

Infrastruktursystem Gesundheit

Ergebnisse aus dem Resilienz-Radar



Downloadversion
foresight.tab-beim-bundestag.de

September 2025
Foresight-Report

Foresight-Report zum Infrastruktursystem Gesundheit, 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 Gesundheit	2
Überblick über aktuelle Trends.....	6
Gesundheitsbelastungen im Wandel.....	9
Digitalisierung und datenbasierte Vernetzung	14
Biotechnologische Innovationen	21
Systemische Risiken und ihre Auswirkungen auf das Infrastruktursystem Gesundheit	27
Status quo der Gefährdungslagen für das Gesundheitssystem.....	27
Entwicklungsdynamiken ausgewählter systemischer Risiken	39
Gefährdungslagen im Zuge der Transformation.....	50
Fokusthemen	60
Fokusthema 1: Neue Infektionsrisiken – Innovationen und Technologien für Prävention und Resilienzsteigerung	60
Fokusthema 2: KI-Systeme zur Resilienzsteigerung der Gesundheitsversorgung.....	61
Fokusthema 3: Biotechnologische Produktionsplattformen für die flexible, dezentrale Entwicklung und Bereitstellung von Medikamenten und Impfstoffen.....	62
Methodik und Vorgehen	64

Infrastruktursystem Gesundheit

Das Infrastruktursystem Gesundheit erbringt zentrale Leistungen der Daseinsvorsorge, von der Behandlung über Prävention bis zur Erhaltung der öffentlichen Gesundheit. Es gewährleistet die medizinische Versorgung der Bevölkerung und befördert medizinischen Fortschritt, sodass viele Krankheiten (z.B. Krebs oder Diabetes), zunehmend besser behandelt werden können, auch wenn nicht immer eine vollständige Heilung gelingt. Kennzeichnend für das Gesundheitssystem ist eine hohe organisatorische Komplexität, die sich aus dem Zusammenwirken einer Vielzahl öffentlicher und privater Akteure mit unterschiedlichen Aufgaben, Interessen und Zuständigkeiten ergibt.



Systembild des Infrastruktursystems Gesundheit

Die Stärkung der Resilienz im Infrastruktursystem Gesundheit erfordert die gezielte Bewältigung struktureller Herausforderungen, die durch demografische, ökologische und technologische Transformationsprozesse an Dringlichkeit gewinnen. Erstens ist eine **sektorenübergreifende und integrierte Versorgung** notwendig, um die Fragmentierung im Gesundheitssystem zu überwinden. Eine koordinierte Verzahnung ambulanter, stationärer, rehabilitativer und pflegerischer Leistungen ist essenziell, um Versorgungsqualität,

Systemeffizienz und Krisenfestigkeit zu erhöhen. Zweitens ist die **digitale Transformation** eine zentrale Voraussetzung für ein zukunftsfähiges Gesundheitssystem. Der Ausbau digitaler Infrastrukturen, die sichere, datenschutzkonforme Nutzung von Gesundheitsdaten und die Entwicklung interoperabler Systeme sollen Innovationen fördern und die Reaktionsfähigkeit des Systems in Krisensituationen stärken. Seit dem E-Health-Gesetz 2015 wurden durch zahlreiche gesetzliche Initiativen (u. a. Digitale-Versorgung-Gesetz, Patientendaten-Schutz-Gesetz, Digitale-Versorgung-und-Pflege-Modernisierungs-Gesetz) der Aufbau der Telematikinfrastruktur sowie die Einführung digitaler Gesundheitsanwendungen vorangetrieben. Drittens ist die **ökologische Nachhaltigkeit des Gesundheitswesens** eine zunehmend drängende Aufgabe. Die Reduktion von Emissionen, nachhaltige Beschaffung und energieeffiziente Infrastrukturen sind notwendig, um die Klimaneutralität des Sektors zu erreichen und seine langfristige Resilienz zu sichern. Das novellierte Klimaschutzgesetz (April 2024) und das Energieeffizienzgesetz (EnEfG, in Kraft seit Januar 2024) setzen zentrale regulatorische Impulse, um die Umstellung des Gesundheitswesens auf Klimaneutralität zu fördern und damit einen wichtigen Beitrag zur Stärkung seiner Resilienz zu leisten. Die drei Handlungsfelder sind eng miteinander verknüpft und bilden die Basis für ein widerstandsfähiges, zukunftsorientiertes und gemeinwohlorientiertes Gesundheitssystem.

Das Infrastruktursystem Gesundheit ist historisch gewachsen und entwickelt sich ständig weiter. Es weist eine komplexe und zum Teil stark regulierte Akteurslandschaft mit unterschiedlichen Aufgabenbereichen und Zuständigkeiten auf.

Vor- und Zulieferleistungen

Dazu gehören Medizintechnik und Informationstechnologien, Medizinprodukte, Arzneimittel, Impfstoffe, Blut- und Plasmakonzentrate sowie Labordienstleistungen, ohne die eine Gesundheitsversorgung nicht möglich wäre. Die Herstellung der dafür benötigten Produkte liegt größtenteils in den Händen einer sehr international ausgerichteten Pharmaindustrie sowie einer eher mittelständisch geprägten Medizintechnikindustrie. Die Entwicklungen in diesem Bereich begründen einen oft hohen finanziellen Aufwand. Beispielhaft angesprochen seien hier die Entwicklung moderner Medikamente im onkologischen oder diabetologischen Bereich oder Entwicklungen bei den bildgebenden Verfahren.

Ambulante Versorgung

Die ambulante Versorgung umfasst alle medizinischen Leistungen, die von niedergelassenen Ärzten, Psychotherapeuten und Zahnärzten erbracht werden. Diese sind in Kassenärztlichen Vereinigungen organisiert. Ebenfalls Teil der ambulanten Versorgung sind öffentliche Apotheken. Mehrere dieser Akteure können sich in Medizinischen Versorgungszentren (MVZ) zusammenschließen und so eine umfassende ambulante Versorgung aus einer Hand bieten.

Stationäre Versorgung

Die stationäre Versorgung umfasst alle medizinischen Leistungen, bei denen Patient/innen über einen längeren Zeitraum hinweg in einer Einrichtung verbleiben. Hierzu zählen insbesondere Krankenhäuser, aber auch Rehabilitationszentren, in denen Patient/innen nach akuter Erkrankung oder operativen Eingriffen gezielt medizinisch, therapeutisch und pflegerisch unterstützt werden.

Öffentliche Gesundheit

Der Öffentliche Gesundheitsdienst (ÖGD) hat die Aufgabe, die Gesundheit der Bevölkerung zu schützen, wozu Leistungen wie Infektionsschutz, Hygieneüberwachung und Impfangebote gehören. Er umfasst eine Vielzahl von Einrichtungen auf unterschiedlichen Verwaltungsebenen: auf kommunaler Ebene die Gesundheitsämter, auf Bundesebene Behörden wie die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), das Robert Koch-Institut (RKI) oder das Paul-Ehrlich-Institut (PEI).

Finanzierung und Verwaltung

Für alle Bürger/innen besteht in Deutschland eine allgemeine Krankenversicherungspflicht. Das Krankenversicherungssystem in Deutschland ist zweigliedrig organisiert und umfasst die gesetzliche und die private Krankenversicherung. Träger der gesetzlichen Krankenversicherung sind die Krankenkassen, die die Finanzierung der Gesundheitsleistungen übernehmen. Als eigenständige Körperschaften des öffentlichen Rechts unterliegen sie der staatlichen Aufsicht, verwalten sich aber selbst. Maßgebliches Organ der gemeinsamen Selbstverwaltung im Gesundheitswesen ist der Gemeinsame Bundesausschuss (G-BA), der u.a. festlegt, welche Leistungen von der gesetzlichen Krankenkasse gezahlt werden.

Kernergebnisse

Drei Trendcluster

prägen gemäß der Trendanalyse derzeit das Infrastruktursystem: Gesundheitsbelastungen im Wandel, Digitalisierung und datenbasierte Vernetzung sowie biotechnologische Innovationen.

Aufkommende Technologien

sind unter anderem digitale Public-Health-Anwendungen, die dabei helfen können, die steigenden Kosten im Gesundheitssystem besser zu kontrollieren, KI-gestützte Therapieangebote zur Behandlung psychischer Erkrankungen sowie sogenannte Labs-on-a-Chip, kompakte Minilabore, die komplexe Laboranalysen auf kleinstem Raum ermöglichen.

Status quo der Gefährdungslagen

Die aktuelle Gefährdung des Infrastruktursystems durch die meisten systemische Risiken ist insgesamt als mittel einzustufen, mit einer Tendenz zu zunehmender oder hoher Gefährdung in einzelnen Bereichen. Besonders gravierend wirken sich derzeit Versorgungsengpässe aus, etwa der Fachkräftemangel und Lieferengpässe bei Arzneimitteln, aber auch gesellschaftliche Polarisierung und Machtkonzentrationen beeinträchtigen dessen Stabilität und Funktionsfähigkeit.

Entwicklungsdynamiken

Die fortschreitende Digitalisierung verstärkt systemische Risiken wie Cyberkriminalität infolge wachsender Angriffsflächen und unzureichender Sicherheitsstrukturen. Auch gesellschaftliche Polarisierungen, etwa durch ungleiche Datenrepräsentation im Sinne eines Gender Data Gaps, gewinnen zunehmend an Dynamik.

Gefährdungslagen im Zuge der Transformation

Die Transformation zu einer sektorübergreifenden, digitalisierten und klimafreundlichen Versorgung wird sowohl durch zeitliche als auch systemische und akteursbezogene Pfadabhängigkeiten erschwert.

Fokusthemen

Für eine vertiefende Untersuchung im Rahmen des Resilienz-Checks werden drei Fokusthemen vorgeschlagen: (1) Neue Infektionsrisiken –

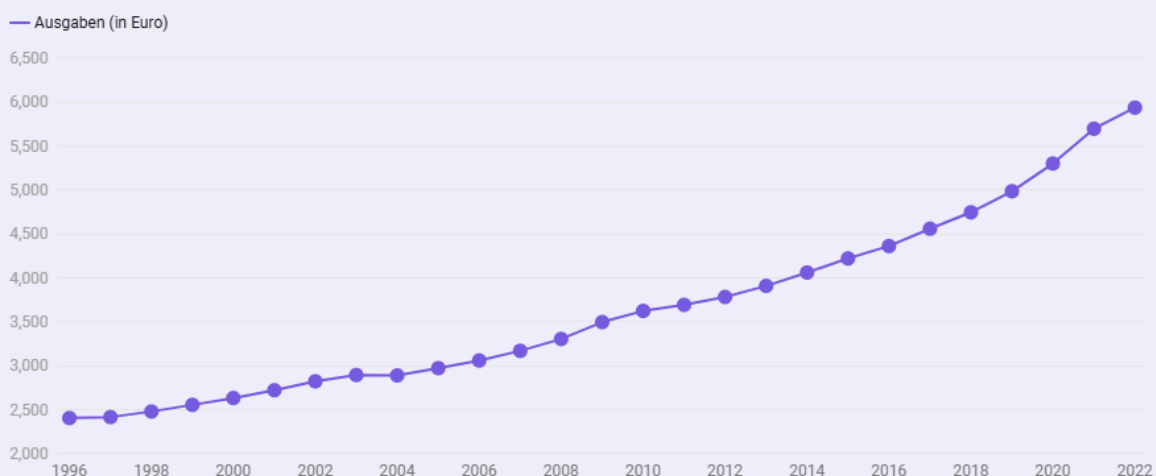
Innovationen und Technologien für Prävention und Resilienzsteigerung, (2) KI-Systeme zur Resilienzsteigerung der Gesundheitsversorgung sowie (3) biotechnologische Produktionsplattformen für die flexible, dezentrale Entwicklung und Bereitstellung von Medikamenten und Impfstoffen.

Überblick über aktuelle Trends

Das Gesundheitssystem ist durch steigende Kosten und einen zunehmenden Fachkräftemangel gekennzeichnet. Weitere wichtige Trends lassen sich drei Clustern zuordnen: Zunehmende Gesundheitsbelastungen durch den demografischen Wandel und Epidemien, die fortschreitende Digitalisierung und datenbasierte Vernetzung sowie die wachsende Bedeutung biotechnologischer Innovationen.

Das deutsche Gesundheitssystem gehört – gemessen an den Pro-Kopf-Ausgaben – zu den teuersten der Welt. Je Einwohner/in haben sich die **Kosten für Prävention, Behandlung, Rehabilitation und Pflege** von 1996 bis 2022 mehr als verdoppelt (von 2.407 Euro auf 5.939 Euro) [\[1\]](#) ([Datengrafik](#)). Unabhängig davon hat sich auch die **wirtschaftliche Situation der deutschen Krankenhäuser** in den letzten Jahren verschlechtert [\[2\]](#). Aufgrund einer zu geringen Investitionsquote in Gebäude und Anlagen in den letzten Jahren besteht in vielen Kliniken ein wachsender Modernisierungsstau [\[3\]](#).

Entwicklung der Gesundheitsausgaben in Deutschland je Einwohner im Zeitraum von 1996 bis 2022



Details: Deutschland; Statistisches Bundesamt

Quelle: gbe-bund.de. (22. April, 2024). Entwicklung der Gesundheitsausgaben in Deutschland je Einwohner im Zeitraum von 1996 bis 2022 (in Euro) [Graph]. In Statista. Zugriff am 16. Juni 2025 • Daten herunterladen • Erstellt mit Datawrapper

Die **Anzahl der Beschäftigten** im Gesundheitssystem ist in den vergangenen Jahren gestiegen. Obwohl die Zahl der Krankenhäuser und Krankenhausbetten – bei steigender Zahl der behandelten Patient/innen – rückläufig ist [4], bleibt die **Versorgungsdichte** mit Gesundheitspersonal und Krankenhausbetten hoch; Deutschland nimmt diesbezüglich einen Spitzenplatz in der EU ein [5]. Vor allem in ländlichen und strukturschwachen Regionen zeichnen sich jedoch zunehmend **Probleme bei Versorgung mit Fachkräften** ab [6]. Auch bei **öffentlichen Apotheken**, deren Zahl seit 10 Jahren deutlich sinkt [7], zeigt sich ein Stadt-Land-Gefälle gemessen an der Erreichbarkeit [8]. Verantwortlich für diese Entwicklungen ist die abnehmende Bevölkerungsdichte in ländlichen Gebieten, sodass die Gesundheitsversorgung pro Einwohner/in für die Leistungserbringer mit immer höheren Kosten verbunden ist [9]. Hinzu kommt der sich abzeichnende **Fachkräftemangel im Gesundheitswesen** [6].

Im Rahmen von Prävention, Diagnostik und Behandlung werden vielfältige Arzneimittel und Medizinprodukte eingesetzt, die in privatwirtschaftlichen Strukturen entwickelt und hergestellt werden. Die nationale **Pharma- und Medizinproduktebranche** ist ein volkswirtschaftlich bedeutender Wirtschaftszweig mit bislang wachsenden Umsätzen [10], bei gleichzeitig hohem Anteil für Forschung und Entwicklung. Sie ist allerdings zunehmend von **Fachkräftemangel**, verstärktem internationalem Wettbewerb und **Lieferkettenproblemen** betroffen [11][12][13]. Sowohl bei Pharmaprodukten als auch bei Rohmaterialien und Halbleitern, die für Medizinprodukte benötigt werden, ist Deutschland auf Importe angewiesen [14][13]. In der Pharmaproduktion wächst insbesondere die **Abhängigkeit von China und Indien**, die sich zu den wichtigsten Produzenten von Arzneimitteln und deren Wirkstoffen entwickelt haben [14][15]. Eine Folge davon sind **Lieferengpässe** bei bestimmten Medikamenten, Medizinprodukten und Impfstoffen, die in den letzten Jahren zugenommen haben [16].

Referenzen

1. Statistisches Bundesamt (2024): Gesundheitsausgaben je Einwohner in Deutschland bis 2022. Statista, www.de.statista.com/ (14.6.2024)
2. Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung (2024): Krankenhaus Rating Report 2024: Wirtschaftliche Lage deutscher Krankenhäuser hat sich 2022 erneut verschlechtert. 27.6.2024, www.rwi-essen.de/ (2.9.2024)

3. PwC (2023): Der Modernisierungstau in deutschen Krankenhäusern wächst weiter. PricewaterhouseCoopers, 4.10.2023, [www.pwc.de/ \(2.9.2024\)](https://www.pwc.de/2.9.2024)
4. GBE-Bund (2023): Anzahl der Krankenhäuser in Deutschland bis 2022. Gesundheitsberichterstattung des Bundes; Statista, www.de.statista.com/ (14.6.2024)
5. OECD (2020): Das deutsche Gesundheitssystem im internationalen Vergleich. Mitgeschnitten: Debatten, Daten, Dokumente. Organisation for Economic Co-operation and Development, 13.2.2020, www.blog.oecd-berlin.de/ (19.9.2024)
6. SVR (2024): Fachkräfte im Gesundheitswesen. Nachhaltiger Einsatz einer knappen Ressource. Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen und in der Pflege, Berlin, DOI: [10.4126/FRL01-006473488](https://doi.org/10.4126/FRL01-006473488)
7. ABDA (2024): Öffentliche Apotheken in Deutschland bis 2023. Bundesvereinigung Deutscher Apothekerverbände e. V., Statista, www.statista.com/ (14.6.2024)
8. Sturm, H.; Seisl, P. (2023): Update des Gutachtens „Qualität der Arzneimittelversorgung durch Apotheken im Ländlichen Raum“ unter besonderer Berücksichtigung der Rolle der Apotheken im Rahmen der Pandemie. Im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
9. van den Berg, N. et al. (2021): Gesundheitsversorgung im ländlichen Raum. Bundeszentrale für politische Bildung, 18.11.2021, www.bpb.de/ (19.9.2024)
10. Spectaris (2023): Umsatz der Industrie für Medizintechnik bis 2022. Statista, www.statista.com/ (2.9.2024)
11. iwd (2024): Pharma fehlen Fachkräfte. Der Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft, 1.2.2024, www.iwd.de/ (20.9.2024)
12. Kirchhoff, J. (2021): Industriepolitische Handlungsempfehlungen für eine zukunftsfähige Pharmaindustrie. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V., IW-Policy Paper 22/21
13. Werner, K. et al. (2023): Branchenanalyse Medizintechnik. Ein Industriezweig im Zuge neuer internationaler Krisen und fortschreitender Digitalisierung. Hans Böckler Stiftung, Working Paper Forschungsförderung 341, Düsseldorf
14. Bethkenhagen, D. (2022): Unabhängigkeit hat ihren Preis. In: Tagesspiegel Background Gesundheit & E-Health, 24.11.2022, background.tagesspiegel.de (19.9.2024)
15. Kühl, C. (2023): So abhängig sind wir: 70 Prozent unserer Medikamente enthalten Wirkstoffe aus China. Frankfurter Rundschau, 16.11.2023, www.fr.de/ (20.9.2024)
16. Menner, S. (2024): Lieferengpässe bei Medikamenten erreichen neuen Höchstwert. BR24, 29.1.2024, www.br.de/ (20.9.2024)

Gesundheitsbelastungen im Wandel

Durch den demografischen Wandel, ungesunde Lebensgewohnheiten sowie die Folgen von Umweltbelastungen und Klimawandel nehmen die Gesundheitsbelastungen und in Folge die Krankheitslasten zu. Nach wie vor ist das deutsche Gesundheitswesen primär auf die Diagnose, Behandlung, Rehabilitation und Pflege von Erkrankten ausgerichtet, während Maßnahmen zur Prävention und zum Erhalt von Gesundheit sowie zur Förderung gesunder Lebensweisen bislang nur nachrangig umgesetzt werden.

Chronische Erkrankungen, wie Diabetes, Herz-Kreislauf-, Atemwegs- oder neurodegenerative Erkrankungen, stellen in Deutschland eine zunehmende Herausforderung für das Gesundheitssystem dar. Mit zunehmendem Alter steigt das individuelle Risiko, chronisch zu erkranken [1], weshalb die kontinuierliche **Alterung der Bevölkerung** zu einer Zunahme von Krebserkrankungen, Typ-2-Diabetes oder Demenzerkrankungen geführt hat [2][3][4]. Als Auslöser vieler chronischer Erkrankungen gilt zudem insbesondere starkes **Übergewicht** (Adipositas), dessen Prävalenz in den letzten zwei Jahrzehnten stark zugenommen hat, wobei sozial benachteiligte Bevölkerungsgruppen besonders häufig betroffen sind [5]. Da chronische Erkrankungen nach wie vor nicht vollständig heilbar sind, binden sie in der Summe erhebliche medizinische Ressourcen.

Ein Anstieg ist außerdem bei bestimmten **umweltbezogenen Gesundheitsbelastungen** zu beobachten, die ebenfalls vor allem ältere oder sozial benachteiligte Bevölkerungsgruppen betreffen [6]. Eine Hauptursache dafür ist der **fortschreitende Klimawandel**, der mit einer Zunahme von Wetterextremen einhergeht. Seit den Hitzewellen von 2003, 2006, 2013 und 2018 steht aus gesundheitlicher Sicht besonders die Wärmebelastung im Fokus. Steigende Temperaturen sind nach vorliegenden Erkenntnissen für eine Vielzahl von Gesundheitsproblemen verantwortlich; die Vulnerabilität nimmt vor allem mit höherem Alter zu [7][8]. Das RKI schätzt, dass von 2018 bis 2020 insgesamt etwa 20.000 zusätzliche Todesfälle durch hohe Sommertemperaturen verursacht wurden. Damit wurde erstmalig in drei aufeinanderfolgenden Jahren ein signifikantes Ansteigen **hitzebedingter Sterbefälle** aufgezeigt [9].

Ein weiterer Trend ist die **Zunahme von Zoonosen** (von Tier zu Mensch übertragbare Infektionskrankheiten). Jüngste Beispiele sind die durch Coronaviren hervorgerufene weltweite Covid19-Pandemie, der Mpox-Ausbruch in Afrika sowie die Vogelgrippe H5N1 [10][11][12]. Die

Häufigkeit von Zoonosen hat in den letzten Jahren aufgrund des Klimawandels weltweit zugenommen, aber auch das Bevölkerungswachstum und der Verlust der Biodiversität beeinflussen die Verbreitung zoonotischer Erreger. In Deutschland ist zudem ein verstärktes Auftreten von **vektorübertragenen Infektionskrankheiten** festzustellen. So breiten sich hierzulande beispielsweise neue Zeckenarten sowie die Asiatische Tigermücke aus, die Krankheiten wie das Fleckfieber, Dengue-, Chikungunya- und Zika-Viren übertragen können [13].

Ein wachsendes Problem stellen zudem **antimikrobielle Resistenzen** dar, die in der EU derzeit jährlich 35.000 Todesfälle verursachen [14]. Durch den unsachgemäßen und missbräuchlichen Einsatz von Breitbandantibiotika, aber auch durch den Anstieg der Durchschnittstemperaturen [15] gibt es immer mehr Bakterienstämme, die gegen alle bekannten Antibiotika resistent sind. Dazu gehört der multiresistente „Krankenhauskeim“ MRSA ebenso wie die multiresistente Tuberkulose. Verschärft wird die Problematik durch den deutlichen **Rückgang der Erforschung und Entwicklung neuer Antibiotika** sowohl durch öffentliche Einrichtungen als auch durch die Pharmaindustrie seit Ende der 1990er Jahre [16][17]. Zwar gibt es inzwischen entsprechende nationale und internationale Strategien, Aktionspläne und FuE-Programme, aber der Weg bis zur Zulassung und Bereitstellung neuer wirksamer Antibiotika ist lang. Fortschritte bei **antimikrobiellen Therapien** (z.B. **Phagentherapie**) wecken derzeit Hoffnungen im Kampf gegen antimikrobielle Resistenzen.

Das deutsche Gesundheitssystem ist nach wie vor primär auf die Diagnose und Behandlung von Krankheiten ausgerichtet, während **Gesundheitsförderung, Prävention und Rehabilitation** nur eine untergeordnete Rolle spielen. Seit 2015 sind die Krankenkassen zwar gesetzlich verpflichtet, Präventionsleistungen zu erbringen. Im Jahr 2022 gaben sie jedoch nur einen Bruchteil für Vorsorge- und Rehabilitationsleistungen aus (rund 3,82 Mrd. Euro gegenüber 88,11 Mrd. Euro für Krankenhausbehandlungen und 46,14 Mrd. Euro für ärztliche Behandlungen) [18]. Dennoch sind Bemühungen vonseiten der Politik zu beobachten, die Prävention zu stärken. So wurde 2023 beispielsweise beschlossen, ein neues Bundesinstitut – das Bundesinstitut für Öffentliche Gesundheit (BIÖG) – aufzubauen, das sich mit der Prävention nichtübertragbarer Erkrankungen befassen soll. Darüber hinaus bieten auch **digitale Anwendungen** wie Wearables oder Gesundheits-Apps Chancen, die Prävention, Früherkennung und

Selbstüberwachung chronischer Erkrankungen zu verbessern ([Digital Public Health](#)).

Aufkommende technologische Entwicklungen

Phagentherapie

Die wachsenden antimikrobiellen Resistenzen [19] haben in der Humanmedizin das Interesse an alternativen Methoden zur Bekämpfung von Bakterien geweckt. So werden beispielsweise Antivirulenztherapien erforscht, die nicht die Bakterien abtöten, sondern deren Pathogenität hemmen, um Resistenzbildung zu vermeiden. Im Fokus steht zudem die Phagentherapie, bei der bakterielle Infektionen mittels Bakteriophagen therapiert werden. Bei Bakteriophagen handelt es sich um Viren, die Bakterien infizieren und abtöten können. Bei multiresistenten Keimen könnten Bakteriophagen teure und aufwendige Antibiotikaentwicklungen ergänzen oder sogar ersetzen. Da Phagen jedoch häufig nur gegen bestimmte Bakterienarten bzw. -stämme wirksam sind, müssen therapeutische Anwendungen sehr spezifisch auf die Erreger zugeschnitten sein oder, um eine breitere Wirksamkeit zu haben, Mischungen verschiedener Phagen enthalten. Die Phagentherapie ist deshalb kein vollwertiger Ersatz für Antibiotika, sondern kommt vor allem bei chronischen Infektionen infrage. Das Prinzip der Phagentherapie ist schon seit über 100 Jahren bekannt und seine medizinische Anwendung wird in Deutschland in verschiedenen Projekten erforscht [20]. Bislang wurde jedoch noch kein Phagenpräparat in westlichen Industrieländern als Arzneimittel zugelassen. Ein Grund dafür ist, dass in klinischen Studien noch keine ausreichenden Wirksamkeitsnachweise erbracht werden konnten, wie TAB-Bericht aus dem Jahr 2023 zu diesem Thema zeigt [21]. Der TAB-Bericht weist zudem darauf hin, dass einer breiteren Anwendung auch regulatorische und wirtschaftliche Hürden entgegenstehen. So müssten Phagenpräparate, die aus Mischungen unterschiedlicher Phagenarten bestehen und deren Zusammensetzung angepasst werden muss, ggf. neue aufwändige Genehmigungsverfahren durchlaufen. Da Phagenpräparate meist nur für eine kleine Patientengruppe in Frage kommen, ist zudem unklar, ob sich ihre Entwicklung wirtschaftlich amortisieren kann. Zur Bekämpfung von Antibiotikaresistenzen ist daher neben neuen Therapieansätzen z.B. auch ein gezielterer Einsatz von Antibiotika erforderlich, um die Resistenzbildung zu verhindern.

Digital Public Health

Digital Public Health ist ein eher neuer Begriff, der nach der Definition des Fachbereichs Digital Public Health der Deutschen Gesellschaft für Public Health e. V. dieselben Ziele verfolgt wie Public Health, allerdings unter Berücksichtigung digitaler Technologien [22]. Zu den zentralen Aufgaben von Public Health gehören die Krankheitsüberwachung und die Bewertung der Gesundheit der Bevölkerung, die Gesundheitsförderung sowie die Prävention. Die Digitalisierung bietet in diesen Bereichen vielfältige Chancen und hat damit das Potenzial, Public Health und Prävention insgesamt zu stärken und so die wachsenden Kosten des Gesundheitssystems besser in den Griff zu bekommen. So können Gesundheits-Apps und Wearables die Vorsorge und das Selbstmanagement chronischer Krankheiten wie Diabetes unterstützen. Ergänzt werden könnte dies durch KI-gestützte Präventionsplattformen, die auf der Grundlage valider und diskriminierungsfreier Daten individuelle Risikoprofile analysieren und personalisierte Gesundheitsratschläge geben. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die digitale Epidemiologie, also Untersuchungen zur Häufigkeit und Verteilung von Krankheit in der Bevölkerung anhand von digitalen Daten [23]. Das Internet, soziale Medien oder mobile Endgeräte bieten einen großen Datenschatz, um Verhaltens-, Interaktions- und Mobilitätsmuster in Bevölkerungsgruppen zu analysieren, was bei der Bekämpfung übertragbarer Krankheiten von großem Wert sein kann [24]. Bei der Etablierung datenbasierter Frühwarnsysteme können auch kleinräumige Daten aus Abwasseranalysen einbezogen werden [25]. Das zunehmende Risiko von zoonotischen Erkrankungen oder Antibiotikaresistenzen zeigt die Relevanz von Datenstrukturen, die verschiedene Datenquellen integrieren, um statistische Auffälligkeiten automatisiert erkennen zu können. Digital Public Health ist ein noch junges Forschungsfeld, das in Deutschland erst am Anfang steht. Bei der Implementierung ist darauf zu achten, dass sozioökonomische und gesundheitliche Ungleichheiten nicht verstärkt werden. Ein Problem ist die ungleiche Verteilung in der Bevölkerung hinsichtlich des kompetenten Umgangs mit und des Zugangs zu digitalen Technologien [26]. Gerade Gruppen mit einem erschwerten Zugang zum Gesundheitssystem sind häufig von der Nutzung digitaler Gesundheitsanwendungen ausgeschlossen.

Referenzen

1. BMBF (o. J.): Viele Erkrankungen werden mit dem Alter häufig. Bundesministerium für Bildung und Forschung, www.gesundheitsforschung-bmbf.de/ (20.9.2024)

2. OECD; European Commission (2025): EU Country Cancer Profile: Germany 2025. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, <https://doi.org/10.1787/f3a3cfcf-en>
3. Deutsche Alzheimer Gesellschaft (2022): Die Häufigkeit von Demenzerkrankungen. Informationsblatt 1, Berlin
4. Tagesspiegel Background (2024a): Deutliche Zunahme von Typ-2-Diabetes. 2.9.2024, www.background.tagesspiegel.de/ (23.9.2024)
5. Schneider, S.; Holzwarth, B. (2022): Sozioökonomische Aspekte der Adipositas. In: Herpertz, S. et al. (Hg.): Handbuch Essstörungen und Adipositas. Berlin, S. 459–465, DOI: [10.1007/978-3-662-63544-5_58](https://doi.org/10.1007/978-3-662-63544-5_58)
6. TAB (2024): Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken (Autor/innen: Behrendt, S. et al.). Endbericht zum TA-Projekt. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Berlin, DOI: [10.5445/IR/1000171996](https://doi.org/10.5445/IR/1000171996)
7. Mehrhof, S.; Bunn, S. (2024): Public health impacts of heat. POSTnote 723, DOI: [10.58248/PN723](https://doi.org/10.58248/PN723)
8. Wong, C. (2024): How climate change is hitting Europe: three graphics reveal health impacts. In: Nature 630(8018), S. 800–801, DOI: [10.1038/d41586-024-02006-3](https://doi.org/10.1038/d41586-024-02006-3)
9. Winklmayr, C. et al. (2022): Heat-Related Mortality in Germany From 1992 to 2021. In: Deutsches Ärzteblatt International 119(26), S. 451–457, DOI: [10.3238/arztebl.m2022.0202](https://doi.org/10.3238/arztebl.m2022.0202)
10. Jones, K. E. et al. (2008): Global trends in emerging infectious diseases. In: Nature 451(7181), S. 990–993, DOI: [10.1038/nature06536](https://doi.org/10.1038/nature06536)
11. Pharma-Fakten (2023): Gesundheitsgefahr Zoonosen: 2,4 Milliarden Erkrankte pro Jahr. 12.12.2023, www.pharma-fakten.de/ (2.7.2024)
12. Rivera-Janer, I. (2022): Looking at Possible Anthropogenic Factors Driving the Increase of Zoonotic Disease. Princeton Public Health Review, 5.11.2022, www.pphr.princeton.edu/ (23.9.2024)
13. Robert Koch-Institut (2023): Auswirkungen des Klimawandels auf Infektionskrankheiten und antimikrobielle Resistenzen. Teil 1 des Sachstandsberichts Klimawandel und Gesundheit 2023. In: Journal of Health Monitoring (Special Issue S3), Berlin
14. Antunes, L. (2023): Tackling antimicrobial resistance: From science to pharmaceuticals policy. European Parliamentary Research Service, Luxemburg
15. Meinen, A. et al. (2023): Antibiotikaresistenz in Deutschland und Europa – Ein systematischer Review zur zunehmenden Bedrohung, beschleunigt durch den Klimawandel. In: Journal of Health Monitoring 8(S3), DOI: [10.25646/11395](https://doi.org/10.25646/11395)
16. vfa (2020): Arzneimittel – Anzahl der in Deutschland neu eingeführten Antibiotika bis 2020. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V.; Statista, www.statista.com/ (23.9.2024)

17. vfa (2022): Antibiotika: Bestandsaufnahme zu Präparaten und Unternehmen. 1.11.2022, www.vfa.de/ (14.6.2024)
18. BMG (2023): GKV – Ausgaben einzelner Leistungsbereiche bis 2022. Statista, www.statista.com/ (23.9.2024)
19. Naghavi, M. et al. (2024): Global burden of bacterial antimicrobial resistance 1990–2021: a systematic analysis with forecasts to 2050. In: The Lancet 404(10459), S. 1199–1226, DOI: [10.1016/S0140-6736\(24\)01867-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01867-1)
20. Wissenschaftliche Dienste (2024): Projekte zur medizinischen Phagenforschung in Deutschland. Kurzinformation. Deutscher Bundestag, Berlin
21. TAB (2023): Bakteriophagen in Medizin, Land- und Lebensmittelwirtschaft – Anwendungsperspektiven, Innovations- und Regulierungsfragen. Innovationsanalyse (Autoren: König, H.; Sauter, A.). Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, DOI: [10.5445/IR/1000160512](https://doi.org/10.5445/IR/1000160512)
22. Maaß, L. et al. (2025): Digital Public Health in Deutschland: Status quo, Herausforderungen und Zukunftsperspektiven. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 68, S. 176–184, DOI: [10.1007/s00103-024-03989-0](https://doi.org/10.1007/s00103-024-03989-0)
23. Salathé, M. (2018): Digital epidemiology: what is it, and where is it going? In: Life Sciences, Society and Policy 14(1), S. 1, DOI: [10.1186/s40504-017-0065-7](https://doi.org/10.1186/s40504-017-0065-7)
24. Brockmann, D. (2020): Digitale Epidemiologie. In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 63, S. 166–175, DOI: [10.1007/s00103-019-03080-z](https://doi.org/10.1007/s00103-019-03080-z)
25. Schmiede, D. et al. (2024): Small-scale wastewater-based epidemiology (WBE) for infectious diseases and antibiotic resistance: A scoping review. In: International Journal of Hygiene and Environmental Health 259, S. 114379, DOI: [10.1016/j.ijheh.2024.114379](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2024.114379)
26. Zeeb, H. et al. (2020): Digital Public Health – ein Überblick. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 63, S. 137–144, DOI: [10.1007/s00103-019-03078-7](https://doi.org/10.1007/s00103-019-03078-7)

Digitalisierung und datenbasierte Vernetzung

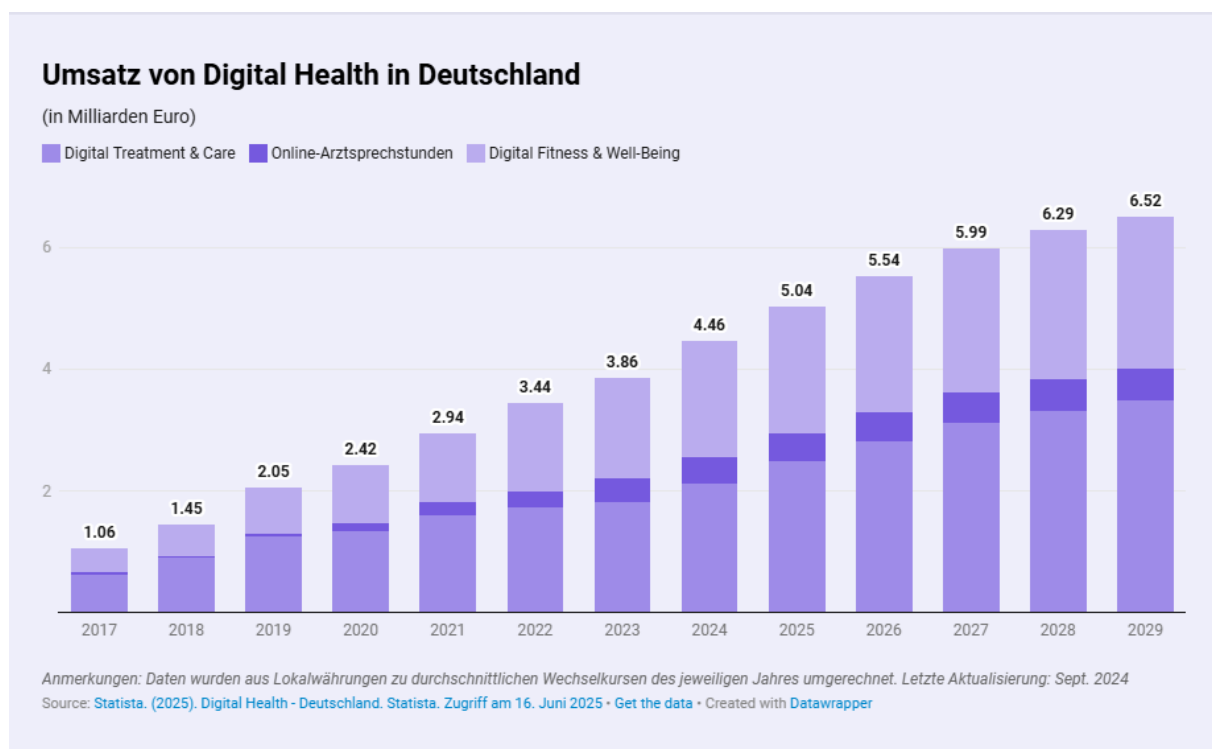
Die Gesundheitsversorgung in Deutschland wird zunehmend durch digitale Technologien wie die elektronische Patientenakte oder digitale Gesundheitsanwendungen (DiGA) unterstützt. Darüber hinaus gewinnen KI-gestützte Werkzeuge in der Früherkennung, Behandlung und im Management von Krankheiten an Bedeutung.

Die Gesundheitsversorgung befindet sich mitten in der digitalen Transformation, die viele Chancen, aber auch **neue Risiken und Gefährdungslagen** mit sich bringt. Unter anderem wird der **Ausbau der Telematikinfrastruktur** vorangetrieben, die eine sichere digitale Vernetzung der Akteure im Gesundheitswesen (Versicherte, Ärzteschaft, Krankenhäuser, Apotheken, Krankenkassen etc.) gewährleisten soll. Zu den neu eingeführten Funktionen gehören das elektronische Rezept sowie die **elektronische Patientenakte (ePA)**. **Telemedizinische Anwendungen** (wie Videosprechstunden, Telemonitoring z.B. bei Herzinsuffizienz oder telekonsiliarische Befundbeurteilungen), von denen man sich eine bessere Versorgung der Bevölkerung v.a. in ländlichen Räumen erhofft, sind zwar teilweise bereits seit 2017 Teil der Regelversorgung [1]. Sie haben aber insgesamt noch einen eher geringen Anteil an der Versorgung [2]. Videosprechstunden wurden zwar während der Corona-Krise verstärkt genutzt, sind aber danach wieder zurückgegangen zu sein [2][1]. Im Bereich der digitalen Versorgung haben Ärzt/innen und Psychotherapeut/innen seit 2020 die Möglichkeit, **digitale Gesundheitsanwendungen (DiGA)** zu verordnen [3]. Die DiGA-Verordnung ermöglicht zwar Innovationen, steht aber in der Kritik wegen hoher Kosten und geringer evidenzbasierter Wirkung. Am Beispiel der ePA, die 2023 nur von weniger als 1 % der Versicherten genutzt wurde, zeigt sich, dass Akzeptanz und Nutzung dieser digitalen Angebote teilweise noch sehr gering sind [4][5]. Gründe hierfür sind u. a. Datenschutzbedenken, geringe digitale Gesundheitskompetenz und technische Zugangsbarrieren. Um die Nutzer/innenzahlen zu steigern, wurde sie Ende 2024 für alle Versicherten verpflichtend eingeführt (mit Opt-Out-Regelung).

Die Digitalisierung der Gesundheitsversorgung ist einerseits auf verlässliche **Gesundheitsdaten** angewiesen, führt andererseits aber auch zur Entstehung großer Datenmengen, deren Nutzung und Schutz neue Anforderungen mit sich bringt. In den letzten Jahren wurden sowohl in Deutschland als auch in der EU die rechtlichen Grundlagen für die Nutzung von Gesundheitsdaten verbessert. Die einrichtungsübergreifende Nutzung scheitert derzeit jedoch häufig noch an der **mangelnden Interoperabilität** der Daten und IT-Systeme [6]. Im neu gegründeten Forschungsdatenzentrum Gesundheit (**FDZ Gesundheit**) sollen künftig pseudonymisierte Abrechnungsdaten von Versicherten der gesetzlichen Krankenversicherung für die Forschung zur Verfügung stehen. Auf europäischer Ebene soll der **European Health Data Space** die sichere, grenzüberschreitende Nutzung von Gesundheitsdaten ermöglichen. Mit einer zunehmend datenbasierten

Gesundheitsversorgung soll eine stärkere Fokussierung auf individualisierte Prädiktion, Prävention und Präzisionsmedizin möglich werden – bis hin zur Vision eines digitalen Patient/innenzwillings.

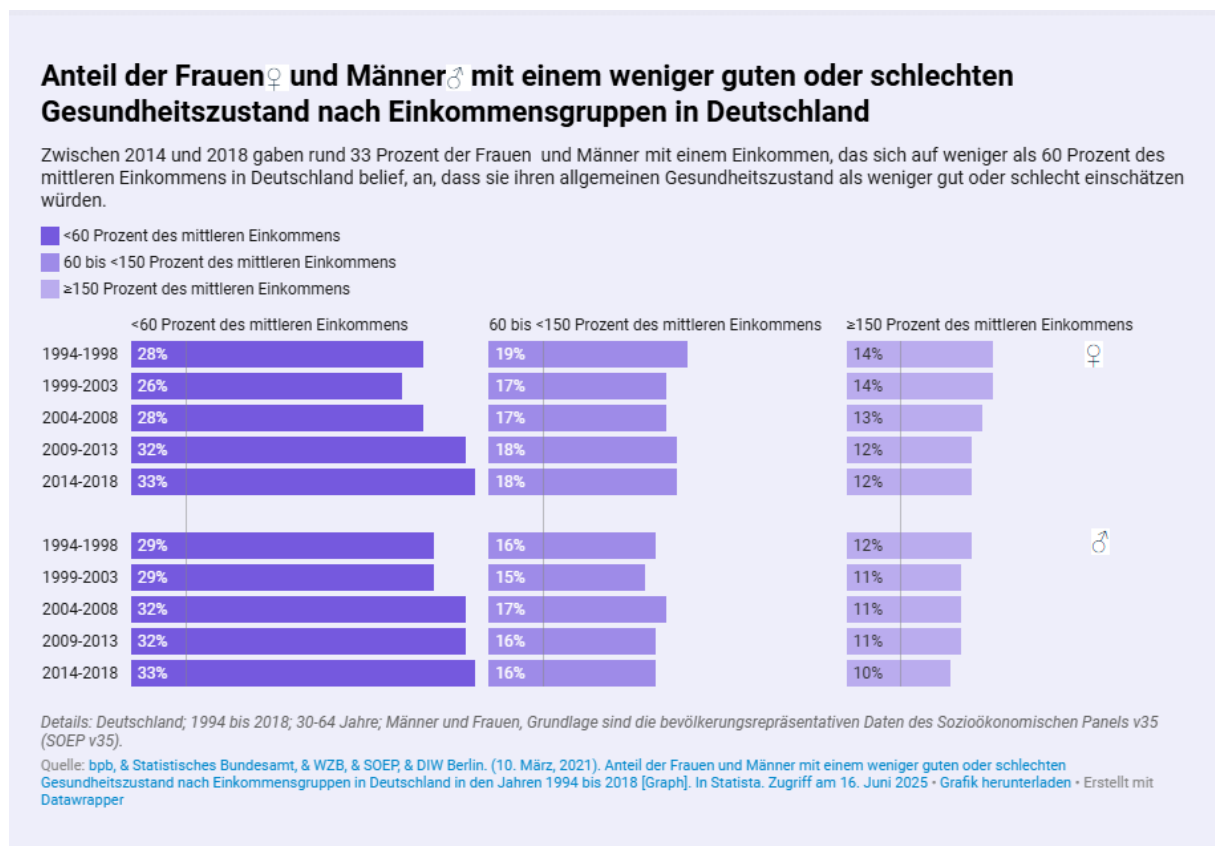
Neben der Gesundheitsversorgung befindet sich auch die Gesundheitswirtschaft mitten in der digitalen Transformation. Der Digital-Health-Markt, der Anwendungen in den Bereichen Fitness und Wohlbefinden, Online-Arztprechstunden sowie Behandlung und Pflege umfasst, wächst sowohl weltweit als auch in Deutschland stark [7] (Datengrafik). Mit dem wachsenden Angebot an Gesundheits-Apps lösen sich die Grenzen zwischen der Gesundheitswirtschaft und der Digitalbranche zunehmend auf. Internationale Big-Tech- und Social-Media-Konzerne – wie Samsung, Apple und Google – spielen bei der Entwicklung von Apps im Präventions-, Wellness- und Lifestylebereich eine zunehmend wichtige Rolle und gewinnen auch hierzulande an Marktmacht [8][9]. Auch Apps, die auf der Basis von Symptomen eine KI-gestützte Selbstdiagnose – beispielsweise bei Verdacht auf Hautkrebs – oder psychotherapeutische Angebote mittels KI-basiertem Chatbot ermöglichen sollen, sind bereits verfügbar. Diese Entwicklungen im Bereich der Apps und Wearables fördern einerseits tendenziell die Selbstbestimmung der Patient/innen [10] andererseits besteht die Gefahr von Fehldiagnosen sowie Fehlbehandlungen durch Apps, deren Qualität nicht oder nur mangelhaft wissenschaftlich evaluiert wurde.



Auch wenn der große Durchbruch noch aussteht, dürfte **Künstliche Intelligenz** (KI) im Gesundheitswesen in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen [11]. KI bietet große Potenziale in der Datenanalyse – etwa für prädiktive Analysen, die Krankheitsrisiken frühzeitig erkennen, oder für die Automatisierung von Diagnosen, aber auch von Prozessen in der Verwaltung [12]. Der verstärkte Einsatz von KI-Systemen birgt jedoch die **Gefahr diskriminierender Verzerrungen**. Besonders dynamisch entwickelt sich die KI-Unterstützung in der klinischen Diagnostik, etwa in der Früherkennung und präzisen Klassifizierung von Krebserkrankungen, neurodegenerativen Krankheiten oder Herzerkrankungen [13][14][15][16]. Auch die **Robotik** gewinnt in der Medizin zunehmend an Bedeutung, wobei die Chirurgie, die Prothetik sowie die Rehabilitation die wichtigsten Anwendungsbereiche darstellen [17]. Der Anteil mit robotischer Unterstützung durchgeführter Operationen nimmt in Deutschland stetig zu – das Da-Vinci-Operationssystem ermöglicht hochpräzise, minimalinvasive Eingriffe und wurde bisher bei mehr als 7 Mio. Eingriffen eingesetzt [18]. Die zunehmende robotische Unterstützung im klinischen Alltag hat Auswirkungen auf das professionelle Handeln sowie ethische Implikationen, die es zu reflektieren gilt [19]. Eine weitere digitale Technologie, die für Anwendungen in der Präzisionsmedizin – etwa für die Herstellung maßgeschneiderter Zahnkronen, Hörgeräte und Prothesen, aber auch von Arzneimitteln – immer wichtiger wird, ist die **additive Fertigung (3D-Druck)** [20][21]. Moderne Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien (Smart Manufacturing) ersetzen in der Pharma- und Medizintechnikindustrie zunehmend traditionelle Fertigungsverfahren und ermöglichen eine personalisierte Produktion [22].

Die Digitalisierung im Gesundheitswesen führt zu einem **erheblichen Kompetenzwandel** sowohl bei den Gesundheitsfachkräften als auch bei den Patient/innen [23]. Gesundheitsfachkräfte müssen digitale Technologien nicht nur bedienen können, sondern benötigen **erweiterte Technikkompetenzen**, um die Folgen des Einsatzes digitaler Technologien einschätzen und bewerten zu können. Um digitale Gesundheitsanwendungen nutzen zu können, müssen Patient/innen nicht nur in der Lage sein, diese zu bedienen, sondern auch über die Fähigkeit verfügen, Gesundheitsinformationen kritisch zu bewerten. Die Tatsache, dass Menschen mit niedrigem Einkommen, geringer Bildung oder in ländlichen Gebieten oft weniger Zugang zu digitalen Gesundheitsangeboten haben (**Digital Divide**) [24], ist insofern ein grundlegendes Hindernis für den Nutzen der Digitalisierung, als sie

bestehende gesundheitliche Ungleichheiten zu verschärfen droht (Datengrafik).



Aufkommende technologische Entwicklungen

Digitaler Patient/innenzwilling

Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Modell physischer Entitäten, das anhand von Daten und Echtzeitsimulationen erstellt wird. Das Konzept digitaler Zwillinge stammt ursprünglich aus der industriellen Fertigung, gewinnt aber auch in der Raumplanung sowie der Medizin und der Gesundheitsversorgung immer mehr an Bedeutung [25]. Ziel eines digitalen Patient/innenzwillings ist es, ein detailliertes und dynamisches virtuelles Modell einer Person oder einzelner Organe bzw. Körperteile zu schaffen. Die Modellierung wird ermöglicht durch die Erhebung unterschiedlichster individueller Gesundheitsdaten, wie Vitalparameter, medizinische Bilddaten, genetische Informationen sowie Umgebungsfaktoren (mithilfe von Apps, Wearables, Diagnosetools, DNA-Tests, Implantaten etc.), und den Einsatz von KI-Algorithmen. Diese Modelle sollen u.a. Krankheitsverläufe simulieren und Ärzt/innen helfen, Therapien präzise anzupassen und potenzielle Reaktionen auf verschiedene Behandlungsmethoden vorherzusagen. Dadurch, dass der digitale Patient/innenzwilling kontinuierlich mit neuen Daten

aktualisiert wird, sollen Veränderungen im Gesundheitszustand der Patient/innen quasi in Echtzeit erfasst werden können, um bei Bedarf schnell reagieren zu können. Die Technologie hat grundsätzlich das Potenzial, frühzeitigere und präzisere Diagnosen, eine verbesserte Prävention sowie personalisierte Behandlungen zu ermöglichen. Erste Patient/innenzwillinge wurden **prototypisch** realisiert. Die Vision eines umfassenden Patientenmodells ist heute aufgrund fehlender Daten und eines erst mangelhaften Verständnisses physiologischer Prozesse noch nicht bzw. nur in **Teilaspekten** umsetzbar. Die Etablierung von digitalen Patient/innenzwillingen setzt neben technologischen Fortschritten in Bereichen wie KI und Simulationstechnologien, Medizintechnik und Diagnostik eine digitalisierte Gesundheitsversorgung voraus. Eine damit verbundene Herausforderung ist der Datenschutz; sensible Gesundheitsdaten müssen ausreichend geschützt werden. Ohne standardisierte Dateninfrastruktur, flächendeckende ePA-Nutzung und klare ethische Standards dürfte das Potenzial beschränkt bleiben.

KI-Therapeut/innen

Psychische Störungen werden nicht nur bei Kindern und Jugendlichen immer häufiger [26][27], auch bei Erwerbstätigen nehmen Krankschreibungen und Fehltage aufgrund psychischer Erkrankungen seit 2011, verstärkt seit der Covid-19-Pandemie, zu [28][29]. Damit steigt auch die Nachfrage nach Psychotherapien rasant, Patient/innen sind teilweise mit sehr langen Wartezeiten konfrontiert [30]. KI und Chatbots könnten Therapien in Zukunft sinnvoll ergänzen und Betroffene im Alltag unterstützen. So hat beispielsweise das Mannheimer Zentralinstitut für Seelische Gesundheit (ZI) eine KI-App entwickelt, die das Risiko für psychische Krankheiten bei Jugendlichen verringern soll, indem sie Übungen anleitet und Tipps gibt [31]. Weitere ähnliche Apps sind bereits erhältlich („Wysa“ oder „Woebot Health“) oder in Entwicklung – in der Regel sind sie aber noch nicht als Medizinprodukt zugelassen [32]. Vor allem bei der Diagnose psychischer Störungen könnten KI-Anwendungen zukünftig einen großen Nutzen haben [33]. In Forschungsprojekten wurden beispielsweise LLMs mit Erfolg eingesetzt, um aus der Stimmlage oder per App aufgezeichneten Schallwellen Hinweise auf psychische Erkrankungen mit großer Genauigkeit zu ableiten zu können [34][35]. Eine Herausforderung besteht neben der Zulassung als Medizinprodukt u.a. bei ihrer Integration in die medizinische Versorgung, was geschultes Personal und aus Datenschutzgründen eine sichere IT-Infrastruktur voraussetzt [36]. Niedrigschwellige digitale Angebote

könnten insbesondere in ländlichen oder unterversorgten Regionen den Zugang zur psychischen Gesundheitsversorgung verbessern.

Referenzen

1. BIOCOM AG (2024): Umsatz der deutschen Biotech-Industrie bis 2023. Statista, www.statista.com/ (26.9.2024)
2. EY (2023): Biotech in Deutschland – Beschäftigte bis 2022. . Ernst & Young; Statista, www.statista.com/ (26.9.2024)
3. Evaluate (2023): Anteil von Biotechnologie am weltweiten Pharmaumsatz. Statista, www.statista.com/ (2.9.2024)
4. Biopharmazeutika sind Arzneimittel, deren Wirkstoffe mithilfe gentechnisch veränderter Organismen hergestellt wurde. Vgl. vfa (2024): Biopharmazeutika: Marktanteil wächst. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V., 5.6.2024, www.vfa.de/ (14.6.2024).
5. vfa (2024): So viele mRNA-Impfstoffe werden entwickelt. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V., 30.8.2024, www.vfa.de/ (3.9.2024)
6. vfa (2024): Monitor ATMP-Standort Deutschland. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V., www.vfa.de/ (26.9.2024)
7. Alex, K.; König, J. (2023): Dürfen Gentherapien so viel kosten? Ethische Bewertung der hohen Preise und des performanceorientierten Erstattungsmodells. In: Fehse, B. et al. (Hg.): Gen- und Zelltherapie 2.023 – Forschung, klinische Anwendung und Gesellschaft: AG Gentechnologiebe-richt mit freundlicher Unterstützung der DG-GT und des GSCN. Berlin, Heidelberg, S. 317–337, DOI: [10.1007/978-3-662-67908-1_22](https://doi.org/10.1007/978-3-662-67908-1_22)
8. ÄrzteZeitung (2024): Techniker: GKV kann Kosten neuer Gentherapien auf Dauer nicht stemmen. 6.3.2024, www.aerztezeitung.de/ (27.4.2025)
9. Boston Consulting Group; vfa (2024): Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2024. Wirt-schaftsdaten Biopharmazeutika und KI als Tool in F&E und in der Patient:innenversorgung. Berlin
10. Budde, K. (2024): Arzneimittel mit KI entwickeln: Von der Idee bis zur Zulassung. Anwendungen, Potenziale und Herausforderungen. Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz, DOI: [10.48669/PLS_2024-1](https://doi.org/10.48669/PLS_2024-1)
11. Babu, M.; Snyder, M. (2023): Multi-Omics Profiling for Health. In: Molecular & Cellular Proteomics 22(6), Art. 100561, DOI: [10.1016/j.mcpro.2023.100561](https://doi.org/10.1016/j.mcpro.2023.100561)
12. Kirchhoff, J. (2021): Industriepolitische Handlungsempfehlungen für eine zukunftsfähige Pharmain-dustrie. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V., IW-Policy Paper 22/21

13. Haag, M. et al. (2023): China auf dem Weg zur führenden Technologienation. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V., IW-Report 53
14. vfa (o. J.): Deutschland verliert bei klinischen Studien an Boden. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V., www.vfa.de/ (14.6.2024)
15. Drese, K. S. (2019): „Lab on a Chip“. In: Der Internist 60(4), S. 339–344, DOI: [10.1007/s00108-018-0526-y](https://doi.org/10.1007/s00108-018-0526-y)
16. Fraunhofer IMM (o. J.): Das Labor auf dem Chip für den patientennahen Test. Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM, www.imm.fraunhofer.de/ (9.10.2024)
17. Fraunhofer IWS (2022): Lab-on-chip-Systeme: In kürzester Zeit vom Prototypen zur Serienfertigung. Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, 27.1.2022, www.iws.fraunhofer.de/ (9.10.2024)
18. Fan, S. (2024): mRNA Cancer Vaccines Spark Renewed Hope as Clinical Trials Gain Momentum. Singularity Hub, 26.6.2024, www.singularityhub.com/ (15.7.2024)
19. The Economist (2025): Cancer vaccines are showing promise at last, Cancer vaccines are showing promise at last. 1.1.2025, www.economist.com (9.7.2025)
20. Zhang, G. et al. (2023): mRNA vaccines in disease prevention and treatment. In: Signal Transduction and Targeted Therapy 8(1), S. 1–30, DOI: [10.1038/s41392-023-01579-1](https://doi.org/10.1038/s41392-023-01579-1)

Biotechnologische Innovationen

Als zentraler Innovationstreiber beeinflusst die Biotechnologie zunehmend Strukturen, Prioritäten und Abhängigkeiten im Gesundheitssystem. Sie ermöglicht innovative Therapien und Diagnoseverfahren für komplexe Krankheitsbilder und trägt zu einer stärker personalisierten Medizin bei. Der Anteil biotechnologisch hergestellter Medikamente (insbesondere Biopharmazeutika) am weltweiten Pharmaumsatz ist in den letzten Jahren stark gestiegen.

Die Biotechnologie, die biologische Prozesse und Substanzen für industrielle Anwendungszwecke nutzbar zu machen sucht, ist eine **stark wachsende Branche** in Deutschland. Im Jahr 2023 setzte der Wirtschaftszweig hierzulande rund 12,57 Milliarden Euro um, was fast einer Versechsfachung gegenüber 2013 entspricht; die Anzahl der Beschäftigten wuchs im gleichen Zeitraum von knapp 10.000 auf über 47.000 [1][2] (**Datengrafik**). **Medizinische Anwendungen**, der Schwerpunkt der deutschen Biotech-Industrie, haben im Zuge der Covid-19-Pandemie einen starken Aufschwung erlebt. Die Grenze

zwischen der medizinischen Biotech- und der Pharma-Industrie ist zunehmend schwer zu ziehen, da der Anteil der Biotechnologie am weltweiten Pharmaumsatz signifikant zugenommen hat [3]. Der Anteil von **Biopharmazeutika** am deutschen Pharmamarkt beläuft sich mittlerweile auf über ein Drittel (2023: 19,2 Mrd. Euro von 55,7 Mrd. Euro) [4].

Darüber hinaus sind verschiedene andere **biotechnologische Verfahren** in der Entwicklung, die Hoffnungen auf maßgeschneiderte Therapien für viele bislang unbehandelbare Krankheiten wecken. Sie bringen aber auch neue Herausforderungen, etwa bei Regulierung und Finanzierung, mit sich bringen. **mRNA-Plattformen** bieten die Möglichkeit, flexibel und schnell personalisierte Impfstoffe und Therapieverfahren zu entwickeln. mRNA-Impfstoffe wurden erstmals gegen Covid-19 zugelassen und gelten inzwischen als wichtige Plattformtechnologie für eine zukünftige Pandemievorsorge. Darüber hinaus sind **mRNA-basierte Therapien** für viele weitere Krankheiten, insbesondere Krebs, in der Entwicklung [5]. Im Bereich der **gen- und zellbasierten Therapien** kommen neue Techniken der Genomeditierung zum Einsatz, die an den genetischen Ursachen von Krankheiten ansetzen und so die Behandlung bisher unheilbarer seltener Erkrankungen ermöglichen [6]. Aufgrund der hohen Entwicklungskosten und der einmaligen Anwendung liegen die Preise für Gentherapeutika allerdings teilweise im Millionenbereich, was bei zunehmender Verfügbarkeit zu einer Kostenexplosion im Gesundheitswesen führen könnte [7][8]. Auch in der **Diagnostik** gewinnen molekularbiologische Verfahren, z.B. in **Lab-on-a-Chip-Ansätzen**, zunehmend an Bedeutung und tragen zu einer weiteren Automatisierung der Labore bei.

Künstliche Intelligenz (KI) spielt bei der Analyse biologischer Daten und damit bei der Entwicklung neuer Biopharmazeutika und Diagnostika eine immer wichtigere Rolle und dürfte für die Wettbewerbsfähigkeit des Pharma- und Biotech-Standorts Deutschland von großer Bedeutung werden [10] (Boston Consulting Group/vfa 2024, S. 33; Budde 2024). Ein wichtiger Trend in diesem Zusammenhang ist die **Weiterentwicklung der Präzisionsmedizin durch KI-gestützte Multi-Omics-Analysen**. Von der Integration genomischer, proteomischer und anderer molekularer Daten zu multidimensionalen Datensätzen erhofft man sich neue Einblicke in komplexe Krankheitsprozesse und Hinweise auf mögliche individualisierte Therapieansätze [11]. Dabei stellen der Bias in Datensätzen und die mangelnde Transparenz von Algorithmen eine ethische Herausforderung dar.

Festzustellen ist eine **zunehmende Internationalisierung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten**, die verstärkt in kooperativen Forschungsnetzwerken stattfinden. So wurden 2019 knapp 22 % der Forschungsausgaben am Pharmastandort Deutschland aus dem Ausland finanziert [12], was deutlich über dem Wert anderer Branchen liegt. Allerdings ist zu beobachten, dass insbesondere die biotechnologische Forschung zunehmend in den USA und Asien stattfindet. Das zeigt sich u.a. bei den **Patententwicklungen**. Von 2010 bis 2019 hat sich die Anzahl der biotechnologischen Patentanmeldungen aus China mehr als versiebenfacht, während die Anmeldungen aus Deutschland um 16 % zurückgingen [13]. Bei Gen-, Zell- und Gewebetherapeutika liegt Deutschland, gemessen an der Zahl der geplanten und laufenden klinischen Arzneimittelstudien, mit 78 Studien hinter den USA (555 Studien), China (551) sowie Großbritannien (84) auf Platz 4 [6]. Insgesamt hat der Standort Deutschland bei der klinischen Forschung international an Gewicht verloren: 2016 noch auf Platz 2 hinter den USA mit 641 Arzneimittelstudien, lag er 2022 mit 524 Studien nur noch auf Platz 4 hinter den USA, China und Spanien [14].

Aufkommende technologische Entwicklungen

Lab-on-a-Chip

Bei Labs-on-a-Chip (LOC) handelt es sich um Labore im Kleinformat (Kreditkartengröße), mit deren Hilfe physikalisch-chemische Methoden miniaturisiert und automatisiert durchgeführt werden können [15][16]. Sie basieren auf mikrofluidischen Prinzipien und der Miniaturisierung der Sensorik und Analytik [15]. Die Bandbreite der Analysemöglichkeiten umfasst dabei „Ionen, Biomarker und DNA sowie lebende Zellen oder Pathogene (Bakterien und Viren), die direkt aus einer Blut-, Speichel- oder Tupferabstrichprobe isoliert und nachgewiesen werden können.“ [16]. Ein wichtiges Einsatzfeld ist die Diagnostik, von Virus-Schnelltests (z.B. Corona-Tests) bis hin zu einem kontinuierlichen Patienten-Monitoring, wobei LOC sowohl im Point-of-Care-Testing (also patientennahes Testen) als auch in Laborgeräten eingesetzt werden können. Durch ihre flexiblen Einsatzmöglichkeiten tragen sie zur Stärkung der dezentralen Diagnostik und damit der Resilienz des Gesundheitssystems bei. LOC können auch eine personalisierte Medizin unterstützen, indem sie individuellere Therapieansätze ermöglichen. Trotz der Vorteile der LOC-Technologie haben es bislang nur wenige Entwicklungen bis zur Marktreife geschafft. Ein Problem ist noch die Massenproduktion [17].

Impfstoff-Technologien der nächsten Generation

Die seit Mitte der 1990er Jahre betriebene Forschung an mRNA-basierten Impfstoffen für die Krebstherapie bildete die Grundlage für die rasche Entwicklung von mRNA-Impfstoffen gegen das SARS-CoV-2-Virus (Spikevax® von InterCell; Moderna; Comirnaty® von Pfizer-BioNTech) während der COVID-19-Pandemie – dem bisher einzigen Einsatz von mRNA-basierten Impfstoffen außerhalb klinischer Studien mit (bis August 2022) weltweit mehr als 12 Mrd. verabreichten Impfdosen. mRNA-Impfstoffen werden im Vergleich zu konventionellen Impfstoffen wie proteinbasierten Subunits, DNA- oder Lebendimpfstoffen verschiedene Vorteile zugeschrieben. Dazu gehören die Anwendbarkeit für verschiedene Bevölkerungsgruppen (auch für immungeschwächte Personen, für die z. B. Lebendimpfstoffe zu riskant sind), die einfache und schnelle Anpassung an neue Erregervarianten oder an patientenindividuelle (Tumor-)Antigenprofile sowie die skalierbare und relativ kostengünstige Produktion. Impfstoffe auf mRNA-Basis werden daher für eine Reihe von Infektionskrankheiten (z.B. Influenza, HIV/AIDS, Tuberkulose, Respiratory Syncytial Virus, Zika-Virus, Malaria) sowie für die Therapie verschiedener Krebsarten entwickelt. Daten aus einer tatsächlichen breiten Anwendung zur Wirksamkeit und Sicherheit zugelassener mRNA-Impfstoffe liegen derzeit jedoch nur für die beiden Covid-19-Impfstoffe vor. Impfstoffe für andere Indikationen befinden sich noch in der präklinischen Entwicklung oder in (meist frühen) klinischen Studien [18][19]. Die Hürden für die weitere Entwicklung von mRNA-basierten Impfstoffen gegen Infektionskrankheiten und für die Krebstherapie sind wissenschaftlich-technischer (z.B. Verringerung der Nebenwirkungen bei gleichzeitiger Wirksamkeit) und regulatorischer Natur (z.B. hinsichtlich der Herstellung individualisierter Krebsimpfstoffe). Herausforderungen ergeben sich auch bei der großtechnischen Produktion und Logistik von Impfstoffen, die teilweise bei -70 °C gelagert werden müssen [20]. Zudem stellt die globale Produktionsverteilung ein Risiko für Lieferketten in Krisenzeiten dar.

Fußnoten

1. BIOCOM AG (2024): Umsatz der deutschen Biotech-Industrie bis 2023. Statista, www.statista.com/ (26.9.2024)
2. EY (2023): Biotech in Deutschland – Beschäftigte bis 2022. . Ernst & Young; Statista, www.statista.com/ (26.9.2024)
3. Evaluate (2023): Anteil von Biotechnologie am weltweiten Pharmaumsatz. Statista, www.statista.com/ (2.9.2024)

4. Biopharmazeutika sind Arzneimittel, deren Wirkstoffe mithilfe gentechnisch veränderter Organismen hergestellt wurde. Vgl. vfa (2024): Biopharmazeutika: Marktanteil wächst. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V., 5.6.2024, www.vfa.de/ (14.6.2024).
5. vfa (2024): So viele mRNA-Impfstoffe werden entwickelt. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V., 30.8.2024, www.vfa.de/ (3.9.2024)
6. vfa (2024): Monitor ATMP-Standort Deutschland. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V., www.vfa.de/ (26.9.2024)
7. Alex, K.; König, J. (2023): Dürfen Gentherapien so viel kosten? Ethische Bewertung der hohen Preise und des performanceorientierten Erstattungsmodells. In: Fehse, B. et al. (Hg.): Gen- und Zelltherapie 2.023 – Forschung, klinische Anwendung und Gesellschaft: AG Gentechnologiebe-richt mit freundlicher Unterstützung der DG-GT und des GSCN. Berlin, Heidelberg, S. 317–337, DOI: [10.1007/978-3-662-67908-1_22](https://doi.org/10.1007/978-3-662-67908-1_22)
8. ÄrzteZeitung (2024): Techniker: GKV kann Kosten neuer Gentherapien auf Dauer nicht stemmen. 6.3.2024, www.aerztezeitung.de/ (27.4.2025)
9. Boston Consulting Group; vfa (2024): Medizinische Biotechnologie in Deutschland 2024. Wirt-schaftsdaten Biopharmazeutika und KI als Tool in F&E und in der Patient:innenversorgung. Berlin
10. Budde, K. (2024): Arzneimittel mit KI entwickeln: Von der Idee bis zur Zulassung. Anwendungen, Potenziale und Herausforderungen. Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz, DOI: [10.48669/PLS_2024-1](https://doi.org/10.48669/PLS_2024-1)
11. Babu, M.; Snyder, M. (2023): Multi-Omics Profiling for Health. In: Molecular & Cellular Proteomics 22(6), Art. 100561, DOI: [10.1016/j.mcpro.2023.100561](https://doi.org/10.1016/j.mcpro.2023.100561)
12. Kirchhoff, J. (2021): Industriepolitische Handlungsempfehlungen für eine zukunftsfähige Pharmain-dustrie. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V., IW-Policy Paper 22/21
13. Haag, M. et al. (2023): China auf dem Weg zur führenden Technologienation. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V., IW-Report 53
14. vfa (o. J.): Deutschland verliert bei klinischen Studien an Boden. Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V., www.vfa.de/ (14.6.2024)
15. Drese, K. S. (2019): „Lab on a Chip“. In: Der Internist 60(4), S. 339–344, DOI: [10.1007/s00108-018-0526-y](https://doi.org/10.1007/s00108-018-0526-y)
16. Fraunhofer IMM (o. J.): Das Labor auf dem Chip für den patientennahen Test. Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM, www.imm.fraunhofer.de/ (9.10.2024)

17. Fraunhofer IWS (2022): Lab-on-chip-Systeme: In kürzester Zeit vom Prototypen zur Serienfertigung. Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, 27.1.2022, www.iws.fraunhofer.de/ (9.10.2024)
18. Fan, S. (2024): mRNA Cancer Vaccines Spark Renewed Hope as Clinical Trials Gain Momentum. Singularity Hub, 26.6.2024, www.singularityhub.com/ (15.7.2024)
19. The Economist (2025): Cancer vaccines are showing promise at last, Cancer vaccines are showing promise at last. 1.1.2025, www.economist.com (9.7.2025)
20. Zhang, G. et al. (2023): mRNA vaccines in disease prevention and treatment. In: Signal Transduction and Targeted Therapy 8(1), S. 1–30, DOI: [10.1038/s41392-023-01579-1](https://doi.org/10.1038/s41392-023-01579-1)

Systemische Risiken und ihre Auswirkungen auf das Infrastruktursystem Gesundheit

Ein robustes **Gesundheitssystem**, das den Zugang zu einer qualitativ hochwertigen, flächendeckenden Gesundheitsversorgung gewährleistet, spielt eine grundlegende Rolle für die öffentliche Gesundheit und das Wohlergehen der Gesellschaft. Das Gesundheitssystem zählt in Deutschland daher zu den kritischen Infrastrukturen. **Systemische Risiken** können die Funktionalität und Stabilität der Gesundheitsversorgung grundlegend beeinträchtigen. Zudem können systemische Risiken das Erreichen gesellschaftlicher Transformationsziele wie die sektorenübergreifende und integrierte Versorgung, die Digitalisierung sowie die angestrebte Klimaneutralität des deutschen Gesundheitswesens maßgeblich beeinflussen.

[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 Gesundheit 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 Gesundheitswesens?

Status quo der Gefährdungslagen für das Gesundheitssystem

Das Infrastruktursystem Gesundheit ist durch verschiedene systemische Risiken gefährdet, die die einzelnen Systembereiche unterschiedlich stark betreffen. Die aktuelle Gefährdung des

Infrastruktursystems durch die meisten systemischen Risiken ist – auf Grundlage der ausgewerteten Quellen sowie der Ergebnisse der durchgeführten Fachgespräche – insgesamt als mittel einzuschätzen mit einer Tendenz zu einer zunehmenden bzw. hohen Gefährdungslage in bestimmten Bereichen. Besonders gravierend wirken sich derzeit Versorgungsengpässe aus, etwa der Fachkräftemangel und Lieferengpässe bei Arzneimitteln, aber auch gesellschaftliche Polarisierung und Machtkonzentrationen innerhalb des Systems beeinträchtigen dessen Stabilität und Funktionsfähigkeit. Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung wird bei einigen systemischen Risiken wie der Cyberkriminalität und gesellschaftlicher Polarisierung ein deutlicher Anstieg erwartet. Um diesen Risiken und ihren Folgen zu begegnen, ist die Robustheit des Infrastruktursystems entscheidend, d.h. der Grad, zu dem es für den Fall des Eintretens der Risiken vorbereitet und widerstandsfähig ist. Die Gesamtrobusheit des Infrastruktursystems Gesundheit wird gegenwärtig im Rahmen unserer Befragung des Resilienz-Radars derzeit als mittel 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 multifaktoriell bedingten **Versorgungsengpässe** im Gesundheitssystem stellen aktuell eine hohe Gefährdung für die Funktionalität und Stabilität der Gesundheitsinfrastruktur dar. Zentrale Ursachen sind der Fachkräftemangel sowie Lieferprobleme bei Arzneimitteln. Der Fachkräftemangel hat sich in den letzten Jahren deutlich verschärft und das Gesundheitswesen ist die am stärksten vom Fachkräftemangel betroffene Branche in Deutschland [1]. Aktuell sind über 47.000 Stellen unbesetzt, mit der größten Lücke in der Physiotherapie. Drei Viertel der Intensivstationen berichten von Personalmangel; oft müssen Betten gesperrt werden, um Pflegepersonaluntergrenzen einzuhalten. In zwei Dritteln der Kinderkliniken fehlen Fachkräfte in der pädiatrischen Pflege [2]. Zudem verschärfen Lieferengpässe bei verschreibungspflichtigen Medikamenten die Versorgungslage – insbesondere für Menschen mit chronischen Erkrankungen [3]. Im März 2025 meldete das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) 540 Lieferengpässe, darunter essenzielle Medikamente wie Fosfomycin, Natriumchlorid/Kochsalzlösungen, Salbutamol sowie antibiotikahaltige Säfte für Kinder [4][5]. Hauptursachen sind Produktionsprobleme und die zunehmende Abhängigkeit von globalen Lieferketten durch die Verlagerung der Arzneimittelproduktion ins Ausland, insbesondere die

Abhängigkeit von China und Indien, die einen Großteil der benötigten Wirkstoff- und Fertigarzneimittelmengen liefern [6].

Die Gefährdungslage durch **gesellschaftliche Polarisierung** ist derzeit als eher hoch einzustufen. Sozioökonomische Faktoren wie Einkommen, Wohnumfeld, Bildungsniveau, Infrastruktur und Gesundheitskompetenz beeinflussen maßgeblich den Zugang zu und die Nutzung von Gesundheitsleistungen [16][17]. Menschen mit niedrigem Sozialstatus sind häufiger von chronischen Erkrankungen betroffen, nutzen Präventionsangebote seltener und haben einen höheren Unterstützungsbedarf. Ihre Lebenserwartung liegt teils deutlich unter dem Durchschnitt – bei Männern um mehr als acht Jahre, bei Frauen um mehr als vier Jahre. Besonders Kinder aus sozial benachteiligten Familien sind gesundheitlich stärker gefährdet [16]. Ein weiterer Ausdruck struktureller Ungleichheit ist der sogenannte „Gender Health Gap“ [18][19], der im historisch gewachsenen Androzentrismus der Medizin wurzelt. Dieser führt im Status-Quo zu einer einseitigen Forschung und Versorgung, die vor allem Frauen sowie trans-, inter- und nicht-binäre Personen benachteiligt [20]. So wirken bestimmte Medikamente bei Frauen schneller, verursachen aber auch häufiger Nebenwirkungen [21]. Auch Herz-Kreislauf-Erkrankungen galten lange Zeit als typische Männerkrankheit, was dazu führte, dass Frauen schlechtere Diagnosen und weniger adäquate Behandlungen erhielten.

Das systemische Risiko der **Machtkonzentration** stellt derzeit ein eher hohes Risiko für die Funktionalität und Stabilität des Gesundheitssystems dar. Der wirtschaftliche und politische Konsolidierungsdruck hat zuletzt zu einer starken Konzentration im deutschen Krankenhausmarkt geführt. Diese Entwicklung bietet Chancen, birgt aber auch die Gefahr übermäßiger Marktmacht und negativer Auswirkungen auf Qualität und Preise von Dienstleistungen. Die Arzneimittelbranche ist von Fusionen und Übernahmen geprägt. Wenige multinationale Konzerne dominieren den Markt, wobei Produktionsentscheidungen primär profitorientiert erfolgen. Dies trägt zu hohen Arzneimittelpreisen in Deutschland bei [22]. Europäische Sparmaßnahmen zur Kostenkontrolle erhöhen zugleich das Risiko von Lieferengpässen (Europäisches Parlament 2021). Auch der Labordiagnostikmarkt ist stark konzentriert: Rund 50 % des deutschen Markts entfallen auf fünf große Laborketten (Synlab, Limbach, LADR, Sonic Healthcare, Amedes) [23]. Finanzinvestoren verstärken ihr Engagement in der Labormedizin sowie in Bereichen wie Augen- und Zahnarztpraxen oder radiologischen Einrichtungen. Private Klinikgruppen übernehmen zunehmend öffentliche Krankenhäuser, um

Skaleneffekte zu realisieren – oft zulasten der Patientenversorgung [24][25]. Studien zeigen, dass von Investoren betriebene Arztpraxen im Durchschnitt über zehn Prozent höhere Behandlungskosten pro Patient/in verursachen als unabhängige Praxen [26].

Epidemien und Pandemien stellen ein systemisches Risiko mit aktuell mittlerer bis potenziell hoher Gefährdungslage für das Gesundheitssystem dar. Im Ernstfall können nahezu alle Bereiche der kritischen Infrastruktur erheblich beeinträchtigt werden. Die COVID-19-Pandemie führte zu weitreichenden Personalausfällen, Versorgungsengpässen und einer teils dramatischen Überlastung des Gesundheitspersonals, insbesondere auf Intensivstationen. Aufgaben des Gesundheitsschutzes konnten nur eingeschränkt oder gar nicht erfüllt werden [7]. Deutlich wurde auch die unzureichende Krisenresilienz des öffentlichen Gesundheitsdienstes, etwa bei der Kommunikation neuer Regelungen durch die Gesundheitsämter [8]. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat 2024 eine Liste mit über 30 hochgefährlichen Erregern veröffentlicht, die aufgrund ihrer Übertragbarkeit, Virulenz und fehlenden Impfstoffe sowie Therapien als potenzielle Auslöser globaler Gesundheitsrisiken gelten. Sie fordert dringend verstärkte Investitionen in Forschung und Entwicklung, um die globale Krisenvorsorge zu verbessern [9]. Als sogenannte „schleichende Pandemie“ werden zudem Antibiotikaresistenzen von der WHO zu den größten globalen Gesundheitsbedrohungen gezählt [10]. Falsche Verschreibungen im Humanbereich sowie der intensive Einsatz von Antibiotika in Landwirtschaft und Tiermast fördern die Entstehung multiresistenter Erreger. Dies führt zunehmend zu schwer behandelbaren Infektionen und gefährdet sowohl die individuelle Gesundheit der Bevölkerung in Deutschland als auch die Leistungsfähigkeit des Gesundheitssystems. Expert/innen bewerten Resistenzen als latente Krisen mit potenziell gravierenden Auswirkungen [11].

Die gegenwärtige Gefährdung durch die systemischen Risiken der **globalen Erwärmung** und **Wetterextreme** im Zuge des Klimawandels wird für das deutsche Gesundheitssystem derzeit noch als mittel eingestuft. Sie gelten dennoch als eines der größten Risiken für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen im 21. Jahrhundert [12]. Wetterextreme wie Stürme, Hochwasser und Hitze erhöhen einerseits die Gesundheitsbelastung und andererseits die Belastung der Infrastruktur [11][13] (Behrendt et al. 2024). So wurden während der Flutkatastrophe im Ahrtal 2021 im betroffenen Gebiet

mehrere Krankenhäuser überflutet, was zu Betriebseinstellungen und Evakuierungen führte. Auch über 100 Arztpraxen, mehr als 60 Apotheken und zahlreiche Pflegeeinrichtungen wurden beschädigt [14]. Zudem führen Hitzewellen zu höheren Temperaturen in Gesundheitseinrichtungen, was sowohl für Fachpersonal als auch für Patient/innen Gesundheitsrisiken birgt. Besonders vulnerable Gruppen wie Kinder, ältere Menschen und Menschen mit chronischen Erkrankungen sind betroffen, was insbesondere die Notfallversorgung zusätzlich belastet [15] (Martin/Osterloh 2024). Fast die Hälfte der deutschen Krankenhäuser hat bislang keine oder nur unzureichende Anpassungsmaßnahmen an klimatische Veränderungen umgesetzt, was zu Infrastrukturausfällen und Überlastungen führt [13].

Das systemische Risiko **Technikversagen und eingeschränkte Technikbeherrschbarkeit** stellt derzeit noch eine eher geringe Gefährdung für das Infrastruktursystem Gesundheit dar und betrifft insbesondere die ambulante und stationäre Gesundheitsversorgung. Die zunehmende Komplexität und Vernetzung medizinischer Geräte und IT-Systeme mit alter Technikinfrastuktur sowie die Anbindung an veraltete IT-Infrastrukturen haben die Störanfälligkeit erhöht. Mobile medizinische Geräte können aufgrund veralteter IT-Infrastrukturen (Legacy-Systeme) häufig nicht aus der Ferne verwaltet werden, was bei technischen Defekten, Sicherheitslücken oder fehlenden Software-Updates zu Problemen führt [27]. Veraltete Systeme – etwa bei Laborgeräten wie Elektronenmikroskopen – verursachen hohe Wartungskosten und bergen Compliance- sowie Sicherheitsrisiken. Auch bildgebende Diagnosesysteme enthalten oft IT-Komponenten, die nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen [28]. Die Abhängigkeit von Drittanbietern, etwa bei Cloud-Diensten für Medizinprodukte, verschärft die Lage: Unzureichend abgesicherte Schnittstellen können sich im Störfall unmittelbar auf medizinische Einrichtungen auswirken. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) identifizierte bei einer Untersuchung von Geräten wie Insulinpumpen und Herzschrittmachern über 150 Schwachstellen – u.a. in Authentifizierungsverfahren und [29]. Bedienungsfehler oder mangelndes Sicherheitsbewusstsein des Fachpersonals erhöhen das Risiko für die Patientensicherheit und werfen haftungsrechtliche Fragen auf [30]. Ein Ausfall zentraler Anwendungen, etwa bei der Übertragung elektronischer Signaturen auf E-Rezepte, kann schwerwiegende Folgen haben – insbesondere wenn Medikamente dadurch nicht rechtzeitig bereitgestellt werden [31].

Die Gefährdungslage des Gesundheitssystems durch **geopolitische Konflikte** wird derzeit als eher gering eingeschätzt und betrifft insbesondere Vorleistungen und Zulieferungen im Gesundheitssystem. Besonders vulnerabel sind globale Lieferketten für Medizinprodukte, Arzneimittel und biowissenschaftliche Forschungsprodukte. Handelskonflikte – etwa durch die Einführung oder Erhöhung von Zöllen – können zu höheren Kosten, Versorgungsengpässen und eingeschränkter Verfügbarkeit führen. Aktuelle handelspolitische Maßnahmen der USA, darunter neue Importzölle auf pharmazeutische Produkte, setzen auch die deutsche Pharmaindustrie unter Druck. Dies führt zu Umsatzeinbußen, höheren Produktionskosten und gefährdet die Versorgungssicherheit, insbesondere bei Abhängigkeit von US-Vorprodukten [32]. Die Handelskonflikte zwischen China und den USA führten bereits zu höheren Zöllen auf medizinische Produkte, während Spannungen zwischen Indien und den USA in Deutschland Verzögerungen bei der Zulassung von Generika verursachten und zu unterbrochenen globalen Lieferketten für medizinische Geräte führten [33]. Zudem behindern geopolitische Spannungen – etwa zwischen den USA und China – internationale Kooperationen zur Pandemieprävention und den Aufbau einer globalen Gesundheitsarchitektur nach COVID-19 [33].

Das systemische Risiko **Cyberkriminalität** gefährdet das Gesundheitssystem in Deutschland derzeit noch in eher geringem Ausmaß. Durch die fortgeschrittene Digitalisierung sind jedoch zunehmend viele Systembereiche potenziell betroffen – von Krankenhäusern über Apotheken bis hin zu Arztpraxen. In Deutschland registrierte das BSI im Jahr 2024 insgesamt 141 Cybervorfälle in Gesundheitseinrichtungen, ein Anstieg gegenüber 132 Fällen im Vorjahr [34][35]. Trotz des IT-Sicherheitsgesetzes von 2022, das die Meldepflicht auf kleinere Einrichtungen ausgeweitet hat, erschweren fehlende personelle und finanzielle Ressourcen eine vollständige Erfassung der Vorfälle. Es ist daher von einer erheblichen Dunkelziffer nicht gemeldeter Cyberangriffe auszugehen. Besonders risikoreich ist die unzureichend gesicherte Vernetzung medizinischer Geräte über WLAN. Studien zeigen, dass bis zu 66 % bildgebender, 54 % chirurgischer und rund 40 % patientennaher Geräte aus der Ferne angreifbar sind [36]. Problematisch sind zudem Schnittstellen zwischen internen Netzwerken, in denen medizinische Geräte betrieben werden, und öffentlichen WLAN-Zugängen in Kliniken. Cyberkriminelle Angriffe können zu Datenverlust, Identitätsdiebstahl und finanziellen Schäden führen – mit direkten Auswirkungen auf die Patientensicherheit [37]. Auch Fälle politisch motivierter Angriffe, insbesondere sogenannte

Advanced Persistent Threats (APT), bei denen Akteure unbemerkt in IT-Systeme eindringen, um sensible Daten zu stehlen oder kritische Infrastrukturen gezielt zu kompromittieren, verdeutlichen die bestehende Gefährdungslage [38]. Ein prominentes Beispiel ist der Cyberangriff auf die Europäische Arzneimittelagentur (EMA) im Jahr 2020, bei dem vertrauliche Informationen zum BioNTech-/Pfizer-Impfstoff abgegriffen wurden [39][40].

Das systemische Risiko **Desinformation** gilt derzeit zwar insgesamt als eher geringe Bedrohung für das Gesundheitssystem, gefährdet jedoch zunehmend die Funktionalität insbesondere im Bereich der öffentlichen Gesundheitskommunikation und -versorgung. Desinformation erschwert die zeitnahe Bereitstellung verlässlicher Informationen, vor allem in Krisensituationen, die für die Unterstützung der Bevölkerung entscheidend sind. Während der COVID-19-Pandemie nutzten politische und ideologische Akteure Desinformation gezielt, insbesondere über soziale Medien. Russland und China verbreiteten falsche Informationen über westliche Impfstoffe, während sie ihre eigenen Produkte bewarben [41][42]. Solche Desinformationskampagnen beeinflussten die Akzeptanz von Eindämmungsmaßnahmen und medizinischen Empfehlungen negativ und erschwerten die öffentliche Gesundheitskommunikation [43][44]. Abseits von Krisen werden gesundheitliche Themen zunehmend mit falschen Informationen im digitalen Raum diskutiert, z.B. in Online-Gemeinschaften wie der Pro-Ana-Bewegung, die Essstörungen verherrlichen und Therapien ablehnen den gesundheitlichen Auswirkungen von Krankheitserregern [45][46].

Der **Biodiversitätsverlust** stellt derzeit ein geringes Risiko für das Gesundheitssystem dar, obwohl eine intakte Natur grundlegende Ökosystemleistungen für die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden bietet, wie sauberes Trinkwasser, frische Luft, eine vielfältige Ernährung und die Regulierung des Klimas sowie den Abbau gesundheitsschädlicher Schadstoffe [47]. Ein Verlust der biologischen Vielfalt kann die Übertragungsrate von Krankheitserregern erhöhen, insbesondere bei Zoonosen, da die Population geeigneter Wirte wächst, was das Risiko von Krankheitsausbrüchen wie SARS, Ebola und COVID-19 steigert [48]. Zudem ist die Biodiversität eine wichtige Grundlage für Arzneimittel und Impfstoffe, von denen in Industrieländern Schätzungen zufolge über 60 % aus natürlichen Quellen stammen [12]. Die langfristigen Auswirkungen des Biodiversitätsverlusts auf das Gesundheitssystem sind bislang wenig erforscht. Seit 2022 fördert das BMBF gezielt entsprechende Forschungsprojekte [49].

Das systemische Risiko **Blackouts** stellt gegenwärtig eine geringe Gefährdung für alle Systembereiche des Infrastruktursystem Gesundheit dar. Zwar nehmen Stromausfälle, beispielsweise infolge regionaler Wetterextreme, zu, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines flächendeckenden und langandauernden Blackouts in Deutschland wird jedoch als gering eingeschätzt [50]. Die Abhängigkeit des Gesundheitswesens von einer stabilen Stromversorgung wächst jedoch mit der fortschreitenden Digitalisierung. Langandauernde Blackouts stellen vor allem in der stationären Versorgung ein erhebliches Risiko dar. So musste beispielsweise 2019 bei einem Stromausfall in Berlin die Evakuierung einer Intensivstation mit 23 Patient/innen angeordnet werden [51]. Alle Krankenhäuser in Deutschland müssen Notstromaggregate besitzen, um einen Stromausfall bis zu 24 Stunden überbrücken zu können. Danach wird die Versorgung stark beeinträchtigt. Für andere Gesundheitseinrichtungen fehlen bislang diese spezifischen Vorgaben [52].

Einschätzung der Robustheit: Ergebnisse der

Expert/innenbefragung

Die Robustheit des Infrastruktursystems Gesundheit im Status quo gegenüber systemischen Risiken wurde im Rahmen einer Expert/innenbefragung 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 Gesundheitssystems über alle systemischen Risiken liegt bei einer mittleren Robustheit. Bei der Bewertung einzelner systemischer Risiken bestehen jedoch Unterschiede. Die Robustheit des Infrastruktursystems im Hinblick auf die systemischen Risiken Blackouts, Desinformation und Machtkonzentrationen wird von den Expert/innen als (eher) gering eingeschätzt. Hingegen wird von den Expert/innen die Robustheit des Infrastruktursystems gegenüber den systemischen Risiken globale Erwärmung und Biodiversitätsverlust derzeit als (eher) hoch eingeschätzt.

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

gering eher gering eher hoch hoch keine Angabe



Ergebnisse der Expert/innenbefragung (n=24)

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

Referenzen

1. Kunath, G.; Herzer, P. (2024): Fachkräftelücken belasten wichtige Wirtschaftszweige. KOFA Kompakt, 10/2024. Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung (KOFA), Köln
2. BDO (2024): „Personalnotstand im Krankenhaus – Quo vadis?“. Deutsches Krankenhausinstitut; BDO AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Hamburg
3. Techniker Krankenkasse (2023): TK Lieferklima Report 2023. Was hilft wirklich gegen Lieferengpässe bei Arzneimitteln? Hamburg
4. Helfrich, J. (2024): Wie gravierend sind die Lieferengpässe? Medical Tribune, 5.11.2024, www.medical-tribune.de/ (8.7.2025)
5. BfArM (o.J.): Isotonische Natriumchlorid haltige Lösungen. Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, www.bfarm.de/ (21.11.2024)
6. vfa (2025b): Lieferengpässe können unterschiedliche Ursachen haben. vfa – Die forschenden Pharma Unternehmen, www.vfa.de/ (27.3.2025)
7. Kessler, P. B. (2024): Reaktionen auf Covid-19: Ein Vergleich von Krisenmanagement und -kommunikation der EU, den USA und der Volksrepublik China. In: Daun, A. et al. (Hg.): Politisches Krisenmanagement. Wiesbaden, S. 163–180, DOI: [10.1007/978-3-658-44002-2_9](https://doi.org/10.1007/978-3-658-44002-2_9)
8. Deutscher Ethikrat (2022): Vulnerabilität und Resilienz in der Krise – Ethische Kriterien für Entscheidungen in einer Pandemie. Stellungnahme Kurzfassung. Deutscher Ethikrat, Berlin
9. WHO (2024): Pathogens Prioritization. A scientific framework for epidemic and pandemic research preparedness. World Health Organization, Genf

10. WHO (2023): WHO-Experten warnen: Antibiotika-Missbrauch muss eingedämmt werden, sonst wirken die Medikamente nicht mehr. World Health Organization, www.who.int (6.8.2024)
11. SVR (2023): Resilienz im Gesundheitswesen. Wege zur Bewältigung künftiger Krisen. Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen, Bonn
12. RKI (Hg.) (2023): Auswirkungen des Klimawandels auf Infektionskrankheiten und antimikrobielle Resistenzen – Teil 1 des Sachstandsberichts Klimawandel und Gesundheit 2023. Journal of Health Monitoring, S3/2023, Robert Koch-Institut, DOI: [10.25646/11390](https://doi.org/10.25646/11390)
13. TAB (2024): Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken (Autor/innen: Behrendt, S. et al.). Endbericht zum TA-Projekt. TAB-Arbeitsbericht Nr. 209, Berlin, DOI: [10.5445/IR/1000171996](https://doi.org/10.5445/IR/1000171996)
14. Augustin, J. et al. (2024): Auswirkungen des Ahrtal-Hochwassers auf die Gesundheit der lokalen Bevölkerung – eine Analyse auf Grundlage von GKV-Routinedaten. In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 67(1), S. 5–13, DOI: [10.1007/s00103-023-03809-x](https://doi.org/10.1007/s00103-023-03809-x)
15. Martin, M.; Osterloh, F. (2024): Hitze: Gesundheitsberufe schützen. Deutsches Ärzteblatt, www.aerzteblatt.de (7.1.2025)
16. RKI (2024): Armut macht krank: Soziale Ungleichheit und Gesundheit ist das Motto beim Tag des Gesundheitsamtes 2024. Robert Koch-Institut, www.rki.de/ (15.8.2024)
17. Lampert et al. (2021): Einkommen und Gesundheit. Bundeszentrale für politische Bildung, Berlin
18. Di Lego, V. (2023): Uncovering the gender health data gap. Cad Saude Publica. 2023 Aug 11;39, DOI: [10.1590/0102-311XEN065423](https://doi.org/10.1590/0102-311XEN065423)
19. WEF (2025): Blueprint to Close the Women's Health Gap. How to Improve Lives and Economies for All. World Economic Forum, Genf
20. Wortmann, L.; Oertelt-Prigione, S. (2024): Geschlechtersensible Medizin. In: Werner, J.; Schmidt-Rumposch, A. (Hg.): Human Hospital. Wertschätzend. Sinnstiftend. Menschlich. Berlin, S. 73–80
21. Simon, V. (2023): Forscherinnen fordern: Schmerzen von Frauen ernst nehmen. tagesschau.de. 19.10.2023, www.tagesschau.de/ (8.7.2025)
22. Schröder, H. et al. (Hg.) (2022): Arzneimittel-Kompass 2022. Qualität der Arzneimittelversorgung. Berlin
23. UBCouturier (2022): Wirtschaftlichkeits- & Strukturanalyse Eigenleistung, Kooperation, Konzentration: Was sind die Megatrends im Markt? biersdorfer-krankenhausgespraeche.de/ (18.9.2024)
24. Holzmann, I. (2024): Private Equity – Chance oder Risiko für die ambulante Versorgung? Health&Care Management, www.hcm-magazin.de/ (12.8.2024)

25. IBISWorld (2024): IBISWorld – Industry Market Research, Reports, and Statistics. www.ibisworld.com/ (18.9.2024)
26. IGES (2025): Investoren-MVZ in Bayern: höhere Honorarumsätze als Einzelpraxen. IGES Institut, Berlin
27. E-HEALTH-COM (2023): SOTI-Studie: Legacy-Systeme gefährden die Zukunftsfähigkeit des Gesundheitswesens. Branchenbericht Gesundheitswesen. 18.9.2023, e-health-com.de/ (28.3.2025)
28. Wehrs, K. (2024): Legacy-Modernisierung in Krankenhäusern: Schritt zur integrierten. Krankenhaus-IT Journal Online, 5.7.2024, www.krankenhaus-it.de/ (28.3.2025)
29. BSI (2020): Cybersicherheitsbetrachtung vernetzter Medizinprodukte BSI-Projekt 392: Manipulation von Medizinprodukten (ManiMed). Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Berlin
30. Wangler, J.; Jansky, M. (2023): Digitale Gesundheitsanwendungen (DiGA) in der Primärversorgung – Erfahrungen und Beobachtungen von Haus-ärzt*innen hinsichtlich der Anwendung von DiGA. In: Prävention und Gesundheitsförderung 18(4), S. 483–491, DOI: [10.1007/s11553-022-00988-4](https://doi.org/10.1007/s11553-022-00988-4)
31. Wittpahl, V. (2023): Resilienz. Leben – Räume – Technik. Institut für Innovation und Technik, iit-Themenband, Berlin, DOI: [10.1007/978-3-662-66057-7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-66057-7)
32. vfa (2025a): Handelsverflechtungen: Welche Industrien US-Zölle besonders hart treffen. vfa – Die forschenden Pharma Unternehmen, www.vfa.de/ (27.3.2025)
33. Bayerlein, M.; Villarreal, P. A. (2023): Gesundheitsgovernance und Geopolitik. SWP-Aktuell. Berlin, DOI: [10.18449/2023A62](https://doi.org/10.18449/2023A62)
34. BSI (2024a): Cyber-Sicherheit im Gesundheitswesen Prägende Entwicklungen im eHealth-Bereich 2024. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Berlin
35. BSI (2024b): Evaluierung der IT-Sicherheitsrichtlinie in Arztpraxen. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Berlin
36. Check Point Research (2023): The State of Cyber Security 2023. 9.2.2023, www.infopoint-security.de/ (12.9.2024)
37. Czeschik, C. (2023): Cyberangriffe im Gesundheitswesen: Gefahren und Gegenmaßnahmen. Deutsches Ärzteblatt, 120(46), www.aerzteblatt.de/ (12.09.2024)
38. BBK (2020): Handbuch Krankenhausalarm- und -einsatzplanung (KAEP). Empfehlungen für die Praxis zur Erstellung eines individuellen Krankenhausalarm- und -einsatzplans. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn
39. Schmutz, C. G. (2020): Die Europäische Arzneimittelagentur ist Opfer eines Cyberangriffs geworden. Neue Zürcher Zeitung, 10.12.2020, www.nzz.ch/ (28.3.2025)

40. BSI (2021): SICHER • INFORMIERT vom 06.01.2021. Ausgabe 01/2021. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, www.bsi.bund.de/ (25.04.25)
41. WHO (2022): Gemeinsam gegen die Infodemie. World Health Organization, www.who.int/ (6.8.2024)
42. BMI (2023): Desinformation im Kontext der Corona-Pandemie. Bundesministerium des Innern und für Heimat, www.bmi.bund.de/ (15.8.2024)
43. Schüz, B.; Jones, C. (2024): Falsch- und Desinformation in sozialen Medien: Ansätze zur Minimierung von Risiken in digitaler Kommunikation über Gesundheit. In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 67(3), S. 300–307, DOI: [10.1007/s00103-024-03836-2](https://doi.org/10.1007/s00103-024-03836-2)
44. Lamberty, P. (2022): Die Ursachen des Glaubens an Verschwörungserzählungen und Empfehlungen für eine gelungene Risikokommunikation im Gesundheitswesen. In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 65(5), S. 537–544, DOI: [10.1007/s00103-022-03524-z](https://doi.org/10.1007/s00103-022-03524-z)
45. Grotlüschen, A. et al. (Hg.) (2023): Interdisziplinäre Analysen zur LEO-Studie 2018 – Leben mit geringer Literalität. Wiesbaden, DOI: [10.1007/978-3-658-38873-7](https://doi.org/10.1007/978-3-658-38873-7)
46. Hajok, D. et al. (2022): Verherrlichung von Essstörungen im Social Web: Pro-Ana, Pro-Mia und der Jugendmedienschutz. JMS Jugend Medien Schutz-Report, Baden-Baden, DOI: [10.5771/0170-5067-2022-4-2](https://doi.org/10.5771/0170-5067-2022-4-2)
47. Wirth, C. et al. (2024): Faktencheck Artenvielfalt. Bestandsaufnahme und Perspektiven für den Erhalt der biologischen Vielfalt in Deutschland: Zusammenfassung für die gesellschaftliche Entscheidungsfindung. München, DOI: [10.14512/9783987263378](https://doi.org/10.14512/9783987263378)
48. van Langevelde, F. et al. (2020): Der Zusammenhang zwischen dem Verlust der biologischen Vielfalt und der zunehmenden Verbreitung von Zoonosen. Europäisches Parlament, ENVI Ausschuss, Luxemburg
49. BMBF (2023): Projektsteckbriefe – Richtlinie zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen Biodiversität und menschlicher Gesundheit. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin
50. BNetzA (2023): Bericht zu Stand und Entwicklung der Versorgungssicherheit im Bereich der Versorgung mit Elektrizität. Bundesnetzagentur, Bonn
51. Breuer, F. et al. (2021): Erkenntnisse aus 31 Stunden Stromausfall in Berlin Köpenick – medizinische Schwerpunkte und Herausforderungen. In: Der Anaesthesist 70(6), S. 507–514, DOI: [10.1007/s00101-021-00930-x](https://doi.org/10.1007/s00101-021-00930-x)

52. BBK (2023): Krisenvorsorge im Krankenhaus: Gesundheitsversorgung trotz Gasmangel und Stromausfall (Autor/innen: Degenhardt, L.; Hähn, F.). Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Berlin

Entwicklungsdynamiken ausgewählter systemischer Risiken

Systemische Risiken unterliegen einer teils starken Entwicklungsdynamik. Sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch die konkrete Form der durch sie ausgelösten Gefährdungslagen für das Gesundheitssystem können sich verändern. Entwicklungsdynamiken zeigen sich vor allem im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung, die zu einer steigenden Gefährdungslage im Zusammenhang mit der Cyberkriminalität führt. Weitere Dynamiken zeichnen sich im Kontext der Versorgungslage ab, die eng mit anderen systemischen Risiken wie geopolitischen Konflikten und Machtkonzentration verknüpft sind. Versorgungsengpässe betreffen essenzielle Ressourcen – etwa die Energie- oder Arzneimittelversorgung – und wirken sich daher besonders kritisch aus. Zudem steigt das Gefährdungspotenzial durch die gesellschaftliche Polarisierung, vor allem durch vermehrte Datennutzung und den zunehmenden KI-Einsatz.

Systemisches Risiko: Cyberkriminalität

Die Bedrohungslage des Infrastruktursystems durch das systemische Risiko der Cyberkriminalität steigt durch zunehmend professionell agierende cyberkriminelle Gruppen im Kontext geopolitischer Spannungen [\[1\]](#). Gleichzeitig birgt die fortschreitende Digitalisierung des Gesundheitswesens – etwa durch den Ausbau der Telematikinfrastruktur (TI) und die Einführung der elektronischen Patientenakte (ePA) – erhebliche Potenziale zur Verbesserung der Versorgungsqualität, aber auch wachsende sicherheitstechnische Herausforderungen [\[2\]\[3\]\[4\]](#). Auch die zunehmende Nutzung von Gesundheits-Apps, Wearables und mobilen Geräten – besonders im häuslichen Umfeld von Menschen mit chronischer Erkrankung – vergrößert die potenziellen Angriffsflächen deutlich [\[3\]](#). Ein zentrales Risiko stellt die steigende Vernetzung medizinischer Geräte dar, insbesondere wenn diese über WLAN in interne Systeme eingebunden sind. Jedes vernetzte Gerät – ob chirurgischer Roboter, Bildgebungsgerät oder smarte Infusionspumpe – kann als Einstiegspunkt für Angreifende dienen. Zahlreiche

Gesundheitseinrichtungen setzen aus Kostengründen veraltete medizintechnische Geräte ein, die häufig nicht mehr den aktuellen Sicherheitsstandards entsprechen. Diese sogenannten Legacy-Systeme erhöhen das Risiko für Cyberangriffe, insbesondere an Schnittstellen zwischen Krankenhausinformationssystemen (KIS), Praxisverwaltungs-, Labor- oder Radiologie-Systemen [5]. Parallel betriebene Alt- und Neusysteme können durch fehlerhafte Schnittstellen anfällig für Cyberangriffe sein, was etwa zu Störungen logistischer Prozesse oder zur Kompromittierung sensibler Daten führen kann. Mangelnde Transparenz in IT-Sicherheitssystemen erschwert die Früherkennung und Abwehr von Bedrohungen. Während große Klinikverbünde über spezialisiertes IT-Personal und Erkennungssysteme verfügen, sind insbesondere kleinere Gesundheitseinrichtungen strukturell oft unterfinanziert und verfügen häufig weder über ausreichend technische Expertise noch über ein funktionierendes Notfallmanagement [6][7]. So existieren vielerorts keine schriftlich dokumentierten Notfallpläne für IT-Ausfälle – ein Zustand, der die Resilienz des Gesundheitswesens gegenüber Cybervorfällen auch zukünftig strukturell untergräbt.

Ransomware-Angriffe gelten für die kommenden Jahre als die gravierendste Bedrohung. Zentrale Systeme werden verschlüsselt oder blockiert, die Angreifenden fordern Lösegeldzahlungen und legen im schlimmsten Fall ganze Versorgungseinrichtungen lahm. Ein prägnantes Beispiel für die Auswirkungen ist der gut dokumentierte Ransomware-Fall am Universitätsklinikum Düsseldorf im Jahr 2020 (folgend [8]). Hier wurde durch eine Schwachstelle in der Software Schadsoftware eingeschleust, die zentrale Abläufe wie Türsteuerungen, Patientenakten und OP-Planungen lahmlegte. Obwohl diese Sicherheitslücke nach acht Tagen geschlossen wurde, gelang es Cyberkriminellen, Schadsoftware in das interne System einzuschleusen und das zentrale Computersystem der Universitätsklinik zu verschlüsseln. Der Angriff führte zu massiven Störungen: Der Zugriff auf Befunde, Laborergebnisse und Medikamentendosierungen war blockiert, die Notaufnahme musste für 13 Tage schließen, Rettungswagen wurden umgeleitet, was in einem Fall zu einer verspäteten Behandlung mit tödlichem Ausgang führte. Der Angriff verursachte erhebliche finanzielle Schäden und zwang die Klinik zum kompletten Neuaufbau des IT-Systems.

Auch der technologische Wandel selbst trägt zur Dynamisierung der Gefährdungslage im Zusammenhang mit Cyberkriminalität bei. Neue Innovationen wie vernetzte OP-Roboter oder die Integration digitaler Patientenakten treiben die sektoren- und technologieübergreifende

Vernetzung voran und erhöhen damit die Komplexität der Sicherheitsarchitektur. Besonders relevant ist in diesem Kontext das interdisziplinäre Feld der medizinischen Biotechnologie, das zunehmend biologische Daten mit digitalen Verfahren kombiniert. Hier entstehen neue Verwundbarkeiten: Im Rahmen sogenannter Bio-Malware kann genetisches Material möglicherweise gezielt manipuliert oder zur Einschleusung von Schadcode genutzt werden [\[9\]](#)[\[10\]](#)[\[11\]](#). In einer Veranstaltung des German Institute for Defence and Strategic Studies (GIDS) wurde berichtet, dass es in einem experimentellen Versuch an der University of Washington bereits 2017 gelang, Schadsoftware in DNA-Sequenzen einzubetten. Bei der automatisierten Analyse übertrug sich der Code auf das Computersystem und ermöglichte eine potenzielle Übernahme der Kontrolle – ein Vorfall, der die realen Gefahren dieser Entwicklung im Zusammenhang mit Cyberkriminalität verdeutlicht.

Systemisches Risiko:Versorgungsengpässe

Angesichts demografisch bedingter Mehrbedarfe, unzureichender Prävention und Gesundheitskompetenz gilt der Fachkräftemangel als eine der zentralen Herausforderungen für die zukünftige Stabilität und Funktionalität des Gesundheitssystems: Die alternde Bevölkerung führt zu einer steigenden Zahl chronischer und komplexer Erkrankungen, die eine intensivere medizinische und pflegerische Betreuung erfordern. Gleichzeitig bleiben durch mangelnde Prävention vermeidbare Erkrankungen häufig unbehandelt, was die Versorgungslast zusätzlich erhöht. Eine geringe Gesundheitskompetenz in weiten Teilen der Bevölkerung erschwert zudem effektive Behandlungsprozesse, verlängert Krankheitsverläufe und bindet zusätzliches Personal – in einem System, das bereits unter massivem Personalengpass leidet [\[12\]](#)[\[13\]](#). Eine Studie des Deutschen Krankenhaus Institut (DKI) prognostiziert bis 2035 nur einen geringen Zuwachs an Absolvent/innen von 8 % bei Ärzt/innen sowie 7 % bei examinierten Pflegekräften – ein Wachstum, das den steigenden Versorgungsbedarf bei weitem nicht abdecken kann [\[14\]](#). Noch alarmierender fällt die Prognose einer PwC-Studie aus: Sie erwartet bis 2035 im deutschen Gesundheitswesen eine Versorgungslücke von 35 %, was etwa 1,8 Millionen unbesetzte Stellen bedeuten würde [\[15\]](#). Laut Destatis könnte bis 2049 ein Mangel von bis zu 690.000 Pflegekräften entstehen [\[16\]](#). Der Sachverständigenrat Gesundheit (SVR) warnt vor den Folgen: Längere Wartezeiten, eine reduzierte Betreuungsqualität sowie eine erhöhte Patientengefährdung durch überlastetes ärztliches und pflegerisches Personal [\[17\]](#) –

gekennzeichnet durch Überstunden, erhöhten Stress und psychische Belastungen. Diese Entwicklung birgt das Risiko einer Eskalationsspirale, die den Fachkräftemangel weiter verschärfen könnte. Im Extremfall könnte es dazu kommen, dass Krankenhäuser gezwungen sind, ganze Abteilungen aufgrund von akutem Personalmangel zu schließen. Auf vielen Intensivstationen werden bereits heute die empfohlenen Pflegepersonal-Patient/innen-Verhältnisse deutlich unterschritten. Infolge von Personalmangel mussten 22 % der Intensivstationen Betten sperren – auf pädiatrischen Stationen bis zu 35 % [\[18\]](#)[\[19\]](#). Die Zahlen illustrieren die zu erwartenden weitreichenden Folgen für die Patientensicherheit und Versorgungsqualität, wenn die heutige Versorgungslücke vor dem Hintergrund des prognostizierten Fachkräftemangels künftig noch größer wird. Die Herausforderung besteht darin, die Fachkräftelücke zu schließen und dafür insbesondere auch die Qualität der Arbeitsbedingungen zu verbessern, um die Attraktivität der Gesundheitsberufe zu steigern.

Entwicklungsdynamiken mit Bezug zu Versorgungsengpässen betreffen neben dem Fachkräftemangel auch die (bezahlbare) Energieversorgung, da der Energiebedarf im Gesundheitssystem in den kommenden Jahren voraussichtlich deutlich steigen wird [\[20\]](#) und damit auch die Abhängigkeit des Gesundheitssystems von einer stabilen Energieversorgung. Dabei zeigt sich, dass das Gesundheitssystem einem dreifachen Belastungsszenario ausgesetzt ist: der Volatilität der Energiepreise, der Notwendigkeit zur Anpassung an zunehmende Wetterextreme sowie dem kontinuierlichen Modernisierungsdruck.

Der russische Angriffskrieg in der Ukraine hat eine anhaltende Energiekrise ausgelöst, deren Auswirkungen weiterhin spürbar sind und zu steigenden und volatilen Energiepreisen führen. Damit verschärft sich die bereits heute bestehende Problematik der hohen Kosten für die energieintensive Gesundheitsversorgung [\[21\]](#)[\[22\]](#)[\[23\]](#). Im stationären Bereich liegt der durchschnittliche Energiebedarf laut einer Erhebung der Stiftung Münch bereits heute pro Krankenhausbett bei 32.800 Kilowattstunden (kWh) jährlich – genug, um fast 11 durchschnittliche Zwei-Personen-Haushalte zu versorgen [\[24\]](#). Hinzu kommt, dass viele Krankenhäuser schlecht gedämmt sind und mit Erdgas beheizt werden, was angesichts hoher und steigender Energiepreise eine große finanzielle Herausforderung und ein Risiko für die Versorgungssicherheit darstellt [\[24\]](#). Die vorliegenden Erfahrungen während der Energiekrise und einer Inflationsspitze von 6,9 % [\[25\]](#) zeigen, dass zahlreiche Krankenhäuser in eine existentielle

finanzielle Schieflage gerieten und auf staatliche Unterstützungsmaßnahmen angewiesen waren [26]. Wachsende Energiebedarfe entstehen zudem durch die Digitalisierung und technische Modernisierung der Krankenhäuser, die in den kommenden Jahren weiter voranschreiten wird. Während die Digitalisierung durch den verstärkten Einsatz digitaler Medizintechnik, IT-Infrastruktur und datenintensiver Anwendungen den Stromverbrauch erhöht, führt auch die bauliche und technische Modernisierung, etwa durch den Ausbau von Lüftungs-, Klima- und Sicherheitssystemen sowie die Integration energieintensiver Geräte in Diagnostik und Therapie, zu einem zusätzlichen Energieaufwand.

Auch ambulante, darunter insbesondere energieintensive Einrichtungen wie radiologische Praxen, sind erheblich von steigenden Energiepreisen betroffen. Der durchschnittliche Energiebedarf liegt bei rund 330.000 kWh pro Jahr – dem Hundertfachen eines Zwei-Personen-Haushalts [27]. Gleichzeitig wurde die Vergütung technischer Leistungen, etwa für MRT-Untersuchungen, im Einheitlichen Bewertungsmaßstab (EBM) um mehr als 13 % gesenkt [28]. Diese Schere zwischen steigenden Betriebskosten und sinkender Vergütung kann Praxen an ihre wirtschaftlichen Grenzen bringen, zumal MRT-Geräte aufgrund spezifischer technischer Bedingungen nicht einfach abgeschaltet werden können, da bei einer Unterbrechung der Stromzufuhr Helium entweicht und eine Neu-Befüllung mit sehr hohen Kosten verbunden ist [27]. Angesichts dieser Faktoren stellt sich die Frage, ob bestimmte diagnostische Verfahren bei steigenden Energiepreisen unter wirtschaftlich tragbaren Bedingungen überhaupt noch angeboten werden können [26].

Neben der Digitalisierung führen auch die zunehmenden Wetterextreme zu steigenden Energieverbräuchen für die Gesundheitsversorgung. Vor allem die erwartete Zunahme von Hitzeperioden und Hitzewellen erhöht den Bedarf an Kühlung und Klimatisierung in medizinischen Einrichtungen erheblich. Allerdings ist die Ausstattung derzeit noch unzureichend: Nur 38 % der Kliniken verfügen über klimatisierte Patientenzimmer, in einem Drittel der Notaufnahmen fehlen Klimaanlage vollständig [29]. Diese Defizite gefährden nicht nur die Behandlungsqualität und die sichere Lagerung temperatursensitiver Medikamente, sondern auch die Belastung des Personals [30]. Um die Versorgungssicherheit künftig aufrechtzuerhalten, ist ein flächendeckender Ausbau von Kühlungs- und Klimasystemen notwendig – mit entsprechend höheren Energieverbräuchen in Krankenhäusern und Praxen [24]. In Verbindung mit weiterhin volatilen

und steigenden Energiepreisen droht hier eine erhebliche finanzielle Belastung, die sich zu einem zentralen Engpassfaktor für die medizinische Versorgung entwickeln könnte.

Die Gefahr zukünftiger Versorgungsengpässe in der medizinischen Betreuung wächst nicht zuletzt durch die zunehmende Fragilität globaler Lieferketten für Arzneimittel. Die hohe Marktkonzentration auf wenige internationale Produktionsstandorte, insbesondere in China und Indien, hat ein hochgradig störanfälliges Versorgungssystem geschaffen [31]. Die Verlagerung der Arzneimittelproduktion in Schwellenländer [32] führte zwar zu günstigeren Produktionskosten, aber auch zu einer erhöhten Abhängigkeit: Kommt es dort zu wirtschaftlichen, geopolitischen oder extremwetterbedingten Störungen, geraten weltweite Lieferketten schnell ins Wanken. Während für viele Wirkstoffe verschiedene Generika existieren, beschränkt sich die Produktion der Vorprodukte häufig auf wenige Lieferanten in diesen Schwellenländern, vor allem für weitverbreitete Medikamente wie Herz-Kreislauf-Präparate, Schmerzmittel und Antibiotika [33]. Schon in den letzten Jahren kam es infolge dieser Strukturen zu teils gravierenden Engpässen. So verdeutlichte der Lieferausfall des Brustkrebsmedikaments Tamoxifen Anfang 2022, wie rasch eine kritische Versorgungslücke entstehen kann: Aufgrund des Rückzugs einzelner Rohstoffproduzenten war zeitweise die Versorgung von 85 % des Marktes nicht gewährleistet [34]. Auch wenn kurzzeitige Therapieunterbrechungen laut Expert/innenaussagen vermutlich keine Rückfälle verursacht, belastete die Unsicherheit viele Patient/innen erheblich [34].

Diese Ereignisse zeigen: Die Arzneimittelversorgung ist bereits heute anfällig, und ohne entschlossene Maßnahmen zur Diversifizierung der Produktions- und Lieferketten drohen künftig noch gravierendere Versorgungsausfälle. Der Klimawandel wirkt dabei als zusätzlicher Risikofaktor. Wetterextreme nehmen zunehmend direkten Einfluss auf die Lieferfähigkeit. So führte etwa der Hurrikan „Helene“ im Herbst 2024 zur Beschädigung eines US-amerikanischen Werks für Kochsalzlösung – mit der Folge, dass deutsche Krankenhäuser trotz maximaler Auslastung der verbliebenen Produktionskapazitäten nur 70 % ihres üblichen Bedarfs erhielten [35][36]. Dies zwang Einrichtungen zur Rationierung und gefährdete die Aufrechterhaltung grundlegender medizinischer Standards. All diese Entwicklungen zusammengenommen lassen eine weitere Verschärfung der Versorgungslage erwarten, wenn nicht gezielt gegengesteuert wird.

Systemisches Risiko: Gesellschaftliche Polarisierung

Eine sich weiter verschärfende gesellschaftliche Polarisierung könnte künftig gravierende Auswirkungen auf die Qualität und Gerechtigkeit der medizinischen Versorgung haben – insbesondere dort, wo soziale Ungleichheiten durch technologische Entwicklungen wie KI nicht nur reproduziert, sondern verstärkt werden. Zahlreiche Krankheitsbilder unterscheiden sich in Diagnose und Therapie je nach biologischem und sozialem Geschlecht [\[37\]](#)[\[38\]](#)[\[39\]](#). Bereits heute zeigt sich etwa in der Schmerzforschung, dass Frauen trotz höherer Schmerzempfindlichkeit häufig nicht adäquat behandelt werden – ihre Beschwerden werden häufiger als psychosomatisch bewertet, was zu inadäquaten Medikationen führt [\[40\]](#)[\[41\]](#). Wenn KI-Modelle auf unausgewogenen oder verzerrten Daten basieren, werden bestehende Benachteiligungen systematisch verfestigt. Besonders betroffen sind Frauen sowie trans-, inter- und nicht-binäre Personen, deren Gesundheitsdaten vielfach unzureichend erfasst oder integriert sind [\[42\]](#). Fachverbände wie der Deutsche Ärztinnenbund und der Spitzenfrauen Gesundheit e.V. warnen deshalb eindringlich davor, dass bestehende Wissenslücken in der gendersensiblen Medizin das Risiko bergen, sich in KI-Anwendungen zu verfestigen [\[43\]](#)[\[44\]](#). Eine Studie zur KI-gestützten Analyse von Röntgenbildern etwa zeigte, dass Algorithmen schlechtere Ergebnisse für Frauen lieferten, wenn die Trainingsdaten vorwiegend männlich geprägt waren – ein Ungleichgewicht, das nur durch ausgeglichene Datensätze behoben werden konnte [\[37\]](#)[\[45\]](#).

Über geschlechtsspezifische Verzerrungen hinaus gefährdet auch der Mangel an qualitativ hochwertigen Daten zu sozioökonomischen und kulturellen Faktoren die Güte und Qualität von KI-Systemen im Gesundheitswesen [\[37\]](#)[\[46\]](#). Auch fehlerhafte, unvollständige oder sozial verzerrte Daten, etwa aus Krankenakten mit fehlerhaften Diagnosen, könnten dazu führen, dass KI-Anwendungen falsche Entscheidungen treffen, wodurch bestehende Ungleichheiten weiter vertieft würden. Beispielsweise hatte ein KI-Algorithmus zur Diagnose von Lebererkrankungen bei Frauen eine deutlich geringere Trefferquote und lag bei 44% der Frauen falsch, aber nur bei 23% der Männer [\[47\]](#).

Gleichzeitig stellt der Schutz sensibler Patientendaten eine wachsende Herausforderung dar. Zwar werden zunehmend synthetische Daten eingesetzt, um die Privatsphäre zu schützen, doch auch diese bergen Risiken: Insbesondere bei teilweiser Synthetisierung oder Zusammenführung mit anderen Datensätzen kann eine Re-Identifizierung möglich werden – mit potenziell schwerwiegenden

Folgen für die betroffenen Personen [48]. Datenschutzverletzungen könnten nicht nur zu Diskriminierungen führen, sondern das Vertrauen ganzer Bevölkerungsgruppen in das Gesundheitssystem nachhaltig erschüttern [48].

Eine zunehmende gesellschaftliche Polarisierung, beispielsweise durch sich vertiefende Geschlechterungleichheiten oder die Ausgrenzung sozial marginalisierter Gruppen, droht also nicht nur gesellschaftlichen Zusammenhalt zu untergraben, sondern auch die strukturelle Resilienz der medizinischen Versorgung zu schwächen. Um diesem Risiko entgegenzuwirken, bedarf es einer bewussten, verantwortungsvollen und diversitätssensiblen Gestaltung des digitalen Wandels im Gesundheitswesen. Nur so kann sichergestellt werden, dass zunehmend eingesetzte KI-Systeme nicht zur Spaltung, sondern zur inklusiven Weiterentwicklung eines gerechten Gesundheitssystems beitragen.

Referenzen

1. Homrich, R. (2025): OT-Systeme entwickeln sich zunehmend zum Einfallstor für Cyberangriffe. 7.1.2025, www.zdnet.de/ (28.3.2025)
2. Dobrovolska, O. et al. (2024): Health Security and Cybersecurity: Analysis of Interdependencies. Health Economics and Management Review 5(2), S. 84–103, DOI: [10.61093/hem.2024.2-06](https://doi.org/10.61093/hem.2024.2-06)
3. BSI (2023): Lagebild Gesundheit Cyber-Sicherheit im Gesundheitswesen 2022. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Berlin
4. Nadeborn, D.; Dittrich, T. (2022): Cybersicherheit in Krankenhäusern – Teil 1: IT-Compliance als Leitungsaufgabe. In: International Cybersecurity Law Review 3(1), S. 147–161, DOI: [10.1365/s43439-022-00049-8](https://doi.org/10.1365/s43439-022-00049-8)
5. BSI (2025): Abschlussbericht zum Projekt Sicherheitseigenschaften von Krankenhausinformationssystemen (SiKIS). Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Berlin
6. Pfenninger, E. G. et al. (2023): Resilienz gegen IT-Angriffe an Kliniken. www.springermedizin.de/ (17.4.2025)
7. Krüger-Brand, H. K. (2017): Digitalisierung im Krankenhaus: Der Infrastruktur fehlt die Finanzierung. Deutsches Ärzteblatt, www.aerzteblatt.de/ (28.3.2025)
8. Peters, K. (Hrsg.) (2022): Cyberkriminalität. Aktuelle Herausforderungen für Polizei, Staatsanwaltschaften, Gerichte und Wissenschaft. München, DOI:10.5282/ubm/epub.92172
9. Butz, F.; Höffler, K. (2022): Cyberbiokriminalität und Cyberbiosicherheit – Kriminologische Überlegungen im Angesicht von biotechnologischen

- Entwicklungen. In: Thomas-Gabriel, R.; Bayerl, P. S. (Hg.): Handbuch Cyberkriminologie. S. 1–29, Wiesbaden, DOI: [10.1007/978-3-658-35450-3_34-1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-35450-3_34-1)
10. Elgabry, M. et al. (2020): A Systematic Review of the Criminogenic Potential of Synthetic Biology and Routes to Future Crime Prevention. In: Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 8, S. 571672, DOI: [10.3389/fbioe.2020.571672](https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.571672)
 11. Elgabry, M. et al. (2022): The future of biotechnology crime: A parallel Delphi study with non-traditional experts. In: Futures 141, S. 102970, DOI: [10.1016/j.futures.2022.102970](https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102970)
 12. Kolpatzik, K. et al. (2025): Gesundheitskompetenz in Deutschland. Ergebnisbericht. Technische Universität München und WHO Collaborating Center for Health Literacy, München, DOI: [10.14459/2025MD1772956](https://doi.org/10.14459/2025MD1772956)
 13. Johna, S. (2024): Medizinischer Fachkräftemangel als strukturelles Problem. In: Die Innere Medizin 65(9), S. 857–864, DOI: [10.1007/s00108-024-01759-3](https://doi.org/10.1007/s00108-024-01759-3)
 14. DKG (2024): DKG zum Demografie-Gutachten des DKI. Auch steigende Absolventenzahlen können Fachkräftemangel im Gesundheitswesen nicht beheben. Deutsche Krankenhausgesellschaft, www.dkgev.de/ (28.1.2025)
 15. PwC (2022): Fachkräftemangel im Gesundheitswesen: Wenn die Pflege selbst zum Pflegefall wird. Auswege aus der drohenden Versorgungskrise (Autor/innen: Burkhart, M. et al.). PricewaterhouseCoopers Deutschland
 16. Destatis (2023): Bis 2049 werden voraussichtlich mindestens 280.000 zusätzliche Pflegekräfte benötigt. Pressemitteilung Nr. 033 vom 24. Januar 2024. Statistisches Bundesamt, www.destatis.de/ (28.1.2025)
 17. SVR (2024): Fachkräfte im Gesundheitswesen. Nachhaltiger Einsatz einer knappen Ressource. Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen, Berlin, DOI: [10.4126/FRL01-006473488](https://doi.org/10.4126/FRL01-006473488)
 18. Karagiannidis, C. et al. (2018): Intensivmedizin: Intensivpflegemangel führt zu drohender Unterversorgung. Deutsches Ärzteblatt, www.aerzteblatt.de (8.7.2025)
 19. DIVI (2024): Wieder keine freien Intensivbetten für kritisch kranke Kinder: DIVI fordert STIKO zum Handeln auf. Aktuelle Meldung. Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) e.V., www.divi.de/ (11.2.2025)
 20. Weiss, A. et al. (2024): Zukunftspfad Stromversorgung. Perspektiven zur Erhöhung der Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Energiewende in Deutschland 2035. McKinsey & Company, Berlin
 21. bdew (2024): Stromkostenentwicklung 2030+. Fakten und Argumente. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW)

- (Autor/innen: Schwencke, T.; Bantle, C.). Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Berlin
22. Kemmler et.al. (2021): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Prognos AG, Basel
 23. Wirtschaftsvereinigung Stahl (2024): Wettbewerbsfähige Strompreise als Voraussetzung für die Transformation. Handlungsfelder aus Sicht der Stahlindustrie. Positionspapier (Autor/in: Roderik Hömann). Berlin
 24. Lueke, S.; Pilny, A. (2023): Energieeffizienz im Krankenhaus. Handlungsleitfaden zu energiesparenden Ansätzen und Technologien. Institute for Health Care Business GmbH, München
 25. BMWK (2023): Schlaglichter der Wirtschaftspolitik April 2023. Energiekrise überwinden – Aufschwung setzt ein. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Berlin
 26. Haserück, A.; Osterloh, F. (2022): Energiekrise Gesundheitswesen in Bedrängnis. In: Deutsches Ärzteblatt 119 (43/2022)
 27. Grunert, J.-H. (2022): Energiekrise: Gesundheitswesen in Bedrängnis. Das Leser-Forum. In: Deutsches Ärzteblatt, S. 119, www.aerzteblatt.de/ (11.2.2025)
 28. KBV (2020): EBM-Reform: Übersicht der Auswirkungen je Fachgruppe. Kassenärztliche Bundesvereinigung, Berlin
 29. DKI (2023): Klimaschutz in deutschen Krankenhäusern: Satus quo, Maßnahmen und Investitionskosten. Auswertung klima- und energierelevanter Daten deutscher Krankenhäuser (Autor/innen: Filser, M.; Levsen, A.). Deutsches Krankenhausinstitut, Düsseldorf
 30. Schneider, A. et al. (2023): Das Krankenhaus im Klimawandel – Risiken und Potenziale in Bezug auf Klimaschutz, Hitzeresilienz und Gesundheit. In: ASU Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin 2023(08), S. 496–501, DOI: [10.17147/asu-1-295571](https://doi.org/10.17147/asu-1-295571)
 31. Bretthauer, B. (2022): Tamoxifen: Warum die Politik jetzt handeln muss. Vortrag am 26. April 2022, Berlin
 32. vfa (2022): Standort Europa. Broschüre Pharma 2030, vfa – Die forschenden Pharma Unternehmen
 33. Schwarz, M. (2021): Warum wir stärkere Lieferketten bei generischen Arzneimitteln brauchen. Konzept für mehr Resilienz und für mehr Versorgungssicherheit. Studie für pro Generika. Sarticon Consulting, www.progenerika.de (12.11.2024)
 34. Lau, T.; Osterloh, F. (2022): Lieferengpässe. Das fragile System der Arzneiversorgung. In: Deutsches Ärzteblatt 119(19), S. 851–858
 35. BfArM (o.J.): Isotonische Natriumchlorid haltige Lösungen. Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, www.bfarm.de/ (21.11.2024)

36. APOTHEKE ADHOC (2024): Kochsalzlösung: BMG stellt Versorgungsmangel fest. 18.10.2024, www.apotheke-adhoc.de/ (27.1.2025)
37. Groß, C. et al. (2024): Geschlechtersensible Medizin und künstliche Intelligenz – vom „Normmann“ bis zur Gleichberechtigung. In: Gondlach, K. et al. (Hg.): Regenerative Zukünfte und künstliche Intelligenz. Wiesbaden, S. 51–62, DOI: [10.1007/978-3-658-44852-3_5](https://doi.org/10.1007/978-3-658-44852-3_5)
38. Stracke, S. et al. (2024): Geschlechtsunterschiede in der ambulanten Versorgung von Menschen mit chronischer Nierenkrankheit. In: Die Nephrologie 19(1), S. 34–40, DOI: [10.1007/s11560-023-00698-8](https://doi.org/10.1007/s11560-023-00698-8)
39. Naghipour, A.; Oertelt-Prigione, S. (2024): Geschlechter- und Diskriminierungssensibilität in der ärztlichen Praxis. In: Die Gynäkologie 57(7), S. 437–446, DOI: [10.1007/s00129-024-05241-x](https://doi.org/10.1007/s00129-024-05241-x)
40. Wortmann, L.; Oertelt-Prigione, S. (2024): Geschlechtersensible Medizin. In: Werner, J.; Schmidt-Rumpoosch, A. (Hg.): Human Hospital. Wertschätzend. Sinnstiftend. Menschlich. Berlin, S. 73–80
41. Simon, V. (2023): Forscherinnen fordern: Schmerzen von Frauen ernst nehmen. tagesschau.de. 19.10.2023, www.tagesschau.de/ (8.7.2025)
42. Szücs, D. et al. (2021): Gesundheit und Gesundheitsversorgung von trans Personen während der COVID-19-Pandemie: Eine Online-Querschnittstudie in deutschsprachigen Ländern. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 64(11), S. 1452–1462, DOI: [10.1007/s00103-021-03432-8](https://doi.org/10.1007/s00103-021-03432-8)
43. Cirillo, D. et al. (2020): Sex and gender differences and biases in artificial intelligence for biomedicine and healthcare. In: npj Digital Medicine 3(1), Art. 81, DOI: [10.1038/s41746-020-0288-5](https://doi.org/10.1038/s41746-020-0288-5)
44. Deutsches Ärzteblatt (2023): Digitalisierung: Genderbias in Daten muss beendet werden. 18.10.2023, www.aerzteblatt.de/ (28.3.2025)
45. Larrazabal, A. J. et al. (2020): Gender imbalance in medical imaging datasets produces biased classifiers for computer-aided diagnosis. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 117(23), S. 12592–12594, DOI: [10.1073/pnas.1919012117](https://doi.org/10.1073/pnas.1919012117)
46. Wehrs, K. (2024): Legacy-Modernisierung in Krankenhäusern: Schritt zur integrierten Plattform. Krankenhaus-IT Journal Online, 5.7.2024, www.krankenhaus-it.de/ (28.3.2025)
47. Straw, I.; Wu, H. (2022): Investigating for bias in healthcare algorithms: a sex-stratified analysis of supervised machine learning models in liver disease prediction. In: BMJ Health & Care Informatics 29(1), DOI: [10.1136/bmjhci-2021-100457](https://doi.org/10.1136/bmjhci-2021-100457)
48. Maslewski, D. (2024): Synthetische KI-Lerndaten – Voraussetzungen für einen Personenbezug. In: Brink, S. et al. (Hg.): Das Recht der Daten im Kontext der Digitalen Ethik. Baden-Baden, S. 153–166, DOI: [10.5771/9783748944461-153](https://doi.org/10.5771/9783748944461-153)

Gefährdungslagen im Zuge der Transformation

Das Gesundheitssystem befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel und steht aktuell vor der Herausforderung, drei wesentliche **Transformationsziele** umzusetzen. Erstens bedarf es einer grundlegenden Reform der Versorgungsprozesse, bei der Patient/innen konsequent in den Mittelpunkt gestellt und sektorübergreifende Versorgungsstrukturen deutlich stärker integriert werden. Zweitens ist die konsequente Digitalisierung dieser Prozesse eine unverzichtbare Voraussetzung für den Aufbau einer zukunftsfähigen und widerstandsfähigen Versorgungsinfrastruktur. Drittens macht der Klimawandel umfassende Maßnahmen erforderlich, um die Treibhausgasemissionen im Gesundheitswesen wirksam zu senken und damit einen Beitrag zur angestrebten Klimaneutralität Deutschlands bis 2045 zu leisten. 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 Transformationsziele.

Sektorenübergreifende und integrierte Versorgung

Die strikte Trennung zwischen den Versorgungsbereichen erschwert seit Jahrzehnten eine koordinierte Patientenversorgung [1]. Die funktionale Differenzierung zwischen ambulanter, stationärer und rehabilitativer Versorgungsstruktur, die verschiedenen Leistungserbringern und Kostenträgern zugeordnet ist, hat ein komplexes und stark fragmentiertes Gesundheitswesen hervorgebracht. Da sich Versorgungssektoren unabhängig voneinander entwickelt haben, folgen sie unterschiedlichen Regeln: Wesentliche Unterschiede bestehen im Zugang zur Versorgung, in den Unternehmensstrukturen, den Arbeits- und Kooperationsformen sowie bei der Finanzierung und Vergütung [2]. Diese historisch gewachsene Sektorentrennung hat zu Pfadabhängigkeiten geführt, die den Umbau zu einer sektorenübergreifenden Versorgung erheblich behindern.

Die Sektorentrennung führt kurzfristig zu oftmals langen Wartezeiten für Patient/innen, Verzögerungen in der Behandlung und

Versorgungsbrüchen. Unkoordinierte und ineffiziente Behandlungsprozesse beeinträchtigen die Versorgungsqualität und erhöhen insbesondere für chronisch und multimorbid erkrankte Patient/innen das Risiko vermeidbarer Komplikationen. Langfristig erschwert die sektorale Trennung eine effektive Steuerung des Gesundheitssystems und trägt zu steigenden Gesundheitsausgaben bei [3]. Diese ressourcenintensive und stark regulierte Ausrichtung führt dazu, dass nach wie vor die Behandlung akuter und chronischer Erkrankungen im Vordergrund steht, während Prävention und Gesundheitsförderung trotz ihres langfristigen Entlastungspotenzials nur zögerlich in die bestehenden Versorgungsstrukturen und Vergütungssysteme integriert werden [4][5].

Aus systemischer Perspektive ergeben sich Pfadabhängigkeiten vor allem aus den grundlegenden Unterschieden bei der Finanzierung und Vergütung der einzelnen Versorgungsbereiche [6]. Während Krankenhäuser über Fallpauschalen abrechnen, basiert die ambulante Versorgung auf einzelleistungsbezogenen Abrechnungsstrukturen. Diese hochgradig reglementierten Finanzierungsstrukturen sind für den Aufbau einer sektorenübergreifenden und integrierten Gesundheitsversorgung besonders hinderlich und stehen einer kontinuierlichen, sektorübergreifenden Versorgung entgegen [7][8]. Auch Fehlanreize in der Finanzierung, unzureichende Kommunikationsstrukturen und unklare Zuständigkeiten für die Vernetzung der Versorgungssektoren erschweren die Zusammenarbeit zwischen ambulanter und stationärer Versorgung und verstärken bestehende Pfadabhängigkeiten. Gleichzeitig werden bestehende rechtliche Regelungen nicht vollständig ausgeschöpft, sodass Reformansätze zur besseren Verzahnung der Versorgungssektoren ungenutzt bleiben [9].

Darüber hinaus bestehen auch akteursbezogene Pfadabhängigkeiten, insbesondere gesellschaftlich-kulturelle, die eine interdisziplinäre und sektorenübergreifende Zusammenarbeit im Gesundheitswesen erschweren. Ein eher traditionelles Rollenverständnis zwischen Gesundheits- und Pflegeberufen sowie die historisch gewachsene Hierarchie der Professionen behindern eine stärkere Kooperation zwischen den Sektoren. Auch wenn eine verzahnte Zusammenarbeit von den Professionen gewünscht würde, erschweren die bestehenden Regelungen zur Kompetenzverteilung die Förderung der interprofessionellen Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Berufsgruppen [10].

Für eine effektive Patientenversorgung ist eine strukturierte Kooperation zwischen den Versorgungsbereichen erforderlich. Fehlt ein reibungsloser Informationsfluss zwischen den Versorgungsbereichen, entstehen gravierende Versorgungsdefizite, die die Behandlungsqualität beeinträchtigen. Medizinisch relevante Informationen gehen an den Schnittstellen der Versorgung verloren, etwa beim Übergang vom Krankenhaus in die ambulante Nachsorge, was insbesondere bei Patient/innen mit komplexen oder chronischen Erkrankungen zu erheblichen Problemen führt. Die Folge sind unnötige Doppeluntersuchungen, fehlerhafte oder widersprüchliche Medikationen, verzögerte Therapiebeginne sowie vermeidbare Krankenhaus(weiter)aufenthalte. Diese Effizienzverluste belasten nicht nur das Personal und die Ressourcen zusätzlich, sondern führen auch zu steigenden Kosten und einer sinkenden Versorgungsqualität. Ohne eine konsequente Transformation hin zu einer sektorenübergreifenden, integrierten Versorgung droht langfristig eine strukturelle Überforderung des Gesundheitssystems und eine Schwächung seiner Funktions- und Zukunftsfähigkeit.

Digitalisierung

Zeitliche Pfadabhängigkeiten innerhalb des Gesundheitssystems in Deutschland zeigen sich in der langsamen und zögerlichen Umsetzung der digitalen Transformation. Historisch gewachsene Strukturen und etablierte Prozesse im Gesundheitssystem, wie die Trennung zwischen ambulanter und stationärer Versorgung sowie die komplexen Finanzierungs- und Vergütungssysteme, behindern eine schnelle Anpassung an digitale Innovationen. Diese Strukturen schaffen eine starke Abhängigkeit von traditionellen Arbeitsweisen, was die Integration neuer digitaler Technologien, wie der elektronischen Patientenakte (ePA) oder telemedizinischer Versorgung, erschwert. Deutschlands Gesundheitssystem weist bislang im europäischen Vergleich nur einen mittleren Digitalisierungsgrad auf, auch aufgrund später Anpassungen des gesetzlichen Rahmens und unzureichender Koordination zwischen Bund und Ländern [11]. Obwohl die Einführung digitaler Anwendungen bereits vor über zwanzig Jahren angestoßen wurde und Eingang in das Fünfte Sozialgesetzbuch fand (SGB V § 291a Abs. 3 Nr. 4 SGB V i. d. F. vom 01.01.2004), erfolgt ihre Umsetzung nur zögerlich. Erst mit dem Patientendaten-Schutz-Gesetz (PDSG) von 2020 wurden Krankenkassen zur Bereitstellung der ePA verpflichtet; das Digital-Gesetz von 2023 setzte mit der Opt-out-Regelung einen weiteren Impuls zur Verbreitung. Dennoch liegt die kassenübergreifende Nutzung

weiterhin unter zwei Prozent [12], zahlreiche der mit der ePA verbundenen und gewünschten digitalen Innovationen sind bislang nicht beim Patienten angekommen.

Die geringe Verbreitung spiegelt sowohl eine unzureichende Nutzerakzeptanz als auch anhaltende Unsicherheiten hinsichtlich Datennutzung und Zuständigkeiten bei den Patient/innen und Leistungserbringern wider, obwohl Umfragen zufolge ein Großteil der Bevölkerung digitalen Gesundheitsanwendungen grundsätzlich positiv gegenübersteht [13]. Hinzu kommt die veraltete Struktur vieler z.B. in Arztpraxen eingesetzter IT-Systeme. Oftmals fehlen moderne, modulare IT-Strukturen und offene Schnittstellen, was die Umsetzung der digital vernetzten Medizin erschwert – sowohl für Patient/innen als auch für Leistungserbringer [14]. Die digitale Transformation wird durch diese langfristig etablierten Pfade oft nur schrittweise vorangetrieben, was zu Verzögerungen und ineffizienten Implementierungen führt.

Auch aus systemischer Perspektive zeigen sich Pfadabhängigkeiten, die das Voranschreiten der Digitalisierung erschweren [15][16]. Krankenhäuser, Arztpraxen und auch Apotheken haben über Jahre hinweg individuelle IT-Lösungen entwickelt, die ohne umfassende Anpassungen nicht in ein einheitliches digitales System integriert werden können. So sind beispielsweise Krankenhausinformationssysteme (KIS) häufig nicht direkt mit Praxisverwaltungssystemen (PVS) oder Apothekenmanagementsystemen kompatibel [17]. Der geringe Digitalisierungsgrad des öffentlichen Gesundheitsdienstes (ÖGD) und seiner 375 kommunalen Gesundheitsämter sowie das Fehlen eines hinreichend aussagekräftigen Überblicks über die IT-Landschaft im ÖGD werden spätestens seit der COVID19-Pandemie in Gesellschaft und Medien diskutiert [18]. Fehlende Standardisierungen von Schnittstellen erschweren den Digitalisierungsprozess und behindern durch uneinheitliche Datenformate einen reibungslosen Datenaustausch [19]. Die mangelnde Interoperabilität der verschiedenen Systeme erschwert beispielsweise die automatisierte Datenverarbeitung und erfordert hohen manuellen Aufwand. Erschwerend kommt hinzu, dass der Digitalisierungsgrad der Gesundheitseinrichtungen oft sehr heterogen ist, da Daten zumeist nicht aus den Primärsystemen, in denen die Patient/innendaten erhoben wurden, extrahiert werden können. Dadurch verbleiben Patient/innendaten oft isoliert in den Versorgungssektoren, was redundante Strukturen verursacht und zu doppelten Untersuchungen

sowie zu einem erhöhten administrativen Aufwand z.B. für die Dokumentation führt [20].

Akteursbezogene Pfadabhängigkeiten wirken neben Herausforderungen in der Systemkompatibilität ebenfalls als Barriere für die reibungslose Integration digitaler Prozesse. Die fortschreitende Digitalisierung im Gesundheitswesen fördert eine verstärkte Nutzung technischer und digitaler Infrastrukturen sowie eine Zunahme sensibler Gesundheitsdaten, die verarbeitet und geteilt werden müssen [21]. Damit einher geht ein wachsender Bedarf an digitalen Kompetenzen sowohl bei Patient/innen als auch bei Leistungserbringenden. Viele Akteure sind jedoch bislang unzureichend auf die Nutzung digitaler Anwendungen vorbereitet [22]. Im europäischen Vergleich zeigt sich, dass Deutschland sowohl hinsichtlich der digitalen Gesundheitskompetenz der Bevölkerung als auch der Anpassungsfähigkeit zentraler Akteursgruppen an technologische Veränderungen nur geringe Verbesserungen aufweist [23]. Zentrale digitale Gesundheitskompetenzen für Medizinstudierende sind bisher in entsprechenden Ausbildungsprogrammen nur an wenigen Universitäten verankert [22][24][25]. Die unzureichende Digitalkompetenz des medizinischen Personals kann sowohl die Akzeptanz digitaler Anwendungen verringern als auch deren fehlerhafte Nutzung begünstigen, was in der Folge zu einem Vertrauensverlust in digitale Lösungen führt.

Die Digitalisierung des Gesundheitswesens ist essenziell für eine zukunftsfähige, robuste Gesundheitsversorgung. Wenn das Transformationsziel der Digitalisierung verfehlt oder auch verzögert wird, können sich systemische Risiken wie die Cyberkriminalität oder auch Technikversagen und Technikbeherrschbarkeit verstärken und das Infrastruktursystem zusätzlich gefährden. Bereits jetzt führen veraltete und fragmentiert vernetzte IT-Strukturen zu verzögerten Reaktionsfähigkeiten oder machen Gesundheitseinrichtungen anfällig für Systemausfälle oder Cyberangriffe, die weitreichende Einschränkungen der Stabilität und Funktionsfähigkeit des Infrastruktursystems Gesundheit zur Folge haben können.

Klimaneutralität

Das deutsche Gesundheitssystem steht im Hinblick auf zeitliche Pfadabhängigkeiten vor erheblichen Herausforderungen bei der Umstellung auf Klimaneutralität. Über einen längeren Zeitraum hinweg wurden Versorgungsstrukturen vornehmlich unter dem Gesichtspunkt

kurzfristiger Effizienz und unmittelbarer Leistungsfähigkeit entwickelt, während Aspekte der Nachhaltigkeit und Resilienz weitgehend vernachlässigt wurden. Dies zeigt sich exemplarisch an der Abfallproblematik: Im Jahr 2017 lag die durchschnittliche Abfallmenge pro Klinik bei 7 bis 8 Tonnen täglich, was hochgerechnet einem jährlichen Gesamtaufkommen von etwa 4,8 Millionen Tonnen Krankenhausabfällen entspricht. Weitere Mengen entstehen zusätzlich in Pflegeeinrichtungen und ambulanten Praxen. Ein wesentlicher Treiber dieser Entwicklung ist der weit verbreitete Einsatz von Einwegprodukten, die zunehmend mehrfach verwendbare Materialien und Kreislaufwirtschaftsprinzipien verdrängt haben. Selbst langlebige Medizinprodukte wie Instrumente aus Metall (z. B. Pinzetten, Scheren, Laryngoskope) werden häufig nur einmal genutzt und anschließend entsorgt [26]. Eine gemeinsame Nachhaltigkeitsstrategie für das deutsche Gesundheitssystem fehlt bislang – auch dies erschwert eine systematische Reduktion der Emissionen. Eine übergreifende, strategisch abgestimmte Nachhaltigkeitsagenda für das deutsche Gesundheitssystem existiert bislang nicht, was eine koordinierte Emissionsreduktion zusätzlich erschwert. Investitionen in energieeffiziente und ressourcenschonende Infrastrukturen wurden vielfach verschoben oder aufgrund budgetärer Engpässe nicht realisiert. Dies hat zu einem beträchtlichen Modernisierungsrückstand geführt, der die Umsetzung notwendiger Klimaschutzmaßnahmen – etwa im Bereich der energetischen Gebäudesanierung, der Nutzung erneuerbarer Energien oder der Dekarbonisierung von Lieferketten – heute erheblich verzögert.

Aus systemischer Perspektive werden weitere Pfadabhängigkeiten deutlich, insbesondere im Hinblick auf den Energie- und Ressourcenverbrauch. Der kontinuierliche Betrieb medizinischer Einrichtungen ist mit einem überdurchschnittlich hohen Energieverbrauch verbunden [27], was die Anfälligkeit gegenüber Störungen im Energiesektor erhöht und zugleich den Handlungsdruck zur Energieeinsparung verdeutlicht. Eine wesentliche Reduktion des Energieverbrauchs erfordert umfassende Gebäudesanierungen, insbesondere an Gebäudehüllen, Fassaden und Dämmungen. Diese Maßnahmen sind jedoch mit hohen Kosten verbunden [28]. Die bislang geringe finanzielle Förderung klimaneutraler Investitionen sowie die unzureichende Beteiligung der Bundesländer an den gesetzlich vorgesehenen Investitionskosten – bislang etwa 50 % – haben zu einem erheblichen Sanierungsstau geführt [29].

Gesundheitseinrichtungen können die erforderlichen Investitionen oft nicht eigenständig tragen [28]. Darüber hinaus spielt beispielsweise auch der Zugang zu Wasser in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen eine zentrale Rolle, da eine sterile Wasserzufuhr essenziell für medizinische Behandlungen ist. Der Wasserverbrauch ist im Gesundheitssektor vergleichsweise hoch, eine systematische und kontinuierliche Versorgung mit Wasser wird [traditionell durch bestehende Wasserversorgungsstrukturen](#) gewährleistet. Vor dem Hintergrund des Klimawandels müssen nachhaltige Lösungen zur Reduktion des Wasserverbrauchs sowie einer sicheren Entsorgung von medizinisch kontaminiertem Wasser entwickelt werden, was mit einem umfangreichen Umbau einhergehen kann [30]. Eine koordinierte Strategie zwischen Bund und Ländern zur finanziellen Förderung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen im Gesundheitswesen fehlt bislang. Die geringe Priorisierung klimapolitischer Ziele in der Gesundheitspolitik verstärkt bestehende Pfadabhängigkeiten zusätzlich.

Die Umsetzung von Klimaneutralität im deutschen Gesundheitswesen wird durch akteursbezogene Pfadabhängigkeiten und politische Rahmenbedingungen erschwert. Im Klimaschutzprogramm 2030 fehlen bislang verbindliche Treibhausgasreduktionsziele für den Gesundheitssektor, wodurch klare politische Vorgaben sowie steuernde Anreize für nachhaltige Transformationen ausbleiben [31]. Finanzielle Anreize für Investitionen in klimaneutrale Energieinfrastrukturen und nachhaltige Versorgungsstrukturen für die Gesundheitseinrichtungen sind weiterhin unzureichend [32][33][34]. Eine starke politische Steuerung im Gesundheitssektor sowie eine klare Priorisierung von Klimawandel und Gesundheit auf höchster Regierungsebene sind daher entscheidend für den Aufbau eines klimaresilienten Gesundheitssystems [35]. Zudem wird das gesundheitliche Potenzial klimapolitischer Maßnahmen bislang unzureichend kommuniziert, was öffentliche Akzeptanz und Unterstützungsbereitschaft für notwendige Veränderungen erschwert [35]. Weitere akteursbezogene Pfadabhängigkeiten ergeben sich aus der mangelhaften Einbindung gesellschaftlicher Akteure in den Transformationsprozess und einem schwach ausgeprägten Bewusstsein für die langfristigen Gesundheitsbelastungen des Klimawandels.

Das Nicht-Erreichen von Klimaneutralität im Gesundheitssystem birgt erhebliche gesellschaftliche Risiken, da die steigenden Emissionen zur Verschärfung klimabedingter Gesundheitsbelastungen wie Hitzestress,

Atemwegserkrankungen oder Infektionswellen beitragen. Gleichzeitig gefährden klimabedingte Extremwetterereignisse die Funktionsfähigkeit medizinischer Infrastrukturen, was die Versorgungssicherheit der Bevölkerung untergräbt und soziale Ungleichheiten vertieft.

Referenzen

1. Goetz, C.; Ciborowski, A. M. (2023): Sektorenübergreifende Leistungskoordination durch Gesundheitslotsen – Anforderungen an IT-Systeme. In: Cassens, M.; Städter, T. (Hg.): Wege zum neuen Gesundheitssystem – „Change by Design“ oder „Change by Disaster“. Wiesbaden, S. 41–59, DOI: [10.1007/978-3-658-43519-6_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-43519-6_3)
2. Richard, S. (2020): Von der sektorenübergreifenden zur sektorenunabhängigen Versorgung. In: Der Internist 61(9), S. 895–902, DOI: [10.1007/s00108-020-00844-7](https://doi.org/10.1007/s00108-020-00844-7)
3. Statistisches Bundesamt (2024): Gesundheitsausgaben im Jahr 2022 auf knapp 500 Milliarden Euro gestiegen. Pressemitteilung Nr. 167 vom 25. April 2024, www.destatis.de/ (31.3.2025)
4. ExpertInnenrat Gesundheit & Resilienz (2024): 1. Stellungnahme des ExpertInnenrats „Gesundheit und Resilienz“. Berlin
5. Kurz, C. (2024): Krankenhausreform: Der Teufel steckt im Detail. Deutsches Ärzteblatt, www.aerzteblatt.de/ (18.9.2024)
6. Messerle, R. (2022): Ein sektorengleiches Vergütungssystem. Innovationsfondsprojekt Einheitliche, Sektorengleiche Vergütung (ESV). Hamburg Center for Health Economics, BKK Dachverband e.V., Deutsches Krankenhausinstitut, Management im Gesundheitswesen (TU Berlin), Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in Deutschland, Berlin
7. AWMF (2024): Jahresbericht 2023. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. Berlin
8. BMG (2022): Das deutsche Gesundheitssystem. Leistungsstark. Sicher. Bewährt. Bundesministerium für Gesundheit, Berlin
9. Blank, K. et al. (2022): Sektorenübergreifende Versorgung: Vorankommen an der Dauerbaustelle. Techniker Krankenkasse, www.tk.de/ (28.3.2025)
10. Deutsches Ärzteblatt (2024): Zusammenarbeit der Fachberufe braucht Vertrauen und gesetzliche Regelungen. 1.2.2024, www.aerzteblatt.de/ (28.3.2025)
11. Loboiko, K. (2025): Europäische Gesundheitssysteme im Vergleich. Atlas Digitale Gesundheitswirtschaft. www.atlas-digitale-gesundheitswirtschaft.de/ (28.3.2025)
12. Seifert, A. (2024): Nur wenige Deutsche nutzen bislang die elektronische Patientenakte. MDR, 17.3.2024, www.mdr.de/ (31.3.2025)

13. gematik (2024): gematik insights. Status quo „ePA für alle“ (Autor/in: Broich-Oppert, M. von). gematik GmbH, Berlin
14. Stachwitz, P.; Debatin, J. F. (2023): Digitalisierung im Gesundheitswesen: heute und in Zukunft. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 66(2), S. 105–113, DOI: [10.1007/s00103-022-03642-8](https://doi.org/10.1007/s00103-022-03642-8)
15. Vordenbäumen, V.; Pfannstiel, M. A. (2024): Auswirkungen digitaler Technologien auf die Arbeitswelt im Krankenhaus. In: Pfannstiel, M. A. (Hg.): Technologien und Technologiemanagement im Gesundheitswesen. Potenziale nutzen, Lösungen entwickeln, Ziele erreichen. Wiesbaden, S. 783–800, DOI: [10.1007/978-3-658-43860-9_39](https://doi.org/10.1007/978-3-658-43860-9_39)
16. Bode, I. et al. (2023): Staatliche Organisationen und Krisenmanagement. Baden-Baden, DOI: [10.5771/9783748936794](https://doi.org/10.5771/9783748936794)
17. Lang, M. (2024): Über Cloud, SaaS und KI: Das planen die Top-Player des KIS-Marktes. In: Georg Thieme Verlag KG. 2024
18. Freitag et al. (2024): Abenteuer Digitalisierung – erste Übersicht digitaler Tools im ÖGD. In: Gesundheitswesen 86(S 02), S. 130, DOI: [10.1055/s-0044-1781935](https://doi.org/10.1055/s-0044-1781935)
19. IGES (2023): Praxisbarometer Digitalisierung 2023. IGES Institut, Berlin
20. Krefting, D. et al. (2024): Die digitalen Fortschrittshubs Gesundheit – Gemeinsame Datennutzung über die Universitätsmedizin hinaus. In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz (67), S. 701–709, DOI: [10.1007/s00103-024-03883-9](https://doi.org/10.1007/s00103-024-03883-9)
21. Henke, V. et al. (Hg.) (2024): Health Data Management. Schlüsselfaktor für erfolgreiche Krankenhäuser. Wiesbaden, DOI: [10.1007/978-3-658-43236-2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-43236-2)
22. Dratva, J. et al. (2024): Digitale Gesundheitskompetenz der Bevölkerung in Deutschland: Aktueller Stand, Konzepte und Herausforderungen. In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 67(3), S. 277–284, DOI: [10.1007/s00103-024-03841-5](https://doi.org/10.1007/s00103-024-03841-5)
23. Schaeffer, D. et al. (2023): Digitale Gesundheitskompetenz der Bevölkerung in Deutschland: Ergebnisse des HLS-GER 2. In: Das Gesundheitswesen 85(4), S. 323–331, DOI: [10.1055/a-1670-7636](https://doi.org/10.1055/a-1670-7636)
24. Waibel, A.-M.; Bischoff, M. (2024): Digitale Kompetenzen im Medizinstudium: Ergebnisse einer interdisziplinären Lehrveranstaltung. In: Hno 72(3), S. 161–165, DOI: [10.1007/s00106-023-01411-w](https://doi.org/10.1007/s00106-023-01411-w)
25. Schaeffer, D.; Gille, S. (2022): Gesundheitskompetenz im Zeitalter der Digitalisierung. In: Prävention und Gesundheitsförderung 17(2), S. 147–155, DOI: [10.1007/s11553-021-00872-7](https://doi.org/10.1007/s11553-021-00872-7)
26. Hery, D. et al. (2023): Digitale Gesundheitsanwendungen (kurz: DiGA) – ein Zwischenfazit. Fraunhofer IESE, www.iese.fraunhofer.de/ (15.4.2025)

27. Haserück, A.; Osterloh, F. (2022): Energiekrise Gesundheitswesen in Bedrängnis. In: Deutsches Ärzteblatt 119 (43/2022)
28. DKG (2025): Kliniken fordern milliardenschweren Klimaschutzfonds zum klimagerechten Umbau. Deutsche Krankenhausgesellschaft, www.dkgev.de/ (28.3.2025)
29. Murat, M. (2022): Unterfinanzierung im Gesundheitswesen: Geld reicht nicht für Klimaschutz. In: taz. Die tageszeitung, 19.7.2022
30. Raggam, S. et al. (2023): Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft im Gesundheitssektor. Institut für Innovation und Technik, Berlin
31. Baltruks, D. et al. (2022): Umsetzung von Klimaschutz und Nachhaltigkeit unter Ärzt:innen und Führungskräften im Gesundheitswesen braucht Unterstützung. Berlin, DOI: [10.5281/ZENODO.7304594](https://doi.org/10.5281/ZENODO.7304594)
32. Deutschlandfunk (2025): Bundestagswahl: Warum spielt der Klimawandel keine Rolle? 18.2.2025, www.deutschlandfunk.de/ (28.3.2025)
33. BUND (2025): Start der neuen Koalition – das erwartet uns. BUND für Naturschutz und Umwelt in Deutschland, www.bund.net/ (7.5.2025)
34. Ärzte Zeitung (2024): Nachhaltigkeit: Zu wenig Geld: Klimabilanz der Kliniken ist weiter negativ. www.aerztezeitung.de/ (28.3.2025)
35. Haar, A. von der et al. (2024): Evidenzbericht zu Governancestrukturen von Klimawandel und Gesundheit in Deutschland. Center for Planetary Health Policy, Berlin, DOI: [10.5281/ZENODO.13889478](https://doi.org/10.5281/ZENODO.13889478)

Fokusthemen

Für eine vertiefende Untersuchung im Resilienz-Check schlagen wir drei alternative Fokusthemen für das Infrastruktursystem Gesundheit 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 Gesundheitssystem. 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: Neue Infektionsrisiken – Innovationen und Technologien für Prävention und Resilienzsteigerung

Die Häufigkeit neuer und wiederkehrender Infektionskrankheiten nimmt – wie im Trendcluster [Gesundheitsbelastungen im Wandel](#) beschrieben – stetig zu und stellt eine wachsende Herausforderung für die globale Gesundheit dar. Faktoren wie die Ausweitung menschlicher Aktivitäten in bislang unberührte Lebensräume, zunehmende globale Mobilität, industrialisierte Landwirtschaft sowie die Folgen des Klimawandels begünstigen die Ausbreitung von Krankheitserregern und steigern das Risiko infektiöser Ausbrüche. Vor diesem Hintergrund wird die vorausschauende Erkennung von neuen Infektionsgefahren zu einer zentralen strategischen Aufgabe für Politik, Gesellschaft und internationale Zusammenarbeit, um die Resilienz des Gesundheitssystems zu stärken.

Im Rahmen des Resilienz-Checks sollen technologiebasierte und innovative Ansätze zur Infektionsprävention und zur Stärkung gesellschaftlicher Resilienz fokussiert und szenariobasiert untersucht werden: (1) epidemiologische und technologische Frühwarnsysteme, etwa durch verbesserte Surveillance, automatisierte Datenerfassung und Echtzeitanalysen, (2) Modellierungsansätze zur Vorhersage und

Steuerung von Epidemien/Pandemien einschließlich KI-gestützter Verfahren zur Risikoabschätzung und Entscheidungsunterstützung sowie (3) digitalbasierte Public-Health-Strategien, beispielsweise zur zielgerichteten Infektionsprävention, zur Eindämmung von Krankheitsausbrüchen sowie zur digitalen Gesundheitskommunikation – insbesondere für vulnerable Bevölkerungsgruppen. Im Rahmen der Szenarioentwicklung werden auch grundlegende Ursachen und Übertragungsmechanismen neuer Infektionen analysiert – etwa die Überwindung von Speziesbarrieren oder der Einfluss klimatischer und umweltbedingter Veränderungen wie Landnutzungswandel. Ziel des Resilienz-Checks auf Grundlage dieses Fokusthemas ist es, einen systematischen Überblick über innovative technologische Konzepte zum Umgang mit künftig steigenden Infektionsrisiken zu geben und deren Potenziale zur Stärkung der Resilienz gegenüber künftigen Infektionsrisiken zu bewerten. Dabei werden nicht nur die individuellen Vorteile der einzelnen Ansätze betrachtet, sondern auch ihre Wechselwirkungen im Gesamtsystem. Zudem werden mögliche neue Risiken analysiert, die mit den jeweiligen Ansätzen verbunden sein könnten, und resilienzorientierte Strategien entwickelt, um diesen Herausforderungen wirksam zu begegnen.

Fokusthema 2: KI-Systeme zur Resilienzsteigerung der Gesundheitsversorgung

Im Gesundheitswesen kommen – wie im Trendcluster [Digitalisierung und datenbasierte Vernetzung](#) dargelegt – zunehmend interagierende KI-Systeme zum Einsatz, die kurz-, mittel- und langfristig auch strukturelle Veränderungen bewirken werden. KI-Systeme können die Resilienz des Gesundheitssystems stärken, indem sie frühzeitig Risiken erkennen, Versorgungsabläufe effizienter gestalten und medizinisches Personal bei Diagnostik, Therapieentscheidungen und Ressourcenmanagement entlasten. Insbesondere in Krisensituationen wie Pandemien, Naturkatastrophen oder großflächigen Versorgungsausfällen versprechen KI-gestützte Analysen eine schnellere Reaktion und fundierte Entscheidungsfindung.

Im Rahmen des Resilienz-Checks sollen ausgewählte Anwendungsgebiete von KI-Systemen fokussiert und szenariobasiert untersucht werden, die sich vor allem hinsichtlich ihrer Interaktionspartner, ihres Einsatzortes und ihrer Funktion

unterscheiden: (1) KI-Systeme zur klinischen Entscheidungsunterstützung (für Fachpersonal) zur Analyse medizinischer Daten und für die Unterstützung bei Diagnose- und Therapieentscheidungen (z.B. Bildauswertung, Risiko- und Prognosemodelle, KI-gestützte Therapieempfehlungen), (2) KI-gestützte Assistenzsysteme für Patient/innen (im Alltag) für die direkte Interaktion zur Prävention, Früherkennung oder Selbstmanagement sowie (3) KI-Systeme für das Gesundheitsmanagement und die Versorgungskoordination zur Unterstützung der übergreifenden Organisation von Gesundheitsversorgung und Public Health. Ziel des Resilienz-Checks auf Grundlage dieses Fokusthemas ist es, Resilienzpoteziale innovativer interagierender KI-Technologien für die Gesundheitsversorgung zu analysieren. Zudem werden mögliche neue Risiken identifiziert, die mit den jeweiligen Ansätzen verbunden sein könnten, und resilienzorienteerte Strategien entwickelt, um diesen Herausforderungen wirksam zu begegnen.

Fokusthema 3: Biotechnologische Produktionsplattformen für die flexible, dezentrale Entwicklung und Bereitstellung von Medikamenten und Impfstoffen

Neuere Entwicklungen im Bereich der biotechnologischen Produktionsplattformen – wie im Trendcluster [Biotechnologische Innovationen](#) dargelegt – versprechen vielfältige neue Möglichkeiten der Entwicklung und Produktion von Medikamenten und Impfstoffen. Insbesondere eröffnen molekularbiologische und zellbasierte Verfahren und Herstellungsprozesse neue Perspektiven für die Bereitstellung personalisierter Therapien und können eine stärkere Dezentralisierung der Versorgung fördern – etwa durch lokal betriebene oder auch mobile Produktionssysteme in Krankenhäusern oder regionalen Versorgungszentren. Dadurch könnte die Versorgungssicherheit auch in Krisen- oder Mangellagen deutlich verbessert und somit die Resilienz insgesamt gestärkt werden.

Im Rahmen des Resilienz-Checks sollen zwei Konzepte biotechnologischer Produktionsplattformen fokussiert und szenariobasiert untersucht werden: (1) technologische Entwicklungen in der Arzneimittelproduktion zur flexiblen, bedarfsorientierten und dezentralen Herstellung von Medikamenten sowie (2) innovative

Plattformen für die Herstellung von Impfstoffen – etwa auf Basis von mRNA- oder Zellplattformen –, die eine schnellere oder effektivere Reaktion auf neu auftretende Infektionsrisiken ermöglichen. Beide Themenfelder bergen erhebliches Potenzial zur Stärkung der Resilienz im Gesundheitswesen. Ziel des Resilienz-Checks auf Grundlage dieses Fokusthemas ist es, Resilienzpoteziale des Einsatzes biotechnologischer Produktionsplattformen für Medikamente und Impfstoffe zu analysieren. Dabei wird auch berücksichtigt, welche neuen Risiken je nach Anwendungskontext entstehen können und welche Handlungsoptionen für eine möglichst resilienzorienteerte Nutzung dieser Technologien bestehen.

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) (2024): Foresight-Report zum Infrastruktursystem Gesundheit (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/gesundheit>

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](#)