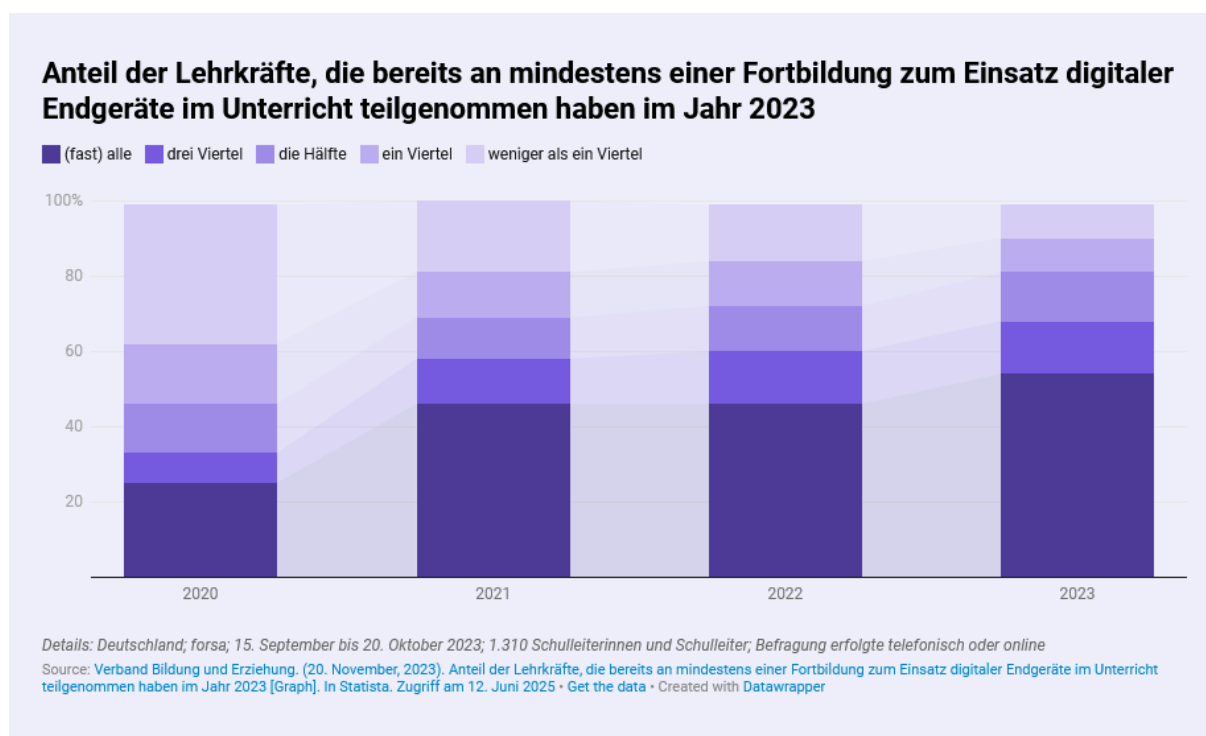
■ Ja ■ Ja, aber nicht für alle Klassen ■ Nein



Details: Deutschland; forsa; 11. September bis 9. Oktober 2024; 1.311 Schulleiterinnen und Schulleiter; Befragung erfolgte telefonisch oder online

Source: Verband Bildung und Erziehung, (21. Oktober, 2024). Verfügbarkeit von Klassensätzen an Laptops, Tablet-PCs und Smartphones an der eigenen Schule in Deutschland in den Jahren 2020 bis 2024 [Graph]. In Statista. Zugriff am 12. Juni 2025 • Download image • Created with Datawrapper

Durch die Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten hat das **Angebot an digitalen Lernformaten** in den letzten Jahren stark zugenommen. Ihr Einsatz ist vor allem an Hochschulen und in Unternehmen verbreitet, nimmt aber auch an Schulen stetig zu. Die internationale Studie ICILS 2023 zeigt, dass die **Nutzung digitaler Medien** durch Lehrkräfte seit 2018 deutlich zugenommen hat [8]. Auch bei der **Vorbereitung der Lehrkräfte** auf den Einsatz digitaler Endgeräte im Unterricht sind Fortschritte zu verzeichnen, wenngleich noch Defizite bestehen [9] ([Datengrafik](#)). Neuere digitale Lernformate wie Online-Workshops, Webinare, Podcasts oder Lernvideos bieten flexible und interaktive Lernmöglichkeiten und fördern den Erwerb digitaler Kompetenzen [10]. Hybride Lernmodelle, die klassischen Präsenzunterricht mit E-Learning kombinieren – sog. **Blended Learning** –, haben während der COVID-19-Pandemie einen starken Aufschwung erlebt [11] und spielen heute eine immer größere Rolle [12]. Der Einsatz von Virtual Reality (VR) oder Augmented Reality (AR) [13], auch als **immersives Lernen** bezeichnet, ist in der schulischen und universitären Bildung noch nicht weit verbreitet, wird aber in der betrieblichen Weiterbildung bereits stärker genutzt [14].



Der **weltweite Markt für Online-Bildung** ist in den letzten Jahren stark gewachsen, wobei vor allem die Umsätze mit **E-Learning-Plattformen** und **Lern-Apps** (z.B. Babbel, Duolingo, Bettermarks) sprunghaft angestiegen sind [\[15\]](#)[\[16\]](#). Mit der zunehmenden Verbreitung von E-Learning-Systemen gewinnt auch **Learning Analytics** (LA), also die datenbasierte Analyse des Lernverhaltens [\[17\]](#), zunehmend an Bedeutung. Von LA-Systemen erhofft man sich, Lernprozesse stärker individualisieren zu können. Der weltweite Markt für LA-Systeme soll von 2023 bis 2028 um 17 % wachsen [\[18\]](#), wobei KI ein großer Innovationstreiber ist. Die Integration von LA-Technologien in das deutsche Bildungssystem steht jedoch noch am Anfang. Mit dem Wachstum des digitalen Bildungsmarktes und der Digitalisierung von Bildungseinrichtungen gewinnen **große Technologiekonzerne** wie Microsoft oder Google zunehmend an Einfluss im Bildungsbereich [\[19\]](#). Diese Unternehmen dominieren nicht nur bei Computer-Betriebssystemen und wichtigen Softwareprodukten (z.B. Textverarbeitungsprogrammen), sondern bieten zunehmend auch cloudbasierte Dienste und Services für das Bildungswesen an.

Zahlreiche Anwendungen im Bildungsbereich sind inzwischen KI-gestützt, von LA-Systemen und Kollaborationsnetzwerken bis hin zu Lernplattformen, die beim Selbstlernen unterstützen sollen [\[20\]](#)[\[21\]](#). Grundsätzlich wird von **KI-basierten Lernanwendungen** (Intelligent Tutoring Systems) eine stärkere **Personalisierung von Lernprozessen** erwartet, die dazu beitragen kann, besser und differenzierter auf die Bedürfnisse und Kompetenzen der Lernenden

einzuweichen [22], sie individueller zu fördern und damit gerechtere Bildungschancen zu schaffen [23][24]. Besonders dynamisch hat sich **generative KI** im Bildungsbereich verbreitet (für einen Überblick über Projekte vgl. [25], die Potenziale und Risiken dieser Tools werden intensiv diskutiert [26]. Laut Umfragen nutzt eine stark wachsende Zahl von Studierenden und Schüler/innen regelmäßig generative KI-Tools für Hausaufgaben und die Prüfungsvorbereitung [27][28][29]. Die **Integration in die Lehre und den Unterricht** hinkt dagegen in Deutschland noch hinterher [30]. Im Bereich der Hochschulbildung hat sich die Auseinandersetzung mit den neuen Technologien bisher vor allem auf die Entwicklung von Leitlinien fokussiert, wobei der Schwerpunkt eher auf Prüfungen und akademischem Fehlverhalten als auf der Hochschulbildung selbst lag. Auch mit Blick auf die Schulen wird der Handlungs- und Regelungsbedarf im Umgang mit generativer KI intensiv diskutiert [31] und die Integration in den Schulalltag in verschiedenen Ländern in Modellversuchen erprobt (z.B. [KI@School](#) in Bayern).

Aufkommende technologische Entwicklungen

Personalisiertes Lernen mittels KI-Tutoren

KI-Tutoren, auch als Intelligente Tutorielle Systeme (ITS) bezeichnet, wird ein großes Potenzial bei der Umsetzung personalisierter Lernangebote zugesprochen [10][25][22][32]. ITS sind „auf Künstlicher Intelligenz (KI) basierende Lernsoftwares, die Lehrkräfte im Unterricht als Assistenz oder als „Tutor“ zur Begleitung von Lernprozessen einsetzen können.“ [33][25] Sie ermöglichen personalisiertes Feedback und Lernangebote auf der Grundlage individueller Daten, die während der Lernsituationen gesammelt werden und die spezifischen Lernwege des Einzelnen nachvollziehbar machen. Im Unterschied zu klassischen Lernplattformen und -technologien sind KI-Tutoren adaptiv, d.h. sie passen Inhalte, Schwierigkeitsgrad und Tempo an die individuelle Lernkurve an. Außerdem können sie dialogisch auf Fragen reagieren und individuelle Unterstützung durch gezielte Hinweise geben. Der Nutzen für die Lernenden liegt entsprechend in der Personalisierung der Inhalte, im unmittelbaren Feedback sowie im selbstständigen Lernen. Für die Lehrkräfte bietet der Einsatz von KI-Tutoren die Möglichkeit, den Unterricht in heterogenen Gruppen stärker zu differenzieren, sich von Routineaufgaben zu entlasten und Zeit zu gewinnen (die wiederum idealerweise für pädagogische Beziehungspflege und kreative Aufgaben genutzt werden kann) sowie die Diagnose – nicht nur von

Lernständen und Lernerfolgen, sondern auch von Förderbedarfen – zu verbessern. Mit der Veröffentlichung von ChatGPT und vergleichbaren LLMs wurde die Entwicklung KI-basierter Lernprogramme deutlich beschleunigt [34]. In den USA werden KI-Tutoren, die auf GPT4 basieren, schon im Schulunterricht eingesetzt. Eine adaptierte Version von ChatGPT (ChatGPT Edu) unterstützt Studierende der Arizona State University [35]. In Deutschland kommen KI-basierte Lernanwendungen bislang vor allem in der Nachhilfe und zur Unterstützung des Selbstlernens zum Einsatz [36]. Die Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK) hat am 17. Januar 2024 ein Impulspapier zum Einsatz von KI-Tools wie ChatGPT im Bildungssystem veröffentlicht und empfiehlt, allen Schüler/innen sowie allen Lehrkräften einen kostenlosen oder kostengünstigen Zugang zu KI-Werkzeugen zu ermöglichen [37]. Allerdings ist der konkrete pädagogische Nutzen von KI-basierten Lernanwendungen wissenschaftlich umstritten bzw. noch nicht ausreichend belegt und es gilt zu klären, „für welche Lerninhalte, didaktischen Ansätze oder Bildungskontexte sich diese als geeignet erweisen“ [38]. Die Entwicklung von KI-basierten Lernanwendungen ist zudem sehr aufwändig. Ihr Einsatz erfordert nicht nur geeignete infrastrukturelle Rahmenbedingungen und eine datenschutzkonforme Gestaltung, sondern auch eine Anpassung der Lehrkonzepte sowie eine entsprechende Schulung der Lehrenden.

Immersives Lernen

Lernumgebungen werden als immersiv bezeichnet, wenn sie es den Lernenden ermöglichen, in die Inhalte eines Mediums einzutauchen. Zwar ist immersives Lernen auch mit analogen Techniken möglich, so kann Immersion in Lernszenarien z.B. über Storytelling oder gezielte Interaktionen erzeugt werden [39]. Jedoch ist das Konzept primär durch die Entwicklung und Verbreitung digitaler Technologien wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) bekannt geworden [40]. Immersive Technologien können in Lernumgebungen sehr vielseitig eingesetzt werden und eröffnen angesichts wachsender Anforderungen an individualisiertes, erfahrungsbasiertes und kompetenzorientiertes Lernen neue didaktische Möglichkeiten – insbesondere für schwer zugängliche Inhalte, diversitätsgerechtes Lernen oder Inklusion. Zu den Vorteilen des immersiven Lernens zählen bessere Lernergebnisse, gesteigerte Kreativität, aktives Erforschen und multisensorisches Lernen sowie erhöhte Lernmotivation [14][40][41]. Systematische Untersuchungen zur Wirkung von Immersion auf den Lernerfolg, insbesondere im schulischen Bereich, fehlen jedoch bislang

weitgehend [42]. Im Bildungsbereich ist daher noch größtenteils unklar, wie die Technologie effektiv und nachhaltig in Lernszenarien integriert werden kann, auch weil es für viele Bildungsinhalte noch keine immersiven Angebote gibt [42]. Für den Schulunterricht fehlt es an Erfahrungen und erprobten didaktischen Konzepten [43]. Gleichzeitig erfordert der Einsatz immersiver Technologien eine leistungsfähige IT-Infrastruktur und ist mit einem hohen Ressourcen- und Kostenaufwand für Hard- und Software verbunden, den sich viele Schulen nicht leisten können. Um den Mehrwert des immersiven Lernens in Schulen und Hochschulen zu realisieren, müssen daher die technologischen und didaktischen Rahmenbedingungen weiter verbessert werden.

Referenzen

1. Autor:innengruppe Bildungsberichterstattung (2020): Bildung in Deutschland: ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zu Bildung in einer digitalisierten Welt. Bielefeld
2. International Association for the Evaluation of Educational Achievement (2019): Einsatz von digitalen Technologien an deutschen Schulen. Statista, www.statista.com/ (4.10.2024)
3. BMBF (o. J.): Was ist der DigitalPakt Schule? Bundesministerium für Bildung und Forschung, www.digitalpaktschule.de/ (4.10.2024)
4. Statistisches Bundesamt (2021): Lernen online: Internetnutzung durch Kinder bis 2020. Statista, www.statista.com/ (4.10.2024)
5. Verband Bildung und Erziehung (2021): Umfrage zu Breitbandinternet und WLAN in Schulen 2021. Statista, www.statista.com/ (4.10.2024)
6. OECD (2023): Digitale Lernplattformen an Schulen weltweit 2022. Statista, www.statista.com/ (9.7.2024)
7. Hartong, S. et al. (2025): Digitalisierung von Schule, Schulverwaltung und Schulaufsicht. In: Klenk, T. et al. (Hg.): Handbuch Digitalisierung in Staat und Verwaltung. Wiesbaden, S. 613–622, DOI: [10.1007/978-3-658-37373-3_43](https://doi.org/10.1007/978-3-658-37373-3_43)
8. Eickelmann, B. et al. (2024): ICILS 2023 im Überblick. Zentrale Ergebnisse, Entwicklungen über ein Jahrzehnt und mögliche Entwicklungsperspektiven., DOI: [10.31244/9783830999416](https://doi.org/10.31244/9783830999416)
9. Verband Bildung und Erziehung (2023): Digitalisierung: Lehramtsstudium 2023. Statista, www.statista.com/ (10.7.2024)
10. Grogorick, L.; Robra-Bissantz, S. (2021): Digitales Lernen und Lehren: Führt Corona zu einer zeitgemäßen Bildung? In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 58(6), S. 1296–1312, DOI: [10.1365/s40702-021-00806-z](https://doi.org/10.1365/s40702-021-00806-z)
11. bpb (2021): Hybrides Lernen – aber wie? Bundeszentrale für politische Bildung, 19.1.2021, www.bpb.de/ (4.10.2024)

12. mmb Institut (2021): Weiterbildung und Digitales Lernen heute und in drei Jahren. Home-Office mischt die E-Learning-Branche auf. Ergebnisse der 15. Trendstudie „mmb Learning Delphi“. Essen
13. Kind, S. et al. (2019): Virtual und Augmented Reality : Status quo, Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen. TA-Vorstudie. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Berlin, DOI: [10.5445/IR/1000131346](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:5:1-64888-p0101-9)
14. Bitkom (2022): Unternehmen nutzen VR oder AR vor allem für die Weiterbildung. Presseinformation. 29.8.2022, www.bitkom.org/ (10.10.2024)
15. Business of Apps (2023): E-Learning Plattformen – Umsatz weltweit bis 2022. Statista, www.statista.com/ (9.7.2024)
16. Statista Digital Market Insights (2023): Online-Bildung – Umsätze weltweit bis 2027. Statista, www.statista.com/ (9.7.2024)
17. Peters, R.; Bovenschulte, M. (2021): Learning Analytics – Potenzial von KI-Systemen für Lehrende und Lernende. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Themenkurzprofil 42, Berlin, DOI: [10.5445/IR/1000131769](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:5:1-64888-p0101-9)
18. Yahoo Finance (2023): Worldwide Education and Learning Analytics Market 2023-2028: Proliferation of E-Learning Technologies Sparks Surge in Education Analytics Adoption. Yahoo Finance, 24.10.2023, www.finance.yahoo.com/ (10.7.2024)
19. UNESCO (2023): Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education: A tool on whose terms?, Paris, DOI: [10.54676/UZQV8501](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:5:1-64888-p0101-9)
20. mmb Institut (2021): KI@Bildung: Lehren und Lernen in der Schule mit Werkzeugen Künstlicher Intelligenz. www.telekom-stiftung.de/ (4.10.2024)
21. Sackmann, C. (2024): KI hilft bei den Hausaufgaben: Das steckt hinter den beliebten Schüler-Apps. VDI nachrichten – Das Nachrichtenportal für Ingenieure, 27.6.2024, www.vdi-nachrichten.com/ (10.9.2024)
22. Akademie Herkert (o. J.): Was ist adaptives Lernen? www.akademie-herkert.de (10.9.2024)
23. Dumont, H.; Ready, D. D. (2023): On the promise of personalized learning for educational equity. In: npj Science of Learning 8(1), S. 26, DOI [10.1038/s41539-023-00174-x](https://doi.org/10.1038/s41539-023-00174-x)
24. Holmes, W. et al. (2018): Personalisiertes Lernen mit digitalen Medien. Ein roter Faden. Robert Bosch Stiftung, Stuttgart
25. Wissenschaftliche Dienste (2025): Zum aktuellen Einsatz von Künstlicher Intelligenz in Bildungseinrichtungen. Deutscher Bundestag, Berlin
26. Ständige Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz (2024): Large Language Models und ihre

- Potenziale im Bildungssystem. Impulspapier der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz. Bonn
27. Houben, L. (2024): Bildungsexperten: ChatGPT und Co. als „Denkwerkzeuge“ nutzen. ZDFheute, 17.1.2024, www.zdf.de/ (10.9.2024)
 28. Schlude, A. et al. (2024): Verbreitung und Akzeptanz generativer KI an Schulen und Hochschulen. Bidt DE, 15.3.2024, <https://www.bidt.digital/publikation/verbreitung-und-akzeptanz-generativer-ki-an-schulen-und-hochschulen/> (10.7.2024)
 29. Seidl, T.; Vonhof, C. (2024): Studentische Nutzung von KI-Tools im Hochschulalltag. Hochschulforum Digitalisierung, 9.9.2024, www.hochschulforumdigitalisierung.de/ (18.9.2024)
 30. Budde, J. et al. (2024): Künstliche Intelligenz: Wo stehen die deutschen Hochschulen? Hochschulforum Digitalisierung, Berlin
 31. KMK (2023): Länder erarbeiten gemeinsamen Themenkatalog zum Umgang mit Künstlicher Intelligenz an Schulen. Kultusministerkonferenz, 1.12.2023, www.kmk.org (10.9.2024)
 32. Grogorick, L.; Robra-Bissantz, S. (2021): Digitales Lernen und Lehren: Führt Corona zu einer zeitgemäßen Bildung? In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 58(6), S. 1296–1312, DOI: [10.1365/s40702-021-00806-z](https://doi.org/10.1365/s40702-021-00806-z)
 33. Bacia, E. et al. (2024): Innovative Lernumgebungen gestalten. Leitfaden für die Nutzung Intelligenter Tutorieller Systeme im Schulalltag. Forschungsinstitut für Bildungs- und Sozialökonomie im Auftrag der Vodafone Stiftung Deutschland, Düsseldorf
 34. Schleiss, J. et al. (2023): Künstliche Intelligenz in der Bildung. Drei Zukunftsszenarien und fünf Handlungsfelder. Zenodo, DOI: [10.5281/zenodo.7702620](https://doi.org/10.5281/zenodo.7702620)
 35. Hal Schwartz, E. (2024): Your next professor at this college could be ChatGPT. TechRadar, 27.8.2024, www.techradar.com/ (30.8.2024)
 36. Schinkels, P. (2024): KI in der Bildung: Mein Lehrer, der KI-Tutor. Die Zeit, 5.9.2024, www.zeit.de/ (5.9.2024)
 37. Brand, A. (2024): SWK-Bildungsforscher empfehlen Einsatz von ChatGPT an Schulen. Das Deutsche Schulportal, www.deutsches-schulportal.de/ (10.9.2024)
 38. Kerres, M. et al. (Hg.) (2022): Interaktive, adaptive und künstlich-intelligente Lernprogramme: Potenziale für das digitale Lernen ausloten. In: de Witt, C. et al. (Hg.): Künstliche Intelligenz in der Bildung. Wiesbaden, S. 109–131
 39. e-Learning Journal (2022): Immersives Lernen – Trend oder Hype? 1.12.2022, www.elearning-journal.com/ (10.10.2024)
 40. Mystakidis, S.; Lympouridis, V. (2023): Immersive Learning. In: Encyclopedia 3(2), S. 396–405, DOI: [10.3390/encyclopedia3020026](https://doi.org/10.3390/encyclopedia3020026)

41. Schweiger, M. et al. (2022): Lernerfolg in der Schule durch Augmented und Virtual Reality? Eine quantitative Synopse von Wirkungsstudien zum Einsatz virtueller Realitäten in Grund- und weiterführenden Schulen. In: MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung 47, S. 1–25, DOI: [10.21240/mpaed/47/2022.04.01.X](https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.01.X)
42. Schmidt, S. (2024): Lernen wird zum Erlebnis: XR in Bildung und Ausbildung. In: Mehrwerte durch immersive Technologien. Anwendungsszenarien für XR-Technologien in Wirtschaft und Gesellschaft. Berlin, S. 13–18
43. Schäfer, C. et al. (2023): Virtual Reality in der Schule: Bedenken und Potenziale aus Sicht der Akteur:innen in interdisziplinären Ratingkonferenzen. In: MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung 51, S. 1–24, DOI: [10.21240/mpaed/51/2023.01.10.X](https://doi.org/10.21240/mpaed/51/2023.01.10.X)

Wettlauf um technologische Vorherrschaft und Innovationskraft

Vor dem Hintergrund zunehmender geopolitischer Spannungen verschärft sich der internationale Wettbewerb um technologische Vorherrschaft im Bereich Wissenschaft und Forschung. Alle wichtigen Industrieländer investieren verstärkt in Schlüsseltechnologien (z.B. Höchstleistungsrecheninfrastruktur, multimodale KI-Modelle, Quantencomputing). Die Gefahr, dass einige Regierungen und nichtstaatliche Akteure versuchen, Forschungsprojekte für militärische und wirtschaftliche Zwecke zu missbrauchen, nimmt zu. Insgesamt ist im Forschungsbereich eine wachsende Rivalität der EU mit den USA sowie auch China zu beobachten, das sich zunehmend zu einer „scientific superpower“ entwickelt.

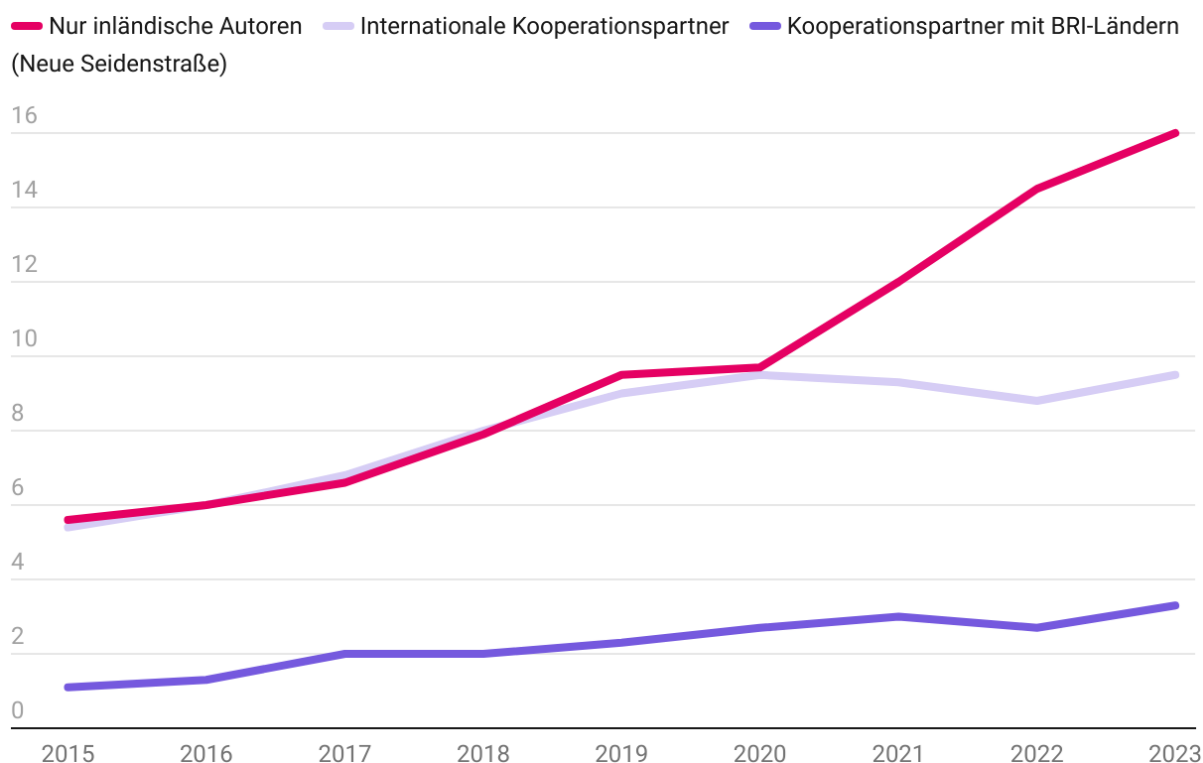
Die [geopolitischen Spannungen der letzten Jahre](#) haben zu einer Intensivierung der innereuropäischen [Forschungskooperationen](#) geführt, insbesondere in Schlüsselbereichen und bei großen Forschungsinfrastrukturprojekten. Seit 2020 gehört die Stärkung der technologischen und digitalen Souveränität zu einem Schwerpunkt der europäischen FuE-Politik. Investitionen in [Schlüsseltechnologien](#) nehmen zu, wobei die Schwächen der EU insbesondere in der angewandten Forschung und bei Querschnittstechnologien (KI, Internet of Things, Blockchain, Quantum-Computing) sowie bei der Kommerzialisierung von Schlüsseltechnologien zum Teil bestehen bleiben [\[1\]](#). Deutschland unterstützt den europäischen Ansatz, Synergien in strategischen

Schlüsselbereichen innerhalb der EU zu nutzen [2]. Zudem wird daran gearbeitet, eine international wettbewerbsfähigere **Höchstleistungsrecheninfrastruktur** bereitzustellen und die Erforschung und Entwicklung eines signifikanten Anteils großer multimodaler KI-Modelle in Deutschland und Europa zu ermöglichen [3].

Die Intensivierung der innereuropäischen Forschungskooperationen ist unter anderem auf das Einfrieren der Forschungskooperationen mit Russland seitens der EU und Deutschlands sowie auf die zunehmende Rivalität der EU mit China zurückzuführen [2][4]. China entwickelt sich rasch zu einer immer bedeutenderen **Wissenschaftsmacht**. Das Land investiert derzeit massiv in Großforschungseinrichtungen [5], beispielsweise in den Bereichen KI, Quantum-Computing, Biotechnologien und Advanced Materials [6]. China ist inzwischen weltweit führend in der Forschung zu KI-Anwendungen mit den meisten Forschungspublikationen in diesem Bereich. Die **internationalen Forschungskooperationen** Chinas verschieben sich von westlichen Ländern hin zu Afrika und Asien. So ist die Zahl der Publikationen in den Naturwissenschaften, an denen China und mindestens ein BRI-Land beteiligt sind, zwischen 2015 und 2023 um 132 % gestiegen – solche Publikationen machten 2023 28% aller chinesischen internationale Kooperationen aus, gegenüber 22% im Jahr 2015 [5] ([Datengrafik](#)). Ein weiterer Treiber für die Intensivierung innereuropäischer Forschungskooperationen dürfte die zweite Präsidentschaft von Donald Trump in den USA werden [7], die sich auf die Forschungslandschaft in den USA bereits massiv ausgewirkt hat. Infolge der massiven Kürzungen der Forschungsmittel erwägen viele US-amerikanische Forschende eine Abwanderung, während die EU versucht, den Forschungsstandort attraktiver zu machen [8], beispielsweise mit der „Choose Europe for Science“ Initiative [9].

Strategische Partnerschaften Chinas*

China setzt in der Forschung zunehmend auf Partnerschaften mit Ländern der Belt and Road Initiative (BRI). Dies zeigt sich in den Autorendaten des Nature Index. Diese zeigen, dass Chinas kollaborative Artikel mit BRI-Ländern in den Naturwissenschaften zwischen 2015 und 2023* um 132 % zunahm; die Zahl der internationalen kollaborativen Artikel stieg insgesamt um 83 %.



* Die Daten für 2023 beziehen sich auf den Zeitraum August 2022 bis Juli 2023.

Source: Nature Index, zugegriffen am 12. Juni 2025 • Created with Datawrapper

Vor dem Hintergrund geopolitischer Spannungen versuchen einige Regierungen und nichtstaatliche Akteure zunehmend, Forschungsvorhaben in unlauterer Weise für ihre eigenen Interessen auszunutzen und zu verzerren. Um diesen wachsenden Risiken entgegenzuwirken, haben einzelne Forschungseinrichtungen, aber auch öffentliche Akteure wie die Hochschulrektorenkonferenz oder wissenschaftliche Vereinigungen wie die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina und die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG Standards, Leitlinien und Angebote entwickelt, um Wissenschaftler/innen bei der systematischen Bewertung von [Risiken ausländischer Einflussnahme](#) im Rahmen internationaler Kooperationen zu unterstützen [10]. Auch das Bundesministerium für Bildung und Forschung setzt sich mit Maßnahmen zur Stärkung der Forschungssicherheit auseinander [11].

Um die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu stärken, wird dem [Transfer](#) von Forschungserkenntnissen in die Anwendung zunehmend Bedeutung beigemessen. Entrepreneurship-Messungen

zeigen, dass Deutschland trotz hoher FuE-Investitionen eine vergleichsweise niedrige Gründungsquote aufweist. Dies gilt auch für die EU insgesamt: Im November 2023 überstieg die Zahl der Unicorns – junger Unternehmen mit einem Wert von mindestens 1 Mrd. US-Dollar – in den USA und China die Zahl dieser Unternehmen in der EU um den Faktor 8 bzw. 3 [\[1\]](#). Obwohl Deutschland im Jahr 2020 europaweit die meisten Unicorns aufwies, ist die **Verfügbarkeit von Wagniskapital** hierzulande auf einem besonders niedrigen Niveau [\[12\]](#). Dies wird darauf zurückgeführt, dass das deutsche Wissenschaftssystem nicht darauf ausgelegt ist, Sprunginnovationen hervorzubringen [\[13\]](#). Dagegen gibt es in Deutschland ungewöhnlich viele industrielle „Hidden Champions“, die vorrangig auf inkrementelle Innovationen setzen [\[12\]](#). Um die Lücken zu schließen, werden in Deutschland **neue Formen der Innovationsförderung** entwickelt bzw. aufgebaut. Dazu zählen insbesondere die Gründung der Bundesagentur für Sprunginnovation SPRIND, deren Entscheidungskompetenzen zuletzt 2023 per Gesetz gestärkt wurden, sowie die Deutsche Agentur für Transfer und Innovation (DATI), die sich aktuell im Aufbau befindet [\[14\]](#).

Referenzen

1. EU (2024): Science, Research and Innovation performance of the EU 2024. A competitive Europe for a sustainable future. www.research-and-innovation.ec.europa.eu/ (5.7.2024)
2. BMBF (2024): Weltweite Herausforderungen, gemeinsame Lösungen. Bericht der Bundesregierung zur internationalen Kooperation in Bildung, Wissenschaft und Forschung 2021–2022. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin
3. BMBF (2023): BMBF-Aktionsplan Künstliche Intelligenz – Neue Herausforderungen chancenorientiert angehen. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin
4. OECD (2023): Very Large Infrastructures. Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers 153, Paris
5. Plackett, B. (2024): Chinese research collaborations shift to the Belt and Road. In: Nature 630(8015), S. S10–S11, DOI: 10.1038/d41586-024-01598-0. Die Belt and Road Initiative (BRI) ist ein umfassendes Infrastrukturprojekt, das von China initiiert wurde, um die Konnektivität und den Handel zwischen Asien, Europa und Afrika zu verbessern. Sie zielt darauf ab, durch den Bau von Straßen, Schienenwegen, Häfen und anderen Infrastrukturen die wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung in den beteiligten Ländern zu fördern.

6. Qingli, H. et al. (2024): Thoughts on fostering industries of the future based on innovation infrastructure clusters. In: Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version): 39(7), Article 28, DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240507002
7. Jones, N. et al. (2025): What Trump 2.0 means for science: the likely winners and losers. In: Nature 637(8046), S. 532–535, DOI: 10.1038/d41586-025-00052-z
8. Nature (2025): A brain drain would impoverish the United States and diminish world science. In: Nature 640(8057), S. 8–8, DOI: 10.1038/d41586-025-00992-6
9. Europäische Kommission (2025): Europa als Magnet für Forschende: Kommissionspräsidentin von der Leyen stellt „Choose Europe for Science“ vor. www.germany.representation.ec.europa.eu/ (6.5.2025)
10. OECD (2022): Integrity and security in the global research ecosystem. Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers 130, Paris
11. BMBF (2024): Positionspapier Forschungssicherheit. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin
12. Audretsch, D. B. (2024): Unternehmertum in den USA und Deutschland: Die Verheißungen der Innovation. In: ifo Schnelldienst 77(4)
13. Bertelsmann Stiftung (2021): Gesellschaftliche Herausforderungen durch Sprunginnovationen bewältigen. www.bertelsmann-stiftung.de/ (16.10.2024)
14. BMBF (2024): Bundesbericht Forschung und Innovation 2024. Forschungs- und innovationspolitische Ziele und Maßnahmen. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin

Digitalisierung der Forschungswelten

Die wissenschaftliche Praxis hat seit der Corona-Pandemie einen deutlichen Digitalisierungsschub erfahren. Größe und Komplexität von Datensätzen steigen in vielen Forschungsbereichen rasant und ihre Nutzung macht den Ausbau leistungsfähiger Speicher und Rechnerlösungen sowie effizienter Datenmanagementsysteme erforderlich. Zur Analyse der Forschungsdaten werden vermehrt KI-Anwendungen eingesetzt.

Die Digitalisierung schreitet in allen wissenschaftlichen Bereichen mit zunehmender Geschwindigkeit voran [1]. Insbesondere die Corona-Pandemie hat zu einer stärkeren Digitalisierung wissenschaftlicher Praktiken geführt [2] und das kollaborative Arbeiten sowie den Zugang zu Forschungsdaten und -ergebnissen sowie deren Nutzung erleichtert [2]. Bei der Einrichtung europaweiter IKT-Infrastrukturen zur

Unterstützung der Forschung in verschiedenen Disziplinen wurden erhebliche Fortschritte erzielt [1]. Außerdem werden **kollaborative Plattformen** für die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien entwickelt. Dabei handelt es sich um organisatorische Strukturen, die der gemeinsamen Nutzung von Ressourcen und Wissen dienen und in der Regel auf digitalen Anwendungen basieren. Ein Beispiel hierfür sind die sogenannten „Biofoundries“ [3]. Sie bieten eine integrierte Infrastruktur für die rasche Entwicklung, Konstruktion und Erprobung genetisch umprogrammierter Organismen für biotechnologische Anwendungen und Forschungszwecke [4].

Falschinformationen verbreiten sich im Internet schneller denn je. Dies betrifft nicht nur falsche Darstellungen in sozialen Medien, sondern auch wissenschaftliche Ergebnisse, die fragwürdig oder gar falsch sind. Um wissenschaftliche Fehlinformationen oder auch nur einfach inzwischen revidierte Ergebnisse schneller zu identifizieren und ihre Sichtbarkeit zu reduzieren, werden **digitale Tools** entwickelt. Sie erlauben es Wissenschaftler/innen z.B. schneller zu erkennen, ob ein wissenschaftlicher Artikel von anderen Wissenschaftler/innen besonders stark kritisiert wurde. Andere Tools versenden eine Warnung, wenn eine zitierte Publikation zurückgezogen wurde [5]. Außerdem ermöglichen Fortschritte beim maschinellen Lernen eine immer **bessere Erkennung missbräuchlicher Verweise** auf wissenschaftliche Erkenntnisse oder pseudowissenschaftlicher Theorien im Internet [6][7]. Aufgrund mangelnder Zuverlässigkeit und potenzieller Verzerrungen bei der Bewertung von Nachrichten können solche Systeme allerdings nicht eigenständig bzw. ohne menschliche Intervention bei der Inhaltsmoderation eingesetzt werden [8][9]. Zudem setzen die effektivsten Interventionen bei der Bekämpfung von Desinformation die Kooperationen von Plattformbetreibern voraus [10]. Viele von ihnen haben sich jedoch von ihrer Selbstverpflichtung zum Fact-Checking verabschiedet [11].

Größe, Auflösung und Nutzung von Datensätzen nehmen in der Forschung rasant zu [1]. Virtuelle Darstellungen von physischen Objekten, Prozessen und Systemen, die Daten aus der realen Welt verwenden, um Simulationen durchzuführen (von Körperorganen, Teleskopen bis hin zum Planeten Erde), werden zunehmend in wissenschaftlichen Bereichen eingesetzt [1][12]. Zudem werden in vielen Forschungsbereichen **digitale Zwillinge von Forschungsinfrastrukturen** entwickelt. Die EU-Kommission hat sich zum Ziel gesetzt, Daten stärker als strategische Ressourcen für Wissenschaft und Politik zu nutzen [13]. In Deutschland wird eine

ationale Forschungsdateninfrastruktur aufgebaut, es werden Schulungsangebote für Forschende sowie Standards für den Umgang mit Forschungsdaten entwickelt [\[14\]](#) und Data-Science-Programme an Hochschulen etabliert [\[15\]](#).

Große Datenmengen werden zunehmend mit **Künstlicher Intelligenz** (KI) ausgewertet [\[16\]](#), vor allem in MINT-Bereichen wie Medizin, Materialwissenschaft, Robotik, Genetik und Informatik [\[17\]](#). KI dient beispielsweise der beschleunigten Entwicklung neuer Proteine, Medikamente und Materialien [\[18\]](#) (**autonome Labore**). **Generative KI** ist dabei von immer größerer Bedeutung [\[19\]](#). Sie wird für den Entwurf und die automatische Durchführung von Experimenten sowie für die Erkennung von Mustern in großen Datensätzen eingesetzt und kommt als Hilfsmittel bei der Entwicklung wissenschaftlicher Software und bei der Textproduktion zum Einsatz [\[20\]](#). Auch wissenschaftliche Literaturdatenbanken bieten zunehmend Funktionalitäten an, die es erleichtern, den Stand des wissenschaftlichen Diskurses zu erfassen und aufkommende Forschungsthemen zu identifizieren [\[21\]](#). Aktuell fehlt es Forschenden allerdings vielfach an ausreichenden Rechenkapazitäten, um Forschung mit KI zu betreiben [\[22\]](#). Zudem stellt die **Dominanz US-amerikanischer Lösungen**, die europäischen Datenschutzerfordernisse vielfach nicht genügen, ein Hindernis für die Erschließung der Potenziale sowohl für Verwaltungsprozesse als auch für die Forschung selbst dar.

Im Zuge der Digitalisierung haben **IT-Sicherheitsvorfälle** an Universitäten und Hochschulen in den letzten Jahren zugenommen, sodass der Aufbau von IT-Sicherheitsinfrastrukturen und von Maßnahmen zum **Datenschutz** immer bedeutender wird. Dazu gehören die Planung und Feststellung von Schutzbedarfen, die Entwicklung von Sicherheitsrichtlinien und ihre Implementierung sowie Schulungsangebote und Sensibilisierungsmaßnahmen [\[23\]](#). Ein weiterer Trend geht in Richtung **Open Science**. Zunehmend werden Datensätze, die von großen Forschungsinfrastrukturen erhoben und bearbeitet werden, auch für Nicht-Expert/innen öffentlich zugänglich gemacht [\[24\]](#). Der offene Zugang zu Forschungsdaten wird seit einigen Jahren gefördert und hat sich seit dem Beginn der COVID-19-Pandemie verstärkt. Parallel dazu wird die Möglichkeit erforscht, mit synthetischen Daten zu arbeiten, d.h. mit künstlich generierten Daten, die reale Daten imitieren [\[25\]](#). Die Anzahl der Nutzer/innen von digitalen Preprint-Sharing-Plattformen, auf denen Forschende ihre Manuskripte vor der formellen Begutachtung und Veröffentlichung teilen können, ist seit Beginn der Pandemie gestiegen [\[26\]](#). Sie erlauben es

Wissenschaftler/innen, schneller Feedback zu erhalten und beschleunigen den wissenschaftlichen Prozess. Die Umsetzung von **Open Access** – der kostenfreien Bereitstellung von wissenschaftlichen Publikationen und Forschungsergebnissen – ist in den Bundesländern unterschiedlich weit fortgeschritten [27]. Eine vollständige Transformation hin zu Open Access steht noch aus [28].

Alle diese Trends führen zu einem **wachsenden Bedarf an Rechenkapazität und damit auch an Energie**, z.B. aufgrund von Simulations- und Modellierungsanforderungen. Parallel dazu schreitet die Europäisierung der E-Forschungsinfrastruktur (Ausbau von Daten- und Rechendiensten, der Höchstleistungsrecheninfrastruktur und des Datenraums) voran. Auch in Deutschland wird die Recheninfrastruktur ausgebaut [29]. Dadurch steigt die **Nachfrage nach spezieller Hardware** (GPUs, Graphics Processing Units), bei der es jedoch bereits zu Engpässen gekommen ist [30].

Aufkommende technologische Entwicklungen

Autonome Labore

Self-Driving Labs (SDL) sind vollständig automatisierte Labore, die KI, maschinelles Lernen und Robotik nutzen, um wissenschaftliche Experimente eigenständig zu planen, durchzuführen und auszuwerten. So können Versuchsreihen extrem beschleunigt werden [31]. Insbesondere für die Entwicklung von Materialien sind SDLs vielversprechend. Forscher/innen in den Chemie-, Material- und Biowissenschaften kombinieren Laborautomatisierung mit künstlicher Intelligenz, um neue Systeme zu schaffen, die alle physikalischen und intellektuellen Schritte der wissenschaftlichen Methode ausführen können [32]. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Knappheit kritischer Rohstoffe könnte dies insbesondere bei der Entwicklung neuer Materialien für die Energiewende besonders relevant werden. Neue Werkstoffe mit neuen Eigenschaften sind die Grundlage vieler aufkommender Technologien. Geeignete Werkstoffe zu finden und herzustellen, ist zeitaufwändig, in Teilen zufallsabhängig und technisch anspruchsvoll. Solche Prozesse zu automatisieren, zu beschleunigen und geeignete Parameterkombinationen mit KI-Techniken zu ermitteln, zu synthetisieren und zu testen, ist das Ziel von ‚AI-assisted self-driving labs‘ (SDL). Die hohen Kosten für präzise Feststoffdosierungs- und Roboterarme, die die erforderliche Präzision, Reproduzierbarkeit, Mobilität und Geschwindigkeit aufweisen, verhindern bislang die breite Anwendung von SDL [33]. Außerdem sind Daten nicht immer verfügbar,

es fehlt an geeigneter Software und interoperablen Instrumenten. Daher gibt es bisher erst wenige vollständig automatisierte Labore [\[31\]](#).

Datenschutzkonforme generative KI

Seit der Veröffentlichung von ChatGPT im November 2022 wird die Nutzung generativer Künstlicher Intelligenz (gKI) in der Wissenschaft intensiv diskutiert und erprobt. KI-Modelle gelten als Chance und Herausforderung für das Forschungssystem, weil sie nicht nur neue methodische Möglichkeiten eröffnen, sondern auch tiefgreifende strukturelle Veränderungen in der Wissenschaft anstoßen. In vielen Forschungseinrichtungen besteht keine einheitliche Lösung für den Zugang zu gKI-Software. Die meisten Hochschulen improvisieren aktuell noch, z.B. mit Schulungen, in denen auf kostenfreie Angebote hingewiesen wird, wobei die Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit nicht immer gegeben sind. Einzelne Forschungsgesellschaften oder -einrichtungen stellen rechtskonforme ChatBot-Lösungen zur Verfügung, die aus Kooperationen mit kommerziellen Anbietern entstanden sind [\[34\]](#) [\[35\]](#). Teilweise werden Lizenzen aber auch für einzelne Projekte bzw. Mitarbeiter/innen beschafft. Lösungen über kommerzielle Anbieter schaffen jedoch [Abhängigkeiten](#) und verursachen hohe Kosten. Außerdem sind nicht alle Nutzungen datenschutzkonform möglich. Der Zugang zu den besonders teuren und leistungsfähigen Modellen ist aus Kostengründen häufig eingeschränkt. Zunehmend wird aber auch die Möglichkeit diskutiert, nicht-kommerzielle Open-Source-basierte Lösungen für Hochschulen zu entwickeln. Die Sprachmodelle für die Textproduktion müssen nicht notwendigerweise selbst aus deutscher Entwicklung stammen, vielmehr können offene Sprachmodelle internationaler Anbieter in den Forschungseinrichtungen lokal abgelegt und von den Hochschulen selbst nachtrainiert werden. Solche Lösungen erfordern allerdings spezielle technische Kompetenzen und umfangreiche lokale Rechenkapazitäten. Sie sind für die einzelnen Wissenschaftler/innen nicht schnell verfügbar und/oder nicht in der Qualität kommerzieller Lösungen [\[36\]](#). Für Europa besteht die Chance, eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung datenschutzkonformer und transparenter KI-Systeme einzunehmen, die eine Verknüpfung von Datenquellen und deren datenschutzkonforme Analyse ermöglichen.

Fußnoten

1. ESFRI (2024): Landscape Analysis 2024. European Strategy Forum on Research Infrastructures, www.landscape2024.esfri.eu/ (12.7.2024)
2. OECD (2023): COVID-19, resilience and the interface between science, policy and society. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers 155, Paris, DOI: [10.1787/9ab1fbb7-en](https://doi.org/10.1787/9ab1fbb7-en)
3. OECD (2021): Collaborative platforms for emerging technology. Creating convergence spaces. Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers 109, DOI: [10.1787/ed1e030d-en](https://doi.org/10.1787/ed1e030d-en)
4. Hillson, N. et al. (2019): Building a global alliance of biofoundries. In: Nature Communications 10(1), S. 2040, DOI: [10.1038/s41467-019-10079-2](https://doi.org/10.1038/s41467-019-10079-2)
5. Cabanac, G. (2024): Chain retraction: how to stop bad science propagating through the literature. In: Nature 632(8027), S. 977–979, DOI: [10.1038/d41586-024-02747-1](https://doi.org/10.1038/d41586-024-02747-1)
6. Cavus, N. et al. (2024): Real-time fake news detection in online social networks: FANDC Cloud-based system. In: Scientific Reports 14(1), S. 25954, DOI: [10.1038/s41598-024-76102-9](https://doi.org/10.1038/s41598-024-76102-9)
7. Rojas, C. et al. (2024): Hierarchical machine learning models can identify stimuli of climate change misinformation on social media. In: Communications Earth & Environment 5(1), S. 1–8, DOI: [10.1038/s43247-024-01573-7](https://doi.org/10.1038/s43247-024-01573-7)
8. Boukouvalas, Z.; Shafer, A. (2024): Role of Statistics in Detecting Misinformation: A Review of the State of the Art, Open Issues, and Future Research Directions. In: Annual Review of Statistics and Its Application 11(1), S. 27–50, DOI: [10.1146/annurev-statistics-040622-033806](https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-040622-033806)
9. Royal Society (2022): The online environment. www.royalsociety.org/ (22.1.2025)
10. Bak-Coleman, J. B. et al. (2022): Combining interventions to reduce the spread of viral misinformation. In: Nature Human Behaviour 6(10), S. 1372–1380, DOI: [10.1038/s41562-022-01388-6](https://doi.org/10.1038/s41562-022-01388-6)
11. Car, P. (2025): Fact-checking and content moderation. Epthinktank, 19.2.2025, www.epthinktank.eu/ (21.2.2025)
12. The Economist (2024): Digital twins are enabling scientific innovation. 28.8.2024, www.economist.com/ (30.8.2024)
13. Europäische Kommission (2023b): Work Programme 2023-2024. European Commission Joint Research Center, Brüssel
14. Universität Konstanz (2024): Informationen zur NFDI – Nationale Forschungsdateninfrastruktur. www.forschungsdaten.info/ (21.6.2024)
15. Bundesregierung (2022): Ein Jahr Datenstrategie der Bundesregierung. 27.1.2022, www.bundesregierung.de/ (19.6.2024)

16. acatech (2023): Datenschutz für KI nutzen, Datenschutz mit KI wahren. Technische und rechtliche Ansätze für eine datenschutzkonforme, gemeinwohlorientierte Datennutzung (Whitepaper). acatech, www.acatech.de/ (12.6.2024)
17. Royal Society (2024): Science in the Age of AI. How artificial intelligence is changing the nature and method of scientific research. London
18. The Economist (2023): How scientists are using artificial intelligence. 13.9.2023, www.economist.com/ (10.7.2024)
19. EFI (2024): Gutachten zu Forschung, Innovation und Technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2024. Expertenkommission Forschung und Innovation, Berlin
20. Albrecht, S. (2024): ChatGPT als doppelte Herausforderung für die Wissenschaft: Eine Reflexion aus der Perspektive der Technikfolgenabschätzung. In: Schreiber, G.; Ohly, L. (Hg.): KI:Text. S. 13–28, DOI: [10.1515/9783111351490-003](https://doi.org/10.1515/9783111351490-003)
21. Tyler, C. et al. (2023): AI tools as science policy advisers? The potential and the pitfalls. In: Nature 622(7981), S. 27–30, DOI: [10.1038/d41586-023-02999-3](https://doi.org/10.1038/d41586-023-02999-3)
22. Kudiabor, H. (2024): AI's computing gap: academics lack access to powerful chips needed for research. In: Nature 636(8041), S. 16–17, DOI: [10.1038/d41586-024-03792-6](https://doi.org/10.1038/d41586-024-03792-6)
23. Hof, H.-J. (2024): Digitalisierung in Hochschulen. In: Fend, L.; Hofmann, J. (Hg.): Digitalisierung in Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen. Wiesbaden, S. 615–635, DOI: [10.1007/978-3-658-43441-0_27](https://doi.org/10.1007/978-3-658-43441-0_27)
24. OECD (2023): Very Large Infrastructures. Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers 153, Paris
25. Kompetenzzentrum Öffentliche IT (2024): Synthetische Daten – Künstliche Daten für die digitale Zukunft? www.oeffentliche-it.de/ (16.10.2024)
26. OECD (2023): OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris
27. Open Access Network (2024): Open Access Positionen der Politik. 1.10.2024, www.open-access.network/ (16.10.2024)
28. Bärwolff, T. et al. (2023): Open4DE Landscape Report. Open Research Office Berlin, DOI: <https://doi.org/10.21428/986c5d43.bab38f02>
29. BMBF (2024a): Bundesbericht Forschung und Innovation 2024. Forschungs- und innovationspolitische Ziele und Maßnahmen. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin

30. EPRS (2024): What if Europe championed new AI hardware? European Parliamentary Research Service, Scientific Foresight Unit, At a Glance. What if?, Brüssel
31. ITA (2024): Self-Driving Labs (Autor: Fabian Fischer). Institut für Technikfolgen-Abschätzung der österreichischen Akademie der Wissenschaften, Monitoring-Bericht für das österreichische Parlament, Wien
32. Tobias, A. V.; Wahab, A (2025): Autonomous 'self-driving' laboratories: a review of technology and policy implication. In: Royal Society Open Science 12(7), DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.250646>
33. Abolhasani, M.; Kumacheva, E. (2023): The rise of self-driving labs in chemical and materials sciences. In: Nature Synthesis 2(6), S. 483–492, DOI: [10.1038/s44160-022-00231-0](https://doi.org/10.1038/s44160-022-00231-0)
34. Fraunhofer-Gesellschaft (2025): FhGenie: Fraunhofer-Gesellschaft nutzt internen KI-Chatbot. www.fraunhofer.de/ (25.3.2025)
35. KIT (2025): Microsoft Copilot. Zentrum für Mediales Lernen. 19.3.2025, www.zml.kit.edu/ (25.3.2025)
36. Salden, P. et al. (2024): Die Bereitstellung generativer KI in Hochschulen. Hochschulforum Digitalisierung, 28.2.2024, www.hochschulforumdigitalisierung.de/ (25.3.2025)

Systemische Risiken und ihre Auswirkungen auf das Infrastruktursystem Bildung und Forschung

Das Bildungs- und Forschungssystem wird in Deutschland bisher offiziell nicht als kritisches Infrastruktursystem eingestuft. Die COVID-19-Pandemie verdeutlichte jedoch die Kritikalität insbesondere des Bildungswesens in einer Krisensituation und die hohe Bedeutung des Systems für die Gesellschaft. Schulschließungen und der Umstieg auf digitale Lernumgebungen führten zu weitreichenden Kaskadeneffekten, insbesondere für Familien, die Erwerbs- und Sorgearbeit neu organisieren mussten. Dies zeigt, wie systemische Risiken die Funktionsfähigkeit und Stabilität von Bildung und Forschung grundlegend beeinträchtigen können. Langfristige Funktions- und Stabilitätsbeeinträchtigungen des Bildungs- und Forschungswesens können zudem den Wirtschafts- und Technologiestandort Deutschland im internationalen Vergleich schwächen, den gesellschaftlichen Wohlstand gefährden und politische Instabilität begünstigen.

[Systemische Risiken](#) bezeichnen komplexe Gefahren oder Bedrohungen, die nicht nur auf bestimmte Einzelteile eines Infrastruktursystems wirken, sondern das gesamte System betreffen. Zudem gefährden sie unterschiedliche Infrastruktursysteme oftmals gleichzeitig, da multikausale Wechselwirkungen und Kaskadeneffekte auftreten.

Auf den folgenden Seiten behandeln wir aus der Perspektive der systemischen Risiken die folgenden Fragen: Wie ist der gegenwärtige Stand der Gefährdungslagen für das Infrastruktursystem Bildung und Forschung mit Bezug auf alle relevanten systemischen Risiken? Welche Bereiche des Systembilds sind besonders betroffen und wie robust ist das Infrastruktursystem? Welche systemischen Risiken entwickeln sich besonders dynamisch und mit welchen Folgen für das Infrastruktursystem? Welche Risiken bergen Pfadabhängigkeiten bei der Transformation des Bildungs- und Forschungssystems?

Status quo der Gefährdungslagen

Das Infrastruktursystem Bildung und Forschung ist durch verschiedene systemische Risiken gefährdet, die die einzelnen Systembereiche unterschiedlich stark betreffen. Die aktuelle Gefährdung des Infrastruktursystems durch die meisten systemische Risiken ist – auf Grundlage der ausgewerteten Quellen sowie der Ergebnisse der durchgeführten Fachgespräche – insgesamt als mittel einzustufen. Die Funktionsfähigkeit und die Stabilität des Infrastruktursystems werden derzeit vor allem durch Versorgungsengpässe im Personalbereich, Epidemien und Pandemien, gesellschaftliche Polarisierung sowie Technikversagen und eingeschränkte Technikbeherrschbarkeit gefährdet. Um diesen Risiken und ihren Folgen zu begegnen, ist die Robustheit des Infrastruktursystems, d. h. der Grad der Vorbereitung und Widerstandsfähigkeit im Falle des Eintretens der Risiken, entscheidend. Die [Gesamtrobustheit](#) des gegenwärtigen Infrastruktursystems Bildung und Forschung wird in der Befragung im Rahmen des Resilienz-Radars derzeit als mittel bis eher hoch eingeschätzt. Es gibt jedoch Unterschiede zwischen den einzelnen Risiken. Aufkommende Störereignisse und Krisen müssen frühzeitig erkannt und die vorhandenen Erkenntnisse zur Entwicklung innovativer Maßnahmen und zur Steigerung der Resilienz genutzt werden.

Die Gefährdungslage durch [Versorgungsengpässe im Personalbereich](#) ist für das Infrastruktursystem insgesamt als mittel einzustufen, allerdings ist der Bildungsbereich besonders stark betroffen. Laut einer repräsentativen Forsa-Umfrage für den Verband Bildung und Erziehung (VBE) konnte 2023 jede zweite Schule mindestens eine Stelle nicht besetzen, 17 % hatten drei oder mehr Stellen unbesetzt [1]. Laut Prognosen der Kultusministerkonferenz ist bis 2026 mit einer akuten Unterdeckung des Lehrkräftebedarfs zu rechnen, ab 2027 wird jedoch eine geringe Entspannung der Lage erwartet [2]. Die Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK) bezeichnet die aktuelle Situation dennoch als dramatisch: Der Mangel an qualifiziertem Personal gefährde die Sicherstellung der Unterrichtsversorgung und mindere die Unterrichtsqualität [3]. Angesichts alarmierender Ergebnisse zur Kompetenzentwicklung der Schüler/innen, etwa im IQB-Bildungstrend, verschärft sich die Problematik weiter [3]. Besonders fehlen Lehrkräfte in den MINT-Fächern [4]. Für Schulleitungen, Lehrkräfte und Schulpersonal verschlechtern sich aufgrund des Personalmangels die Arbeitsbedingungen und die gesundheitliche Belastung steigt [5]. Zu den Notmaßnahmen zählt die Beschäftigung von Quereinsteiger/innen,

ohne die die Personalsituation vieler Bundesländer noch prekärer wäre. Laut einer aktuellen Umfrage unterrichten mittlerweile an zwei von drei Schulen Personen ohne reguläre Lehramtsausbildung [1]. Auch wissenschaftliche Einrichtungen haben Schwierigkeiten, qualifiziertes Personal – insbesondere im IT-Bereich – zu gewinnen. Laut der Allianz der Wissenschaftsorganisationen bleibt die Personalgewinnung aufgrund des zunehmenden Fachkräftemangels und der Konkurrenz mit der Privatwirtschaft langfristig herausfordernd (www.allianzschwerpunkt-digitalitaet.de).

Epidemien und Pandemien stellen ein systemisches Risiko mit aktuell mittlerer bis potenziell eher hoher Gefährdungslage für das Bildungs- und Forschungssystem dar. Das systemische Risiko kann im Ernstfall alle Bereiche des Infrastruktursystems gefährden. Bildungseinrichtungen sind besonders anfällig, da sie als Orte mit hoher Personendichte ein erhöhtes Infektionsrisiko für Lehrende und Lernende mit sich bringen [6]. Die Auswirkungen einer eingeschränkten Systemfunktionalität kann ihre Entwicklung erheblich beeinflussen. Schulschließungen und fehlende Kontakte zu Gleichaltrigen führten während der COVID-19-Pandemie zu starken psychosozialen Belastungen von Kindern und Jugendlichen. Ängste, depressive Symptome, Essstörungen und Übergewicht durch Bewegungsmangel nahmen zu und wirken bis heute nach [7]. Auch Lehrende an Schulen und Hochschulen waren stark betroffen, da sie die Lehr- und Lerneinheiten von Präsenz- auf Digital- bzw. Hybridunterricht umstellen mussten – mit sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Besonders Schulen waren aufgrund zum Teil defizitärer technischer Ausstattung und fehlender digitaler Lehr- und Lernkonzepte unzureichend vorbereitet. Die Umstellung auf digitalen Unterricht verstärkte zudem die unzureichende Chancengleichheit im deutschen Bildungssystem: Sozial benachteiligte Kinder verfügen bspw. zu Hause seltener über einen Computer oder stabile Internetverbindungen und waren demzufolge häufiger vom Homeschooling ausgeschlossen [8].

Epidemien und Pandemien gefährden nicht nur die Stabilität und Funktionsfähigkeit des Bildungsbereichs, sondern auch die der Forschung. Während der COVID-19-Pandemie erschwerten pandemiebedingte Beschränkungen den Aufbau neuer Netzwerke und Kooperationen erheblich. Auch die praktische Forschung war betroffen: Labore blieben geschlossen, Feldstudien wurden erschwert und die Arbeit mit Proband/innen war nur unter strengen Auflagen möglich [9]. Gleichzeitig führte die COVID-19-Pandemie zu einem Digitalisierungsschub, der die Arbeitsprozesse grundlegend veränderte.

Es ist daher anzunehmen, dass das Forschungssystem zukünftige Pandemien besser bewältigen kann [9].

Die Gefährdungslage durch **gesellschaftliche Polarisierung** ist derzeit als mittel einzustufen, zeigt jedoch eine zunehmende Entwicklung und kann alle Bereiche des Infrastruktursystems Bildung und Forschung betreffen. Dieses Risiko wird durch die steigenden Bildungsanforderungen des Arbeitsmarktes weiter verschärft (s. Trendteil). Der familiäre Hintergrund hat nach wie vor einen starken Einfluss auf die Bildungsergebnisse [10]. Studien zeigen, dass Bildungsungleichheiten in Deutschland vor allem in sozioökonomisch benachteiligten Gruppen nur geringfügig abgebaut werden und soziale Aufstiege weiterhin kaum möglich sind [11], [12]. Auch der Zugang zu Gymnasien und Universitäten hängt in Deutschland in großem Maße vom Bildungs- und Einkommenshintergrund der Eltern ab [13]. Die Anzahl der Jugendlichen ohne Schulabschluss nimmt in Deutschland seit 2013 wieder zu.

Die zunehmende gesellschaftliche Polarisierung macht sich auch im Alltag von Bildungs- und Forschungseinrichtungen bemerkbar. Dort treffen konträre Positionen zu zentralen gesellschaftlichen Themen wie Klimawandel, Zuwanderung und geopolitischen Konflikten direkt aufeinander. Dies beeinflusst Debatten sowie das gemeinsame Lernen und Forschen. So sind Universitäten häufig Schauplätze gesellschaftlicher Konflikte, die sich durch Demonstrationen, Protestaktionen oder vereinzelte Übergriffe manifestieren. Diese Aktionen werden häufig von ideologisch geprägten Gruppen an Universitäten getragen [14]. Dadurch wird die gesellschaftliche Funktion von Universitäten als Orte des offenen Diskurses eingeschränkt, wodurch wiederum der Polarisierung Vorschub geleistet wird [15].

Die Gefährdungslage durch das systemische Risiko **Technikversagen und eingeschränkte Technikbeherrschbarkeit** wird derzeit für alle Bereiche des Infrastruktursystems als mittel eingestuft. Technische Ausfälle können Forschungsprozesse kurzzeitig unterbrechen. Im Bildungsbereich können technische Ausfälle die Bildungsprozesse erheblich stören – sei es durch Unterrichtsausfall für alle oder individuelle Probleme ausgelöst durch den Ausfall von WLAN-Verbindungen. Im Bildungsbereich sind besonders der Sekundarbereich, der Tertiärbereich sowie die Fort- und Weiterbildung betroffen, da hier digitale Technologien intensiver genutzt werden. An Schulen liegt die Ursache für Technikversagen vor allem in der noch unzureichenden technischen Infrastruktur [16]. Darüber hinaus besteht eine

eingeschränkte Technikbeherrschbarkeit aufgrund von Defiziten in der Bildungspraxis, der Aus- und -weiterbildung von Lehrkräften sowie der Bildungspolitik. Besonders mit Blick auf Funktionsweise und Wirkung von Bildungstechnologien (z. B. Lern-Apps) fehlt es den Akteuren noch an grundlegendem Wissen.

Die Gefährdungslage, die von **Machtkonzentrationen** privatwirtschaftlicher Akteure in digitalen Geschäftsfeldern ausgeht – insbesondere bei Technologiekonzernen und Verlagen –, wird derzeit als eher gering für den Bildungsbereich, jedoch als mittel für den Forschungsbereich eingestuft. Die Digitalisierung des Infrastruktursystems führt zu zunehmenden Abhängigkeiten von Betriebssystemen und Softwareprodukten großer Technologiekonzerne. Insbesondere US-amerikanische Unternehmen bauen ihre Marktmacht in der Digitalwirtschaft und im Bereich künstlicher Intelligenz (KI) stetig aus. In der Folge sind die Bildungs- und in noch höherem Maße Forschungseinrichtungen abhängig von IT-Produkten, digitalen Dienstleistungen und Kommunikationsinfrastrukturen außereuropäischer Anbieter. Daraus ergeben sich sicherheitsrelevante Fragen in Bezug auf Datenschutz und Cybersicherheit sowie wettbewerbliche Fragen in Bezug auf Datensammlung und -hoheit [17]. Zudem spielt die Verlagsmacht eine entscheidende Rolle im Wissenschaftsbereich: Der Markt für wissenschaftliche Publikationen wird weitgehend von den drei großen Wissenschaftsverlagen Elsevier, Wiley und Springer dominiert.

Die Gefährdungslage durch **Cyberkriminalität** wird für alle Bereiche des Bildungssystems aktuell noch als eher gering eingeschätzt. Für den Hochschul- und Forschungsbereich gilt sie hingegen aufgrund des hohen Digitalisierungsgrads bereits als mittel. Bildungs- und Forschungseinrichtungen gelten weltweit zu den bevorzugten Zielen von Cyberangriffen [18], [19], da sie eine Vielzahl sensibler Daten speichern und der Zugang zu ihren IT-Systemen oft relativ ungeschützt ist [20]. In Deutschland betreffen Cyberangriffe derzeit meist einzelne Einrichtungen und bedrohen nicht das gesamte System. Ransomware ist eine der Hauptbedrohungen [21], weil gesamte IT-Systeme betroffen sein können und Nutzer/innen nicht mehr auf Daten und Software zugreifen können. 2022 wurden etwa die Universitäten Duisburg-Essen und Leipzig durch Ransomware angegriffen [22], [23], mit weitreichenden Folgen für den Betrieb. Auch der Schulbereich ist zunehmend betroffen, so wurde 2022 bspw. ein Schulamt mit Zuständigkeit für 75 Schulen angegriffen [21], [24].

Die Gefährdungslage, die von **geopolitischen Konflikten** ausgeht, wird für alle Bereiche des Bildungssystems derzeit als eher gering und für die Bereiche des Forschungssystems aufgrund seiner internationalen Vernetzung als mittel eingestuft. Das Bildungssystem ist vor allem durch die Zunahme geflüchteter Menschen in Schulen zunehmend herausgefordert. So wurden zwischen 2022 und 2024 insgesamt 220.000 Kinder und Jugendliche aus der Ukraine in deutsche Schulen und Berufsschulen aufgenommen. Auch die Risiken für internationale Forschungskooperationen nehmen vor dem Hintergrund der aktuellen geopolitischen Spannungen zu. Unerwünschter Know-how-Abfluss und Wissenschaftsspionage stellen ein erhebliches Risiko für die Forschungssicherheit dar. Besonders Chinas Ziel, bis 2049 global führend in Wirtschaft, Wissenschaft und Militär zu werden, erhöht die Gefahr von Spionage [25]. Negative Folgen für das deutsche Forschungssystem können der Verlust von Forschungsinitiativen und finanziellen Ressourcen, Patenten sowie der Abbruch wissenschaftlicher Kooperationen sein [25].

Die Gefährdungslage durch **Desinformation** für das Bildungs- und Forschungssystem wird derzeit als eher gering eingeschätzt. Seit dem Aufkommen generativer KI ist die automatisierte Erstellung von täuschend echten Texten, Bildern und Videos jedoch deutlich einfacher geworden. Desinformation wird gezielt für die politische Einflussnahme genutzt, um die eigene Position zu stärken oder Verunsicherung in der Bevölkerung zu schaffen. Dies erfolgt auch im Zusammenhang mit geopolitischen Konflikten durch ausländische Akteure (www.verfassungsschutz.de). Im Bildungsbereich nutzen Schüler/innen zunehmend soziale Netzwerke, in denen auch falsche Informationen zirkulieren, etwa zum Klimawandel. Laut einer Sonderauswertung der aktuellen PISA-Studie von 2022 fühlt sich lediglich etwa jeder zweite 15-Jährige dazu in der Lage, die Qualität der Informationen fundiert zu beurteilen [26]. Dies steht im Gegensatz zu den Kompetenzen, die benötigt werden, um mit dem breiten Informationsangebot umgehen und sich in einer digitalen Gesellschaft bewegen zu können. Auch das Forschungssystem ist von Desinformation betroffen: Während der COVID-19-Pandemie wurden beispielsweise manipulierte Studienergebnisse verbreitet, was das Vertrauen in wissenschaftliche Erkenntnisse untergrub [27]. Der Anstieg gesundheitsbezogener Falschinformationen hatte direkte Konsequenzen auf die Gesundheitsentscheidungen der Menschen. Der Einsatz von generativen KI-Systemen führt bereits heute zu einer höheren Publikationsrate – problematisch dabei ist die Intransparenz über die Trainingsdaten und die zweifelhafte Faktentreue der Antworten der KI-

Modelle [28][29], was bei fehlender Prüfung das Problem der Desinformation erhöhen könnte.

Die Gefährdung durch die **globale Erwärmung** wird derzeit für das Infrastruktursystem Bildung und Forschung insgesamt als gering eingeschätzt. Auch die damit eng verbundenen **Wetterextreme** gelten im Forschungssystem als geringes Risiko. Für das Bildungssystem hingegen wird die Gefährdungslage als gering bis mittel eingeschätzt. In Deutschland waren Bildungseinrichtungen bereits in besonderer Weise von Wetterextremen betroffen, z. B. während der Elbe-Hochwasser 2002 und 2013 oder während der Flutkatastrophe in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz im Jahr 2021. Das Elbe-Hochwasser 2013 verursachte bspw. Schäden in Höhe von 44 Mio. Euro an der kommunalen Schulinfrastruktur (inkl. Kita), was einen Anteil von 6 % an der Gesamtschadenhöhe ausmachte [30]. Durch die Flutkatastrophe in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz wurden 79 Schulen komplett zerstört. In der Folge konnten Schüler/innen die Schule zeitweise nicht besuchen und die Schäden beliefen sich auf einen dreistelligen Millionenbetrag [6].

Lange Hitzeperioden erhöhen die Temperaturen in Gebäuden und Außenanlagen, was insbesondere für vulnerable Gruppen wie Kinder, ältere Menschen und Menschen mit chronischen Erkrankungen gesundheitliche Risiken birgt [31]. Fehlende bauliche Anpassungen wie Klimaanlage oder Verschattung verstärken dieses Risiko. Laut KfW-Kommunalpanel beläuft sich der Investitionsrückstand bei Schulgebäuden auf 45,6 Mrd. Euro [32]. Dies ist besonders kritisch, da die Ausstattung von Lernräumen den Lernerfolg erheblich beeinflusst und hohe Raumtemperaturen nachweislich die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit der Lernenden mindern [33].

Die Gefährdungslage durch das systemische Risiko eines **Blackouts** wird für das Infrastruktursystem Bildung und Forschung derzeit als gering eingeschätzt. Zwar nehmen Stromausfälle beispielsweise infolge regionaler Wetterextreme zu, doch die Eintrittswahrscheinlichkeit eines flächendeckenden und langandauernden Blackouts in Deutschland wird weiterhin als gering bewertet [34][35]. Im Falle eines solchen Ereignisses wären die Auswirkungen jedoch gravierend. Die Abhängigkeit von einer stabilen Stromversorgung des Bildungs- und Forschungssystems von der Stromversorgung ist in den letzten Jahrzehnten im Zuge der Digitalisierung stark gestiegen. Ein langandauernder Blackout würde sämtliche Bereiche des Infrastruktursystems massiv beeinträchtigen. Im Bildungsbereich käme es zu Schulschließungen, und digitale Lehr-

und Lernangebote könnten nicht mehr genutzt werden [6]. Auch das Forschungssystem wäre stark betroffen, da nahezu alle Prozesse auf funktionierende IT-Systeme angewiesen sind.

Einschätzung der Robustheit: Ergebnisse der Panelbefragung

Die Robustheit des Infrastruktursystems Bildung und Forschung im Status quo gegenüber systemischen Risiken wurde im Rahmen einer Expert/innen-Befragung bewertet. Robustheit beschreibt die Widerstandsfähigkeit eines Systems gegenüber externen Störungen, während die Gefährdungslage den aktuellen Grad der Bedrohung durch ein konkretes Risiko bezeichnet. Im Kontext systemischer Risiken bedeutet dies, dass ein System trotz hoher Gefährdungslage robust sein kann – oder umgekehrt, dass eine geringe Gefährdungslage ein nicht-robustes System trotzdem anfällig machen kann.

Die Gesamtbewertung des Bildungs- und Forschungssystems über alle systemischen Risiken liegt bei einer mittleren bis eher hohen Robustheit. Bei der Bewertung einzelner systemischer Risiken zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede. Über die Hälfte der Expert/innen stuft die Robustheit gegenüber den systemischen Risiken **Blackout** und **Desinformation** als (eher) gering ein. Gegenüber den umweltbezogenen systemischen Risiken **Wetterextreme** und **globale Erwärmung** wird die Robustheit hingegen als (eher) hoch eingeschätzt.

Wie schätzen Sie derzeit den Grad der Robustheit des Infrastruktursystems Bildung und Forschung in Bezug auf die folgenden systemischen Risiken ein?



Ergebnisse der Expert/innenbefragung (n=31)

Source: TAB, Resilienz-Radar 2024/25 · Created with Datawrapper

Referenzen

1. forsa (2023): Die Schule aus Sicht der Schulleiterinnen und Schulleiter. Digitalisierung und digitale Ausstattung. Ergebnisse einer bundesweiten repräsentativen Befragung, Berlin
2. KMK (2024): Lehrkräfteeinstellungsbedarf und -angebot in der Bundesrepublik Deutschland 2024 – 2035. Zusammengefasste Modellrechnungen der Länder. Kultusministerkonferenz, Berlin
3. SWK (2023): Empfehlungen zum Umgang mit dem akuten Lehrkräftemangel. Stellungnahme der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz. Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz, Bonn
4. Klemm, K. (2020): Lehrkräftemangel in den MINT-Fächern: Kein Ende in Sicht. Zur Bedarfs- und Angebotsentwicklung in den allgemeinbildenden Schulen der Sekundarstufen I und II am Beispiel Nordrhein-Westfalens, Essen
5. forsa (2022): Das Deutsche Schulbarometer: Aktuelle Herausforderungen an den Schulen in Deutschland. Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften an allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen im Auftrag der Robert Bosch Stiftung im April 2022, Berlin
6. Karutz, H. et al. (2022): Vulnerabilität und Kritikalität des Bildungswesens in Deutschland. Eine Betrachtung aus Sicht des Bevölkerungsschutzes. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn
7. Bühring, P.; Schulze, A.-K. (2022): Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in der Coronapandemie: Die Schulschließungen waren für die meisten Kinder toxisch. In: Deutsches Ärzteblatt(119), S. 22–23
8. Anger, C.; Plünnecke, A. (2021): Bildungsgerechtigkeit. Herausforderung für das deutsche Bildungssystem. Institut der Deutschen Wirtschaft Köln Medien, Köln
9. DFG (2023): Umgang mit Risiken internationaler Kooperationen. Empfehlungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn
10. OECD (2024): Bildung auf einen Blick 2024. OECD-Indikatoren. Organisation for Economic Co-operation and Development, Berlin, DOI: [10.1787/e7565ada-de](https://doi.org/10.1787/e7565ada-de)
11. Autor:innengruppe Bildungsberichterstattung (2024): Bildung in Deutschland 2024: Ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zu beruflicher Bildung. DOI: [10.3278/6001820iw](https://doi.org/10.3278/6001820iw)
12. Edelstein, B.; Grellmann, S. (2023): Bildung und soziale Ungleichheit – eine Einführung. Bundeszentrale für politische Bildung, 2023, www.bpb.de/themen/bildung (15.6.2025)
13. Wößmann, L. et al. (2023): Der ifo-„Ein Herz für Kinder“-Chancenmonitor. Wie (un-)gerecht sind die Bildungschancen von Kindern aus verschiedenen Familien in Deutschland verteilt? In: ifo Schnelldienst 76(4/2023)

14. Andersen, C. (2024): Antisemitismus an Unis: Zahlen überraschen. ZDF, 15.3.2024, www.zdfheute.de/politik (12.6.2025)
15. Kinzelbach, K. et al. (2024): Academic Freedom Index. Update 2024. <https://doi.org/10.25593/open-fau-405>
16. Robert Bosch Stiftung (2023): Das Deutsche Schulbarometer: Aktuelle Herausforderungen aus Sicht der Lehrkräfte. Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften allgemein- und berufsbildender Schulen, Stuttgart
17. Wissenschaftsrat (2023): Empfehlungen zur Souveränität und Sicherheit der Wissenschaft im digitalen Raum. DOI: [10.57674/M6PK-DT95](https://doi.org/10.57674/M6PK-DT95)
18. Check Point Research (2025): The State of Cyber Security 2025. Check Point Research, o.O.
19. Bund, J. et al. (2025): Cyber Activity Balance 2024: Die Europäische Union im Fokus. Arbeitspapier der Forschungsgruppe EU. Stiftung Wissenschaft und Politik, Berlin
20. Deutscher Bildungsserver (2024): Hackerangriffe auf die Bildung – ein weltweites Problem. www.bildungsserver.de/Hackerangriffe (12.6.2025)
21. BSI (2023): Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2023. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn
22. Mutzbacher, J. (2022): Ransomware: Hackerangriff legt Uni Duisburg-Essen lahm. CSO, www.csoonline.com/article/3492960 (12.6.2025)
23. Universität Leipzig (2022): Überarbeitung der Sicherheitskonzepte nach Hackerangriff abgeschlossen, <https://magazin.uni-leipzig.de> (12.6.2025)
24. Bode, D. (2022): Cyberattacke ging Phishing-Mail voraus. 25.10.2022, www.sueddeutsche.de/muenchen (12.6.2025)
25. BFV (2022): Spionage in Forschung und Wissenschaft. Informationsblätter zum Wirtschaftsschutz. Bundesamt für Verfassungsschutz, Berlin
26. Kastorff, T. et al. (2025): Fake News oder Fakten? Wie Jugendliche ihre digitale Informationskompetenz einschätzen und welche Rolle Schulen und Lehrkräfte dabei spielen. Erkenntnisse aus PISA 2022. DOI: [10.31244/9783830999935](https://doi.org/10.31244/9783830999935)
27. Maier, C.; Ankermann, T. (2022): Fake News in Fachzeitschriften. In: Deutsches Ärzteblatt 119(4), 116-120
28. TAB (2023): ChatGPT und andere Computermodelle zur Sprachverarbeitung – Grundlagen, Anwendungspotenziale und mögliche Auswirkungen. Hintergrundpapier Nr. 26. Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag
29. Vallbracht, C. (2024): „Der menschliche Anteil geht zusehends zurück“. KI-Technologie agiert bereits wie eine Forschungsassistentin im

- Wissenschaftsbetrieb. Wird sie womöglich überschätzt?
21.3.2024, www.forschung-und-lehre.de (12.6.2025)
30. LfULG (2015): Ereignisanalyse zum Hochwasser im Juni 2013 in Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
31. TAB (2024): Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken. Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin
32. Brand, S.; Salzgeber, J. (2022): Kosten steigen schneller als die Investitionen: Bedarfe für Schulen weiter hoch. In: KfW Research – Fokus Volkswirtschaft (401)
33. Cedeño Laurent, J. G. et al. (2018): Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. Boston, DOI: [10.1371/journal.pmed.1002605](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605)
34. Bundesnetzagentur (2024): Droht der Blackout? Über die Stromversorgung in Deutschland. www.bundesnetzagentur.de/DE/Allgemeines (12.06.2025)
35. Bundesnetzagentur (2023): Versorgungssicherheit Strom. Stand und Entwicklungen der Versorgungssicherheit im Bereich der Versorgung mit Elektrizität, Bonn

Entwicklungsdynamiken ausgewählter systemischer Risiken

Systemische Risiken unterliegen einer zum Teil starken Entwicklungsdynamik. Sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch die konkrete Form der durch sie ausgelösten Gefährdungslagen für das Bildungs- und Forschungssystem können sich verändern.

Entwicklungsdynamiken zeigen sich aktuell vor allem im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung, die zu einer steigenden Gefährdungslage im Zusammenhang mit den Risiken Cyberkriminalität, Technikversagen und eingeschränkter Technikbeherrschbarkeit sowie der zunehmenden Machtkonzentration im privatwirtschaftlichen Bereich (besonders bei Technologieunternehmen) führt. Zusätzlich verstärken die geopolitischen Konflikte den Druck auf das Forschungssystem und erschweren internationale Kooperationen.

Systemisches Risiko: Technikversagen und eingeschränkte Technikbeherrschbarkeit

Der digitale Bildungsmarkt gilt als Wachstumsmarkt, da die Nachfrage nach flexiblen, personalisierten und ortsunabhängigen Lernformaten stetig steigt. Technologischer Fortschritt, wachsender Qualifizierungsbedarf, der Fachkräftemangel sowie die zunehmende Verbreitung KI-gestützter Lernplattformen treiben diese Entwicklung voran. Besonders E-Learning, Learning Analytics (LA), Sprachmodelle wie ChatGPT, adaptive Lernsysteme und immersive Technologien wie Virtual Reality gewinnen an Bedeutung. Bildungseinrichtungen wie Schulen und Hochschulen integrieren zunehmend digitale Tools und Plattformen in ihre Lehrpläne, um Lernprozesse zu optimieren. Auch die weite Verbreitung von Smartphones und Tablets führt dazu, dass Lernende aus unterschiedlichsten Hintergründen jederzeit und ortsunabhängig auf Bildungsressourcen zugreifen können. Zudem investieren Staaten und Unternehmen verstärkt in digitale Bildungstechnologien, um den Zugang zu Wissen zu verbessern und Qualifikationslücken zu schließen.

Die zunehmende Digitalisierung bietet dem Infrastruktursystem Bildung und Forschung Chancen, seine Resilienz gegenüber systemischen Risiken wie Versorgungsengpässen durch Fachkräftemangel sowie Pandemien und Endemien zu stärken. Gleichzeitig bringt der zunehmende Einsatz komplexer Bildungstechnologien wie adaptiver Lernplattformen auch neue Herausforderungen mit sich. Kurz- und mittelfristig wächst die Abhängigkeit von der Technik und die Kontrolle und die sichere Beherrschbarkeit dieser Bildungstechnologien wird erschwert. Dies liegt unter anderem an der hohen technischen Komplexität, der mangelnden Transparenz algorithmischer Entscheidungsprozesse sowie an der Abhängigkeit von ggf. proprietären Systemen. Hinzu kommen die intensivierten Bemühungen von Technologieunternehmen, Schulen und Universitäten als lukrative Märkte zu erschließen, indem sie unternehmenseigene Hard- und Software gezielt in Bildungseinrichtungen integrieren. Da der Wechsel etablierter technischer Systeme mit hohen finanziellen und organisatorischen Hürden verbunden ist, entstehen langfristige Abhängigkeiten, die nur durch erhebliche Investitionen aufgelöst werden können [1]. Die digitale Abhängigkeit Deutschlands von ausländischen Technologien, insbesondere aus den USA und China, verschärft dieses Problem und erhöht die Abhängigkeit von wenigen dominierenden Softwareunternehmen sowie das Risiko von

Technikversagen und eingeschränkter Technikbeherrschbarkeit [2]. Setzen Bildungseinrichtungen verstärkt auf die Software eines bestimmten Anbieters, können Unternehmensinsolvenzen oder ausbleibende Softwareupdates zu langfristigen Ausfällen der Technik und der Störung etablierter Lernprozesse führen.

Hinzu kommt, dass viele digitale Bildungsangebote von technologiegetriebenen Unternehmen ohne pädagogische Expertise entwickelt werden. Dies kann die Bildungsqualität beeinträchtigen, etwa wenn interaktive multimediale Elemente ohne didaktischen Mehrwert eingesetzt werden [3]. Studien zeigen zudem, dass aktuelle digitale Bildungspraktiken oft nicht auf neuesten lerntheoretischen Erkenntnissen basieren. Stattdessen werden teils überholte didaktische Konzepte genutzt, die z. B. stark auf extrinsische Belohnungssysteme setzen [4]. Auch der vermehrte Einsatz und die schnelle Entwicklung von KI-Systemen schränkt die Technikbeherrschbarkeit weiter ein, insbesondere dann, wenn KI in Bildungstechnologien wie digitale Lernplattformen oder Bewertungssysteme integriert wird. Es besteht das Risiko algorithmischer Verzerrungen, da unsicher ist, inwieweit ein eingesetztes KI-System Faktoren wie Geschlecht, Ethnie oder Sprache bei der Bewertung von Ergebnissen oder in die Ableitung von Handlungsempfehlungen einließen lässt [5]. Diskriminierende oder benachteiligende Entscheidungen gegenüber bestimmten Nutzergruppen können die Folge sein [6].

Systemisches Risiko: Machtkonzentration

Die Entwicklungsdynamik des systemischen Risikos **Machtkonzentration** ist durch die zunehmende Digitalisierung des Infrastruktursystems und das steigende kommerzielle Interesse von sog. EdTech-Unternehmen (meist privatwirtschaftliche Akteure, die digitale Lerntechnologien entwickeln und vertreiben) und Wissenschaftsverlagen am Bildungs- und Forschungssystem als Absatzmarkt geprägt. Die Auswirkungen der zunehmenden Machtkonzentration US-amerikanischer Technologiekonzerne im Bereich Digitalwirtschaft, Bildungstechnologien und KI bergen bereits kurzfristig ein erhöhtes Risikopotenzial für das Infrastruktursystem, wenn neue Datenschutzlücken entstehen und sensible Daten kommerziell verwertet werden. Im Forschungsbereich besteht zudem die Gefahr, dass Informationen und Daten an Unternehmen abfließen, bspw. über die Eingabe von Prompts (Eingabeaufforderung oder auch Anweisung, die einem KI-Modell gegeben wird) oder das Hochladen von Dateien in kommerzielle KI-Anwendungen wie ChatGPT. Nicht nur

Technologiekonzerne können ihre Marktmacht im Zuge der Digitalisierung stärken, auch die dominierenden Wissenschaftsverlage könnten ihre Position zukünftig ausbauen, indem sie neue und profitable Geschäftsfelder erschließen, z. B. durch das Sammeln und Verkaufen von Nutzungsdaten [7]. Durch die zunehmende Digitalisierung der Forschung können entsprechend umfangreiche Daten entlang des Forschungsprozesses gesammelt und verkauft werden. Es besteht die Gefahr, dass Daten zunehmend an außerwissenschaftliche Akteure verkauft und wirtschaftlich verwertet oder im Zuge von Cyberkriminalität bspw. zu Spionagezwecken genutzt werden [7].

Systemisches Risiko: Cyberkriminalität

Eine weitere Entwicklungsdynamik ergibt sich aus der zunehmenden und professionalisierten Cyberkriminalität sowie der Verschärfung geopolitischer Konflikte. Diese Faktoren tragen bereits kurzfristig zu einer steigenden Gefährdungslage für das Bildungs- und Forschungssystem bei. Staatliche und staatsnahe Akteure setzen angesichts globaler Spannungen und hybrider Konflikte verstärkt digitale Instrumente ein, um geopolitische Interessen zu verfolgen. Zusätzlich verschärft sich die Bedrohung durch den Missbrauch von KI-Technologien: KI-gestützte Cyberangriffe können automatisiert, schneller und in größerem Umfang durchgeführt werden [8]. In den Jahren 2022 bis 2024 wurden dem Bundeskriminalamt insgesamt 42 Cyberangriffe auf Hochschulen und Wissenschaftseinrichtungen gemeldet [9]. Expert/innen erwarten für die kommenden Jahre einen weiteren Anstieg. Die finanziellen und operativen Schäden solcher Angriffe sind erheblich. So entstand der Helmholtz-Gemeinschaft durch Cyberangriffe allein im Jahr 2023 ein Schaden in Höhe von 12,3 Mio. Euro [9]. Neben den finanziellen Schäden führen Cyberangriffe häufig zu langen Ausfallzeiten der IT-Systeme und einer eingeschränkten Funktionsfähigkeit der betroffenen Einrichtungen. Besonders gefährdet sind Universitätskliniken, da sie sowohl Teil des Forschungs- als auch des Gesundheitssystems sind und hochsensible Patientendaten verwalten. Cyberangriffe können dort nicht nur den Forschungsbetrieb stören, sondern auch die medizinische Versorgung gefährden, etwa durch den Ausfall lebenswichtiger Geräte, verzögerte Diagnosen oder eingeschränkten Zugang zu Patientendaten. Dem wachsenden Risiko durch Cyberkriminalität stehen gleichzeitig geringe Kompetenzen von Lernenden und Personal im Bereich Cybersicherheit gegenüber. Laut Hochschulbarometer geben nur knapp 30 % der befragten Hochschulen

an, Sicherheitsschulungen für das Personal durchzuführen und nur 10 % bieten Schulungen für Studierende an [\[10\]](#). Auch bei Schüler/innen bestehen Wissenslücken im Bereich IT-Sicherheit und Datenschutz [\[11\]](#).

Systemisches Risiko: Geopolitische Konflikte

Das systemische Risiko **geopolitische Konflikte** wird durch Entwicklungsdynamiken in der internationalen Ordnung geprägt. Die jüngsten Veränderungen sind durch den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine, den Machtwechsel in den USA sowie das Erstarken Chinas als Wissenschafts- und Wirtschaftsmacht geprägt, womit kurz- bis mittelfristig die Gefährdung des Infrastruktursystems vor allem im Forschungsbereich steigt (s. Trendteil). Die geopolitischen Spannungen haben wachsenden Einfluss auf die Forschungssicherheit in Deutschland sowie auf internationale Forschungskooperationen. Universitäten und Forschungseinrichtungen, Projektträger und Politik reagieren darauf mit Positionspapieren sowie der Aktualisierung bestehender Handlungsempfehlungen und Leitlinien, um das Bewusstsein für die Risiken und Bedrohungen im Forschungssystem zu schärfen. In der Abschlusserklärung des G7-Wissenschaftsministertreffens im Jahr 2022 werden u. a. folgende Risiken als besonders bedeutsam eingestuft: unzulässige Beeinflussung, Beeinträchtigung oder widerrechtliche Nutzung der Forschung, der direkte Diebstahl von Ideen, Forschungsergebnissen und geistigem Eigentum durch Staaten, Militär und deren Bevollmächtigte sowie durch nichtstaatliche Akteure [\[12\]](#). Ein aktuelles Beispiel mit Bezug zur Osteuropaforschung zeigt, wie die Forschung in Deutschland durch Russland beeinflusst wird. Die Deutsche Gesellschaft für Osteuropakunde (DGO) in Berlin wurde im Sommer 2024 durch Russland als „extremistische Organisation“ eingestuft. In der Folge können Wissenschaftler/innen aus Deutschland nicht mehr sicher in Russland arbeiten, gleichzeitig drohen russischen Wissenschaftler/innen mit Kontakt zum Forschungsinstitut DGO strafrechtliche Konsequenzen, einschließlich möglicher Haftstrafen [\[13\]](#). Die DGO war bereits im Frühjahr 2024 Ziel eines mehrmonatigen Cyberangriffs. Es besteht der Verdacht, dass dieser Angriff von russischen Hacker/innen ausging. Das DGO geht davon aus, dass gezielt Informationen über ihre wissenschaftliche Arbeit ausspioniert wurden.

Referenzen

1. Samuelis, T. (2017): Digitale Bildung als Geschäftsmodell – eine Einführung. Bundeszentrale für politische Bildung, 2017, www.bpb.de/lernen/digitale-bildung (28.1.2025)
2. Bitkom e.V. (2025): Deutschlands digitale Abhängigkeit steigt, www.bitkom.org/Presse (12.6.2025)
3. LERN (2020): Bildung in der digitalen Welt: Potenziale und Herausforderungen. Positionspapier des Leibniz-Forschungsnetzwerks Bildungspotenziale. Leibniz-Forschungsnetzwerk Bildungspotenziale, Frankfurt am Main
4. Arich, O. (2024): Digitalisierung der Bildung. Eine differenzierte Übersicht über die Möglichkeiten, Chancen und Grenzen einer Bildung im digitalen Zeitalter. o.O.
5. Renz, A.; Galla, N. (2024): KI in der Bildung. Viel mehr als eine Utopie – Dystopie – Dualismus? In: Hartong, S.; Renz, A. (Hg.): Digitale Lerntechnologien. Von der Mystifizierung zur reflektierten Gestaltung von Ed-tech. Bielefeld, S. 131–160
6. Rzepka, N. et al. (2023): Learning Analytics und Diskriminierung. In: Schiefner-Rohs, M. et al. (Hg.): Datafizierung (in) der Bildung. Bielefeld, S. 211–227
7. Heimstädt, M. (2024): Wissenschaftsverlage, Datentracking und die Freiheit der Forschung. 30.6.2025, <https://irights.info/artikel>
8. BSI (2024): Einfluss von KI auf die Cyberbedrohungslandschaft. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn
9. Deutscher Bundestag (2024): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion der CDU/CSU. Cyberangriffe auf Wissenschaft und Forschung in Deutschland. Drucksache 20/12259, Berlin
10. Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. (2024): Hochschul-Barometer 2024. Essen
11. FUJITSU (2022): Fujitsu-Umfrage: Europäische Schulen können bei digitaler Kompetenz nicht Schritt halten, München
12. G7-Wissenschaftsministerinnen und -minister (2022): Weitere Umsetzung und G7-Arbeitsgruppen im Bereich Wissenschaft. Anhang zur Abschlusserklärung der G7-Wissenschaftsministerinnen und -minister 2022. Online verfügbar unter www.bmbf.de/SharedDocs (30.6.2025)
13. DGO (2024): DGO in Russland als „extremistische Organisation“ gelistet. Deutsche Gesellschaft für Osteuropakunde e.V., 30.7.2024, <https://dgo-online.org>

Gefährdungslagen im Zuge der Transformation

Das Bildungs- und Forschungssystem befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel und steht aktuell vor der Herausforderung, drei wesentliche Transformationsziele umzusetzen ([Infrastruktursystem Bildung und Forschung](#)). Erstens ist die Digitalisierung Voraussetzung für die internationale Wettbewerbsfähigkeit des Bildungs- und Forschungssystems sowie für die Vermittlung digitaler Kompetenzen, die gesellschaftliche Teilhabe ermöglichen. Zweitens stellt die Herstellung und Sicherung von Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit eine dauerhafte Transformationsaufgabe dar, um allen Menschen unabhängig von ihrer Herkunft Zugang zu hochwertiger Bildung zu ermöglichen. Darüber hinaus gewinnt die Ausrichtung des Forschungssystems auf gesellschaftliche Herausforderungen an Bedeutung, so dass drittens eine stärker anwendungsorientierte Forschung die Bewältigung komplexer gesellschaftlicher Herausforderungen fördern soll. Die Umsetzung dieser Transformationen ist herausfordernd und kann durch verfestigte Entwicklungspfade – sogenannte **Pfadabhängigkeiten** – verzögert oder erschwert werden. Im Folgenden werden zentrale Pfadabhängigkeiten im Kontext der drei Transformationsziele entlang zeitlicher, systemischer und akteursbezogener Dimensionen analysiert. Eine abschließende Risikoperspektive verdeutlicht jeweils die potenziellen Gefahren bei Nicht-Erreichen der angestrebten Entwicklungsziele in den drei Transformationsfeldern.

Digitalisierung des Bildungs- und Forschungssystems

Das Infrastruktursystem Bildung und Forschung ist stark von früheren Entscheidungen geprägt, insbesondere durch eine lange Dominanz analoger Lehrmethoden und eine verzögerte Digitalisierung. Fehlende Fortbildungen für Lehrkräfte verhinderten in den 1990er-Jahren die breite Nutzung von Computerräumen in Schulen und noch 2013 war die technische Ausstattung unzureichend. Veränderungen wurden durch den 2018 gestarteten DigitalPakt Schule sowie die COVID19-Pandemie angestoßen, die den Druck zur Digitalisierung erhöhte und zu einer stärkeren Nutzung digitaler Technologien führte. Dennoch ist die digitale Ausstattung von Schulen teilweise noch unzureichend, insbesondere in finanzschwachen Kommunen [1]. Mit Blick auf die Hochschulen zeigt sich, dass sich diese seit etwa 10 Jahren verstärkt

mit der Digitalisierung von Studium und Lehre auseinandersetzen und Fortschritte erreichen konnten. Herausfordernd für deutsche Hochschulen bleibt jedoch die individuelle Strategieentwicklung, die für die Digitalisierung von Studium und Lehre notwendig ist [2]. Auch die Digitalisierung der Forschung schreitet voran, wird aber durch Herausforderungen wie fehlende standardisierte Datenplattformen, rechtliche Unsicherheiten beim internationalen Datenaustausch oder den Mangel an Fachkräften mit IT-Kompetenzen gebremst. Eine mangelnde Digitalisierung kann mittel- und langfristig zu einer Verschlechterung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit des Infrastruktursystems führen. Die Entwicklung generativer KI verstärkt den Handlungsdruck auf die beteiligten Akteure, mit der Entwicklung Schritt zu halten, entsprechende digitale Kompetenzen zeitnah aufzubauen und den regulatorischen Rahmen an die neuen Gegebenheiten anzupassen.

Hinzu kommen Pfadabhängigkeiten auf der systemischen Ebene, die ebenfalls die digitale Transformation des Infrastruktursystems erschweren. Das Bildungssystem ist zum einen vom erfolgreichen Zusammenspiel politischer, rechtlicher, administrativer, finanzieller und fachlicher Prozesse und Vorgaben abhängig, die allerdings oft wenig abgestimmt und aufeinander bezogen sowie durch Interessenskonflikte geprägt sind [3]. Bei den Hochschulen und Forschungseinrichtungen behindern zudem die etablierte Ressourcenverteilung zwischen den einzelnen Einrichtungen sowie die geringe Kooperation zwischen den Hochschulen bei der Bündelung von IT-Ressourcen Digitalisierungsprozesse [4].

In der Bildungs- und Forschungspolitik ist insbesondere mit Blick auf die Digitalisierung des Infrastruktursystems ein langfristiges strategisches Vorgehen erforderlich, da Veränderungen im System oft erst mit Zeitverzögerung sichtbar werden. Dies wird durch politisches Denken und Handeln in Legislaturperioden sowie für kurze Planungshorizonte erschwert. Entscheidungen, die heute etwa zur IT-Infrastruktur, zur Auswahl digitaler Lernplattformen oder zu Datenschutzregelungen getroffen werden, prägen langfristig die technologischen Standards, Kompetenzen und Handlungsspielräume des gesamten Systems. Eine einmal eingeschlagene digitale Entwicklungsrichtung schafft dabei Pfadabhängigkeiten, die spätere Kurskorrekturen erschweren oder sehr kostenintensiv machen – etwa bei der Integration interoperabler Systeme, der Umstellung auf offene Standards oder der Nachqualifizierung von Personal.

Das Bildungs- und Forschungssystem ist stark von historisch gewachsenen Strukturen, institutionellen Zuständigkeiten und traditionellen Rollenbildern geprägt. Föderale Verantwortlichkeiten zwischen Bund, Ländern und Kommunen erschweren koordinierte Reformprozesse und führen zu uneinheitlichen Entwicklungen. Dabei stellt die Digitalisierung des Bildungssystems hohe Anforderungen an alle Beteiligten – sie erfordert nicht nur Innovationsbereitschaft und erhebliche Investitionen in technische Ausstattung und Forschung, sondern auch eine koordinierte Strategie [5]. Zudem erschwert ein unzureichender Austausch zwischen Forschung und Praxis die notwendige strategische Weiterentwicklung [6]. Mit Blick auf die Bildungsforschung sind unzureichendes Wissen und Forschungslücken hinsichtlich digitaler Bildungstechnologien und der flächendeckenden Digitalisierung des Bildungssystems als hemmende Faktoren anzusehen [7] (s. UK 2). Unsicherheiten und Skepsis bei Lehrenden und weiteren Akteuren bleiben so bestehen. Zudem bestehen eingefahrene Lehr- und Lernkulturen, die die Einführung innovativer didaktischer Konzepte und digitaler Technologien verlangsamen. Widerstände seitens der Lehrkräfte, die aufgrund fehlender Fortbildungsmöglichkeiten oder einer skeptischen Haltung gegenüber neuen Methoden bestehen bleiben, verstärken diese Pfadabhängigkeiten zusätzlich.

Eine unzureichend ausgebaute digitale Infrastruktur erschwert Bildung und Forschung insbesondere in Krisenzeiten, z. B. während einer Pandemie, und kann darüber hinaus andere Infrastruktursysteme gefährden – etwa, wenn Eltern oder Sorgeberechtigte aufgrund fehlender digitaler Lernmöglichkeiten die ganztägige Betreuung der Kinder übernehmen müssen und so ihre beruflichen Verpflichtungen nicht zuverlässig erfüllen können [8]. Bei unzureichender technischer Ausstattung und defizitären digitalen Kompetenzen erhöht sich zudem die Gefährdungslage durch systemische Risiken wie Cyberkriminalität sowie Technikversagen und eingeschränkte Technikbeherrschbarkeit. Eine wachsende Kluft zwischen digital gut aufgestellten und digital abgehängten Bildungseinrichtungen kann die Funktionalität des gesamten Infrastruktursystems gefährden. Die digitale Ungleichheit verstärkt bestehende soziale Disparitäten, erschwert die Chancengleichheit im Bildungssystem und untergräbt die gesamtgesellschaftliche Innovationsfähigkeit, da das Potenzial vieler Lernender und Lehrender nicht ausgeschöpft werden kann.

Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit

Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit sollen im Infrastruktursystem sicherstellen, dass alle Menschen unabhängig von ihrer sozialen Herkunft Zugang zu hochwertiger Bildung erhalten. Diesem Ziel stehen jedoch historisch gewachsene Strukturen entgegen, die Veränderungen nur langsam zulassen und damit eine ausgeprägte zeitliche Pfadabhängigkeit aufweisen. Besonders das gegliederte Schulsystem mit seiner frühen Selektion und die föderale Organisation führen dazu, dass Reformen oft langfristig geplant und umgesetzt werden müssen. Die frühe Differenzierung und das stark ausgeprägte Leistungsprinzip tragen dazu bei, dass Kinder bereits in jungen Jahren auf unterschiedliche Bildungswege verteilt werden, was bestehende soziale Ungleichheiten in den Bildungschancen weiter verfestigt. Trotz zahlreicher reformpolitischer Anstrengungen ist es bisher nicht gelungen, den engen Zusammenhang zwischen sozialer Herkunft und Bildungserfolg von Kindern und Jugendlichen strukturell zu entkoppeln [9]. Vielmehr wird der Zusammenhang durch aktuelle Herausforderungen wie Migration, Lehrkräftemangel und die zunehmende Bedeutung digitaler Bildungstechnologien einschließlich KI weiter verstärkt. Langfristig könnten dadurch sowohl das durchschnittliche Leistungsniveau als auch der gesellschaftliche Wohlstand sinken. Ohne gezielte Verbesserungen bei der Personalentwicklung und den digitalen Kompetenzen für Lehrende und Lernende ist mittelfristig nicht mit einem Abbau von sozialen Ungleichheiten in den Bildungschancen zu rechnen.

Mangelnde Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit sind auch auf die komplexe Akteursstruktur im Bildungssystem zurückzuführen, zu der Bund, Länder, Kommunen, Bildungseinrichtungen, Forschungseinrichtungen und privatwirtschaftliche Akteure gehören. Unterschiedliche Interessen und Zuständigkeiten erschweren koordinierte Reformen, da etwa die Länderhoheit in Bildungsfragen zu uneinheitlichen Strategien und Umsetzungsprozessen führt. Politische Maßnahmen für mehr Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit sollten deshalb in eine gesamtgesellschaftliche Strategie eingebettet sein [10]. Zudem gibt es Widerstände gegen Veränderungen innerhalb der Institutionen, sei es aufgrund traditioneller Lehr- und Forschungskulturen, eingeschränkter Innovationsbereitschaft oder fehlender Anreize für Akteure, etablierte Prozesse zu verändern. Diese zeigen sich in traditionell stark verankerten Lehr- und Prüfungskonzepten an Schulen und Hochschulen, etwa der anhaltenden Fokussierung auf schriftliche Prüfungen, Frontalunterricht und starre

Fachgrenzen. Der Einsatz digitaler Lernplattformen und KI-gestützter Tools erfolgt häufig nur punktuell und ohne tiefgreifende strukturelle Verankerung. Diese akteursbezogenen institutionellen und individuellen Trägheiten hemmen tiefgreifende Reformen und verstärken bestehende Ungleichheiten im Bildungssystem.

Bildungsungleichheiten, die durch mangelnde Chancengleichheit und Bildungsgerechtigkeit im Infrastruktursystem bedingt sind, können soziale Spannungen vertiefen und damit das systemische Risiko gesellschaftlicher Polarisierung verstärken. Zudem erhöht ein unzureichendes Bildungsniveau das Risiko eines Fachkräftemangels in anderen Infrastruktursystemen, da weniger qualifizierte Personen für die Ausbildung dringend benötigter Fachkräfte zur Verfügung stehen. In Krisensituationen wie Epidemien und Pandemien steigt die Belastung des Systems zusätzlich, da es gefordert ist, das Leistungsniveau aller Lernenden zu stabilisieren und Bildungsrückstände zu vermeiden. Strukturelle Ungleichheiten können sich in solchen Ausnahmesituationen verschärfen und damit die Resilienz des gesamten Infrastruktursystems schwächen.

Anwendungsorientierte Forschung zur Lösung gesellschaftlicher Probleme

Das deutsche Forschungs- und Bildungssystem ist historisch stark auf die Grundlagenforschung ausgerichtet, sodass die anwendungsorientierte Forschung erst in den letzten Jahrzehnten verstärkt gefördert wurde. Die Trennung zwischen Grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung ist institutionell verankert, etwa durch die Differenzierung zwischen Universitäten und Fachhochschulen sowie durch bestehende Fördermechanismen, die traditionell stärker auf Grundlagenforschung ausgerichtet sind. Zudem wirken sich langfristige Karrierewege in der Wissenschaft auf Forschungsschwerpunkte aus, da etablierte Strukturen und Bewertungskriterien wie Publikationsmetriken und Drittmittelakquise weiterhin primär disziplinäre Forschung und die Grundlagenforschung begünstigen. Veränderungen hin zu einem höheren Anteil anwendungsorientierter Forschung erfordern daher tiefgehende Reformen, die nur schrittweise umgesetzt werden können.

Solche Reformen werden durch unterschiedliche Interessen und Prioritäten einer Vielzahl von Akteuren erschwert. Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, Wirtschaftspartner, Förderinstitutionen und die Politik verfolgen teils divergierende Ziele.

Während beispielsweise Universitäten ihre wissenschaftliche Unabhängigkeit bewahren wollen, sind Unternehmen an schnellen, marktfähigen Lösungen interessiert. Zudem gibt es in der Wissenschaft Widerstände gegen eine verstärkte Praxisorientierung, da anwendungsbezogene Forschung oft als weniger prestigeträchtig gilt und nicht immer mit etablierten Leistungsindikatoren übereinstimmt. Fehlende Anreize und eine unzureichende Vernetzung zwischen Wissenschaft und Praxis verstärken diese Pfadabhängigkeit weiter. Mit Blick auf das politische Transformationsziel ist das Forschungssystem zudem auf eine verlässliche und stabile Politik angewiesen, die auf Langfristigkeit ausgerichtet, aber auch in der Lage ist, bei Bedarf Zielanpassungen der Forschungs- und Innovationspolitik vorzunehmen, was eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Politik voraussetzt [11]. Daneben sind auch gesellschaftliche und wirtschaftliche Akteure gefordert, die maßgeblich zur Legitimierung und Erreichung des Transformationsziels beitragen. Eine schwindende gesellschaftliche Akzeptanz politischer Entscheidungen kann Forschungsprozesse und den Wissenstransfer in die Praxis erschweren.

Eine weitere akteursbezogene Pfadabhängigkeit, die als Hemmnis gesehen wird, ist die geringe strategische Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern. Die Wissenschaftsministerkonferenz fordert deshalb u. a. eine strategische Ausrichtung, abgestimmte Fördermaßnahmen und gezielte Schwerpunktsetzungen [12]. Darüber hinaus wird der Umstand, dass die Finanzierung der anwendungsorientierten Forschung an Fachhochschulen primär durch die Länder erfolgt, als hinderlich für die Erreichung des Transformationsziels diskutiert. Hier sieht die Wissenschaftsministerkonferenz den Bund stärker in der Pflicht, die Finanzierung anwendungsorientierter Forschungsprogramme auszubauen [12].

Ein Mangel an anwendungsorientierter Forschung bremst nicht nur die Entwicklung praxistauglicher Lösungen für drängende gesellschaftliche Probleme wie den Klimawandel, den demografischen Wandel oder die Digitalisierung, sondern hemmt auch die Innovationsdynamik der Wirtschaft und reduziert die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im internationalen Vergleich. Anwendungsnahe Forschung fungiert als zentrale Schnittstelle zwischen Grundlagenwissenschaft und Umsetzung – sei es im Bereich neuer Technologien oder sozialer Innovationen. Das Forschungssystem trägt mit seiner Wissensproduktion, Methodenentwicklung und Qualifizierung von Fachkräften zudem maßgeblich zur Resilienz, Modernisierung und

Funktionsfähigkeit anderer Infrastruktursysteme bei, etwa in den Bereichen Energie, Gesundheit oder Mobilität und Verkehr. Ein Scheitern bei der Transformation des Bildungs- und Forschungssystems würde daher nicht nur dessen eigene Leistungsfähigkeit beeinträchtigen, sondern die Innovations- und Anpassungsfähigkeit weiterer kritischer Infrastruktursysteme schwächen.

Referenzen

1. Robert Bosch Stiftung (2023): Das Deutsche Schulbarometer: Aktuelle Herausforderungen aus Sicht der Lehrkräfte. Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften allgemein- und berufsbildender Schulen, Stuttgart
2. Budde, J. et al. (2024): Die digitale Transformation in Studium und Lehre strategisch stärken. Empfehlungen aus sechs Jahren Peer-to-Peer-Strategieberatung. Diskussionspapier Nr. 30, Hochschulforum Digitalisierung, Berlin
3. Anders, Y. et al. (2022): Bildung und Resilienz. Gutachten (Autor/in: Aktionsrat Bildung). Münster, DOI: [10.25656/01:24607](https://doi.org/10.25656/01:24607)
4. PwC (2021): Die Digitalisierung an den Universitäten steuern. Die Sicht der Rektorate/Präsidien der 31 größten deutschen Universitäten zur Governance der Digitalisierung. PricewaterhouseCoopers, München
5. SWK (2022): Digitalisierung im Bildungssystem: Handlungsempfehlungen von der Kita bis zur Hochschule. Gutachten der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK), Bonn
6. LERN (2020): Bildung in der digitalen Welt: Potenziale und Herausforderungen. Positionspapier des Leibniz-Forschungsnetzwerks Bildungspotenziale. Leibniz-Forschungsnetzwerk Bildungspotenziale, Frankfurt am Main
7. Eickelmann, B. et al. (2024): Navigator Bildung Digitalisierung. Konzeptionierung und Orientierung zum Stand der digitalen Transformation im schulischen Bildungsbereich in Deutschland. Forum Bildung Digitalisierung, Berlin
8. Karutz, H. et al. (2022): Vulnerabilität und Kritikalität des Bildungswesens in Deutschland. Eine Betrachtung aus Sicht des Bevölkerungsschutzes. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn
9. Marx, A.; Maaz, K. (2023): Wie lassen sich Bildungsungleichheiten effektiv verringern? Ein Forschungsüberblick zu Schulentwicklung in herausfordernden Lagen. In: DDS – Die Deutsche Schule 115(3), S. 189–200, DOI: [10.31244/dds.2023.03.02](https://doi.org/10.31244/dds.2023.03.02)

10. Hopf, W.; Edelstein, B. (2018): Chancengleichheit zwischen Anspruch und Wirklichkeit. Bundeszentrale für politische Bildung, 2018, www.bpb.de/themen/bildung (15.6.2025)
11. EFI (2021): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2021. Expertenkommission Forschung und Innovation, Berlin
12. KMK (2025): Positionspapier Wissenschafts-, Forschungs- und Innovationsagenda für ein zukunftsfähiges Deutschland. Beschluss der Wissenschaftsministerkonferenz für die Kultusministerkonferenz vom 31.01.2025. Kultusministerkonferenz, Berlin

Fokusthemen

Für eine vertiefende Untersuchung im Rahmen des Resilienz-Checks schlagen wir drei alternative Fokusthemen für das Infrastruktursystem Bildung und Forschung vor. Diese Themen leiten sich aus der Trendanalyse und der Bewertung der Gefährdungslage durch systemische Risiken im Rahmen des Resilienz-Radars ab, einschließlich der Auswertung der verschiedenen empirischen Erhebungen. Die vorgeschlagenen Fokusthemen stehen in engem Zusammenhang mit den identifizierten Trendclustern sowie den laufenden Transformationsprozessen im Bildungs- und Forschungssystem. Sie besitzen eine hohe Relevanz für die Entwicklung transformativer Resilienzstrategien. Methodisch eignen sich die spezifischen Themenzuschnitte sowohl für die geplante partizipative Bearbeitung im Resilienz-Check als auch für die Entwicklung von Zukunftsszenarien. Darüber hinaus bieten sie Potenzial für eine vertiefende Bearbeitung im Rahmen weiterer Untersuchungsformate.

Fokusthema 1: Cybersicherheit im Forschungsprozess – Resilienz stärken, Risiken minimieren

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung von Forschungseinrichtungen – wie im Trendcluster [Digitalisierung der Forschungswelten](#) veranschaulicht – erweitert die Angriffsfläche für Cyberbedrohungen erheblich. Datenlecks, gezielte Cyberangriffe oder Spionage gefährden nicht nur vertrauliche Forschungsprojekte, sondern auch die Integrität wissenschaftlicher Erkenntnisse. Um die Resilienz des Forschungssystems zu stärken, sind gezielte Strategien zur Cybersicherheit unerlässlich.

Im Fokus stehen hier strategische Themenfelder zum Schutz sensibler Forschungsdaten, insbesondere deren sichere Speicherung, Verarbeitung und Übertragung auch bei internationaler Kooperation. Zudem werden innovative Ansätze zur Stärkung der Cybersicherheitskompetenzen in Forschungseinrichtungen berücksichtigt. Wesentliche Maßnahmen reichen von KI-gestützten Angriffssimulationen, Security-by-Design-Methoden in Forschungsprojekten sowie effektives Incident-Response-Management zur Minimierung von Schäden durch Cybervorfälle. Dazu gehören

institutionelle Notfallpläne, der Einsatz von KI-gestützten Intrusion-Detection-Systemen sowie sektorübergreifende Kooperationen z.B. mit staatlichen Sicherheitsbehörden.

Das Ziel des Resilienz-Checks auf Grundlage dieses Fokusthemas ist es, wissenschaftlich-technologische Innovationsansätze im Zusammenhang mit Cybersicherheit zu analysieren, die die Resilienz von Forschungseinrichtungen stärken. Zudem werden mögliche neue Risiken identifiziert, die mit den jeweiligen Ansätzen verbunden sein könnten, und resilienzorientierte Strategien entwickelt, um diesen Herausforderungen wirksam zu begegnen.

Fokusthema 2: Hochschulen im Spannungsverhältnis von kommerziellen Anbietern digitaler Technologien und Open-Source-Lösungen

Die zunehmende Digitalisierung stellt Hochschulen – wie im Trendcluster [Wettlauf um technologische Vorherrschaft und Innovationskraft](#) erläutert – vor die Wahl zwischen kommerziellen Softwarelösungen großer Technologiekonzerne und Open-Source-Alternativen. Diese Entscheidung hat weitreichende Folgen für die langfristige Resilienz der Hochschulen gegenüber technologischen, wirtschaftlichen und politischen Risiken.

Drei zentrale strategische Teilthemen stehen im Fokus: (1) Digitale Infrastruktur und Plattformabhängigkeit – Hochschulen setzen verstärkt auf cloudbasierte Lernplattformen, digitale Verwaltungssysteme sowie KI-gestützte Lehr- und Prüfungssoftware. Während kommerzielle Anbieter oft durch Benutzerfreundlichkeit und technische Stabilität überzeugen, entstehen Abhängigkeiten in Bezug auf Systembindungen, Lizenzgebühren und langfristige Verfügbarkeit. Open-Source-Lösungen bieten hingegen mehr Kontrolle und Anpassungsfähigkeit, erfordern jedoch höhere Investitionen in IT-Ressourcen und Fachwissen. (2) Datensouveränität und Cybersicherheit: Die Nutzung kommerzieller Software birgt das Risiko, dass sensible Forschungs- und Lerndaten von externen Unternehmen verwaltet und verwertet werden. Open-Source-Lösungen ermöglichen Hochschulen mehr Datensouveränität, stellen jedoch höhere Anforderungen an eigene Sicherheitskonzepte sowie Management und Wartung. (3) Innovationspotenzial und Nachhaltigkeit: Die

Digitalisierung des Hochschulwesens erfordert nachhaltige IT-Infrastrukturen, die sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen. Kommerzielle Anbieter bieten oft leistungsstarke, aber ressourcenintensive Lösungen, die mit hohen Kosten und potenziell kurzen Innovationszyklen verbunden sind. Open-Source-Technologien ermöglichen hingegen eine nachhaltigere Entwicklung durch längere Lebenszyklen, energieeffiziente Serverarchitekturen und die Möglichkeit, bestehende Systeme flexibel zu erweitern.

Das Ziel des Resilienz-Checks auf Grundlage dieses Fokusthemas ist es, verschiedene Optionen des Technologieeinsatzes an Hochschulen im Spannungsfeld zwischen kommerziellen Anbietern und Open-Source-Lösungen zu analysieren. Gleichzeitig werden mögliche neue Risiken identifiziert, die mit den verschiedenen Szenarien verbunden sein könnten und resilienzorientierte Strategien entwickelt, um diesen Herausforderungen wirksam zu begegnen.

Fokusthema 3: Digitale Technologien in der Schule

Die Digitalisierung des Schulwesens birgt großes Potenzial, die Resilienz des Bildungssystems gegenüber Krisen wie Pandemien, Lehrkräftemangel oder regionalen Schulschließungen zu stärken. Digitale Technologien ermöglichen – wie im Trendcluster [Digitalisierung der Bildungswelten](#) veranschaulicht – flexiblere Lernformate und schaffen personalisierte Lernangebote. Gleichzeitig stellen sie das System vor neue Herausforderungen – etwa beim Datenschutz, durch technische Abhängigkeiten oder ungleiche Zugangsmöglichkeiten.

Im Fokus stehen drei zentrale Bereiche: (1) Virtuelle Klassenzimmer ermöglichen durch digitale Tools wie interaktive Whiteboards, Chats oder Lernplattformen synchronen Fernunterricht. Diese Formate können dabei helfen, die Kontinuität des Lernens zu sichern und so die Krisenfestigkeit des Systems zu stärken. (2) Virtual und Augmented Reality (VR/AR) eröffnen immersive Lernräume – z. B. für naturwissenschaftliche Experimente oder historische Rekonstruktionen – sowie neue Bildungsoptionen und können fehlende Ressourcen vor Ort kompensieren. (3) Künstliche Intelligenz (KI) kann Lehrkräfte bei der Unterrichtsplanung entlasten, personalisierte Lernpfade für Schüler/innen erstellen und individuelles Feedback geben. Das steigert

die Effizienz und Qualität des Unterrichts, besonders angesichts des Lehrkräftemangels.

Das Ziel des Resilienz-Checks auf Grundlage dieses Fokusthemas ist es, die Resilienzpoteziale innovativer Ansätze zum Einsatz digitaler Technologien im Schulbereich zu analysieren. Dabei werden auch potenzielle neue Risiken berücksichtigt, die mit der Implementierung dieser Ansätze einhergehen könnten, etwa digitale Ungleichheit, Technikabhängigkeit, algorithmische Verzerrungen oder gesundheitliche Belastungen durch intensive Bildschirmnutzung. Im Fokus steht zudem die Frage, welche Handlungsoptionen sich eröffnen, um eine möglichst resilienzorientierte und verantwortungsvolle Nutzung dieser Technologien zu gewährleisten.

Methodik und Vorgehen

Die Umsetzung des Resilienz-Radars erfolgt in drei aufeinander aufbauenden Arbeitsphasen. In allen Phasen wird die Expertise interner und externer Expert/innen einbezogen.

In der ersten Phase wurden vor allem Foresight- und TA-Studien im Umfeld der ausgewählten Infrastruktursysteme erfasst und analysiert. Hierbei wurden insbesondere mittel- bis langfristige Trends identifiziert, die nachweisbare Auswirkungen auf die Infrastruktursysteme haben. Ergänzend wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse des [TA-Projekts](#) „Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken“ relevante wissenschaftliche Quellen zur Analyse von systemischen Risiken ausgewertet. Diese können eine Gefährdung von Gesellschaften oder Wirtschaftssystemen als Ganzes zur Folge haben und beinhalten damit grundsätzlich auch die Gefahr, dass Funktionsfähigkeit und Stabilität von Infrastruktursystemen erheblich beeinträchtigt werden, wenn sich diese Risiken verwirklichen.

Die Identifikation aufkommender soziotechnischer Trends erfolgte zusätzlich durch den Einsatz von Software- und KI-Technologien. Dafür wurde ein Quellenpool aufgebaut, der einschlägige Datenbanken (z.B. EPTA, ORBIS, Knowledge4Policy, OpenTA), Publikationen (Foresightstudien, Trendberichte, Konferenzsammelbände und Preprints), wissenschaftliche Plattformen (z.B. ScienceDaily) sowie journalistischen Hintergrundanalysen (Tagesspiegel Background, Heise online) umfasst. Die neuesten Veröffentlichungen wurden über eine zentrale Plattform semiautomatisch und kontinuierlich abgerufen. Das Team sichtete die Beiträge regelmäßig und bewertete deren Relevanz für die ausgewählten Infrastruktursysteme. Ergänzend wurde nach Innovationen mithilfe einer Medienanalysesoftware mit Zugang zu 150 Mio. Onlinequellen gesucht. Dabei lag der Fokus vor allem auf Tages- und Wochenzeitungen sowie Onlinenews.

In der zweiten Phase wurden Interviews mit ausgewählten Expert/innen geführt, um deren Fachwissen, Einschätzungen und Meinungen zu wesentlichen Trends und Herausforderungen sowie zu Wirkungszusammenhängen im Kontext systemischer Risiken für die Infrastruktursysteme zu erfassen. Für die Interviews wurde ein einheitlicher Leitfaden und Fragenkatalog erstellt. Auf den Ergebnissen der Interviews aufbauend wurden moderierte infrastrukturspezifische Workshops mit ausgewählten Expert/innen durchgeführt. Hier wurden

erste Arbeitsergebnisse zum Systembild des jeweiligen Infrastruktursystems sowie zu relevanten Trends und möglichen Folgen von systemischen Risiken vorgestellt und diskutiert. Abschließend erfolgte eine Einschätzung hinsichtlich politischer Relevanz und möglicher Vertiefungsthemen. Die Antworten der Befragten sowie weitere Kommentare, Hinweise und detaillierte Ausführungen wurden während der Interviews und Workshops protokolliert und die Ergebnisse anschließend qualitativ ausgewertet.

In der dritten Phase wurde für jedes der Infrastruktursysteme eine explorative Onlineerhebung unter Einbeziehung des Expertenpanels mithilfe der Software SoSci Survey durchgeführt. Aufgabe war es, auf Grundlage der vorangegangenen Schritte Trends auszuwählen und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Verletzlichkeit und Resilienz des genannten Infrastruktursystems zu bewerten. Außerdem wurden die insgesamt etwa 80 Expert/innen dazu befragt, welche Trends in den nächsten 10 Jahren zu einer erhöhten Resilienz der Infrastruktursysteme beitragen könnten und welche Trends die Transformation der Infrastruktursysteme in Richtung Klimaneutralität besonders hemmen. Darüber hinaus sollten sie einschätzen, wie derzeit der Grad der Robustheit des jeweiligen Infrastruktursystems in Bezug auf prioritäre systemische Risiken eingeschätzt wird. Abschließend wurde für jedes System erfragt, auf welche Schwerpunktthemen die Politik in den nächsten 5 Jahren in Bezug auf die Resilienz des Infrastruktursystems vorrangig fokussieren sollte. Der quantifizierbare Teil der Ergebnisse wurde statistisch ausgewertet, die Kommentare, Hinweise und detaillierten Ausführungen einer qualitativen Analyse unterzogen.

Die Resultate aller drei Arbeitsphasen wurden abschließend integrativ analysiert und in dem vorliegenden Foresight-Report zusammengefasst.

Autorinnen und Autoren

Das Resilienz-Radar sowie der Foresight-Report sind eine gemeinsame Aktivität des TAB-Betreibers ITAS zusammen mit dem Konsortialpartner IZT. Verantwortlich für die Inhalte sind die [folgenden Wissenschaftler/innen](#). Bei inhaltlichen Fragen zum Foresight-Report wenden Sie sich bitte an Michaela Evers-Wölk oder Christoph Kehl.

Beteiligte Expert/innen

Die Umsetzung des [Resilienz-Radars](#) erfolgt in drei aufeinander aufbauenden Arbeitsphasen. In allen Phasen wird die Expertise interner und externer Expert/innen einbezogen. Für die Analyse des Infrastruktursystems Energie wurden u.a. die [folgenden Fachleute](#) im Rahmen von leitfadengestützten Fachgesprächen, moderierten Gruppendiskussionen oder einer explorativen Online-Erhebung eingebunden.

Zitationsvorschlag

Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (2025): Foresight-Report zum Infrastruktursystem Bildung und Forschung (Autor/innen: Bledow, N.; Eickhoff, M.; Evers-Wölk, M.; Kahlisch, C.; Kehl, C.; Nolte, R.; Rioussset, P.). Berlin.
<https://foresight.tab-beim-bundestag.de/reports/bildung-und-forschung>

Das TAB analysiert im Auftrag des Deutschen Bundestages umfassend und vorausschauend die Potenziale wissenschaftlich-technischer Entwicklungen und ihre Auswirkungen auf die Gesellschaft.

Organisation

Betreiber: [ITAS](#) im [KIT](#)
 Partner: [IZT](#) und [iit](#) in der [VDI/VDE-IT](#)
 Auftraggeber: [Deutscher Bundestag](#)
 Steuerungsgremium: [Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung](#)



Kontakt

[Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag \(TAB\)](#)

[Mediananfragen](#)