

Bericht

des Ausschusses für Bildung, Forschung und
Technikfolgenabschätzung (18. Ausschuss)
gemäß § 56a der Geschäftsordnung

Technikfolgenabschätzung (TA)

**Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft
durch Krisenvorhersage stärken**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort des Ausschusses	4
Zusammenfassung	9
1 Einleitung	23
2 Resilienz als Leitkonzept der Politik	27
2.1 Resilienzverständnis	27
2.2 Resilienz auf politischer Ebene.....	28
2.3 Handlungsfelder zur Förderung der Resilienz	30
3 Frühwarnsysteme	33
3.1 Funktionen von Frühwarnsystemen	33
3.2 Prozess der Frühwarnung.....	35
3.3 Anwendungsbereiche von Frühwarnsystemen.....	38
3.4 Technologische Dimensionen von Frühwarnsystemen.....	41
3.5 Leistungsgrenzen von Frühwarnsystemen	43
4 Reallabor Corona – Erfahrungen mit Frühwarnsystemen in der COVID-19-Pandemie	45
4.1 Vor der COVID-19-Pandemie vorliegende Erkenntnisse in Deutschland	45
4.1.1 LÜKEX 2007	46

	Seite
4.1.2	SARS/MERS/H1N1..... 46
4.1.3	Unterrichtungen durch die Bundesregierung zur Risikoanalyse 2012 und 2017 47
4.1.4	Nationaler Pandemieplan..... 47
4.2	Der Einsatz von Frühwarnsystemen während der COVID-19-Pandemie 48
4.2.1	Frühwarnsysteme in Deutschland 49
4.2.2	Frühwarnsysteme international..... 52
4.3	Bewertung des deutschen Frühwarnsystems..... 55
5	Zukünftige systemische Risiken..... 59
5.1	Systemische Risiken: Eigenschaften und Einordnung..... 59
5.2	Kippunkte..... 60
5.3	Mit welchen systemischen Risiken zukünftig zu rechnen ist..... 61
6	Exemplarische Resilienzanalysen: Gesundheits- und Mobilitätssystem 67
6.1	Fallstudie Gesundheit 67
6.1.1	Problemstellung und Systembild 67
6.1.2	Systemisches Risiko Klimawandel..... 68
6.1.3	Ansätze für Resilienz..... 76
6.2	Fallstudie Verkehr..... 83
6.2.1	Problemstellung und Systembild 83
6.2.2	Systemisches Risiko Klimawandel..... 85
6.2.3	Ansätze für Resilienz..... 88
6.3	Fazit 93
6.3.1	Handlungsfeld »Risiken und Schwachstellen identifizieren«..... 94
6.3.2	Handlungsfeld »Vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse«..... 95
6.3.3	Handlungsfeld »Auffangen und Abmildern von bereits eingetretenen Schäden« 96
6.3.4	Handlungsfeld »Schaffung von anpassungsfähigen Strukturen«..... 96
7	Handlungsoptionen zur Stärkung der Resilienz von Gesellschaft, Wirtschaft und Politik..... 99
7.1	Handlungsoptionen zur Verbesserung der Krisenvorsorge..... 101
7.1.1	Frühwarnsysteme um Vulnerabilitäts-, Stresstests und Resilienzanalysen zu systemischen Risiken erweitern 101
7.1.2	Wahrnehmung von Risikoszenarien im Sinne des All- Gefahren-Ansatzes in der Politik verbessern 102
7.1.3	Frühwarnung durch Szenarien, Modellierung und KI unterstützen..... 102
7.1.4	Vorsorgende politische Gestaltungskonzepte umsetzen 103

	Seite
7.1.5	Integrierte Risikobewertung zur Krisenvorsorge auf Bundes- und Landesebene durch Schnittstellen sicherstellen..... 104
7.1.6	Kooperative Formate und Konsultationsmechanismen zur Krisenvorhersage und -reaktion auf europäischer Ebene stärken..... 104
7.1.7	Entwicklung und Evaluation von Kriterien, um politische Maßnahmen zur Krisenvorsorge auf eine effektive Resilienzwirkung hin auszurichten 105
7.1.8	Konzepte der Resilienz und Nachhaltigkeit zusammenführen, um zu einem transformativen Resilienzverständnis zu gelangen 105
7.2	Stärkung der Kapazitäten des Deutschen Bundestages zur Gestaltung einer transformativen Resilienzpolitik..... 106
7.2.1	Öffnung der strategischen Vorausschau der Exekutive zur Stärkung der Futures Literacy der Legislative..... 107
7.2.2	Erweiterung der Aufgaben der parlamentarischen TA im Bereich Foresight: Resilienzradar und Resilienzcheck..... 110
7.2.3	Einsetzung einer Enquete-Kommission zum Themenkreis Krisenvorsorge, Resilienz und gesellschaftlicher Zusammenhalt..... 111
8	Literatur 113
8.1	In Auftrag gegebene Gutachten 113
8.2	Weitere Literatur..... 113
9	Anhang 131
9.1	Abbildungen..... 131
9.2	Tabellen 131
9.3	Kästen 131

Vorwort des Ausschusses

In Deutschland gibt es zahlreiche Behörden und Institutionen auf unterschiedlichen Ebenen, die mit dem frühzeitigen Erkennen von Krisen und der Identifikation damit verbundener Vulnerabilitäten befasst sind. Auch haben es die zuständigen politischen Gremien in den vergangenen Dekaden immer besser verstanden, mit konventionellen und punktuellen Gefahrenereignissen, wie etwa Unfällen, Starkregen oder Hochwasser, umzugehen. Zu konstatieren ist aber, dass Erkenntnisse oft nicht ausreichend genutzt, vernetzt und in politische Prozesse integriert werden. Insbesondere eine nichtlineare und global wirkende systemische Krise wie die COVID-19-Pandemie hat vor Augen geführt, wie verletzlich komplexe Gesellschaften, Infrastrukturen und Wirtschaftssysteme sind, die global hoch interdependent miteinander verflochten sind. Bei der Beleuchtung des deutschen Frühwarnsystems im Rahmen der COVID-19-Pandemie offenbarten sich auch bzw. vor allem Probleme im Bereich der Datenqualität, der zeitnahen Datenverfügbarkeit und -nutzung, der Implementierung entwickelter digitaler Lösungen, aber auch eine insgesamt defizitäre Modellierung. Hierdurch wurde eine datenbasierte politische Entscheidungsvorbereitung beeinträchtigt.

Mit Blick auf mögliche zukünftige systemische Krisen gilt es, Fähigkeiten und Strukturen zu fördern, die es ermöglichen, sich auf plötzliche krisenhafte Ereignisse, Entwicklungen und Kaskadeneffekte sowie mögliche Schockzustände vorzubereiten, diese zu bewältigen und auf Basis zuvor gemachter Erfahrungen betroffene Systeme anzupassen und zu verbessern. Entsprechend steigt das Interesse der Politik an strategischer Vorausschau und Frühwarnung im Kontext von Resilienzzielen. Im politischen Kontext sollten Frühwarnsysteme die Akteure dabei unterstützen, auf Grundlage bestmöglicher Daten und Einschätzungen zu entscheiden, welche unter den bekannten oder vermuteten Gefahren, Bedrohungen und Krisen diejenigen sind, denen die (politische) Aufmerksamkeit prioritär gelten sollte.

Vor diesem Hintergrund wurde das Projekt »Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken« im Auftrag des Deutschen Bundestages vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) durchgeführt. Zielsetzung war zu untersuchen, wie die Krisenvorhersage in Bezug auf den vorbeugenden Ansatz der Resilienz verbessert und im politischen Raum verankert werden kann.

Der resultierende Bericht des TAB ordnet das Resilienzkonzept in die aktuellen wissenschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Debatten ein und gibt einen Überblick über grundsätzliche Handlungsfelder. Dargestellt und analysiert werden internationale und nationale Frühwarnsysteme und ihr Funktionieren, ihre Stärken und Schwächen insbesondere während COVID-19-Pandemie und welche Erkenntnisse sich daraus für die Früherkennung zukünftiger Pandemien und potenzieller Krisen ableiten lassen. Ein systematischer Überblick über zukünftig absehbare systemische Risiken wird ergänzt durch exemplarische Resilienzanalysen zweier kritischer Infrastrukturbereiche, des Gesundheitssystems sowie des Verkehrssystems mit Fokus auf die Verkehrsträger Straße und Schiene, jeweils im Hinblick auf das systemische Risiko Klimawandel. Dabei werden Schwachstellen identifiziert und Ansätze zur Verbesserung der Resilienz abgeleitet. Auf Basis der facettenreichen Gesamtanalyse werden Handlungsoptionen abgeleitet, wie die Krisenvorhersage und -vorsorge in Deutschland zur Stärkung der Resilienz von Wirtschaft und Gesellschaft verbessert werden kann. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Frage, wie die Themen Früherkennung und Krisenvorsorge auf der Ebene der Parlamentsarbeit des Deutschen Bundestages stärker verankert werden können.

Der Deutsche Bundestag erhält mit diesem TAB-Arbeitsbericht eine umfangreiche und fundierte Informationsbasis für die parlamentarische Befassung mit diesen wichtigen ressortübergreifenden Aufgabenstellungen einer vorausschauenden und nachhaltigen Politikgestaltung.

Berlin, den 5. Juni 2024

Kai Gehring

Vorsitzender

Dr. Holger Becker

Berichterstatter

Lars Rohwer

Berichterstatter

Laura Kraft

Berichterstatterin

Prof. Dr. Stephan Seiter

Berichterstatter

Prof. Dr.-Ing. habil.

Michael Kaufmann

Berichterstatter

Siegfried Behrendt
Michaela Evers-Wölk
Ingo Kollosche
Christoph Revermann
Arnold Sauter
Matthias Sonk
Dirk Thomas
André Uhl

**Krisenradar –
Resilienz von Gesellschaft,
Politik und Wirtschaft durch
Krisenvorhersage stärken**

Endbericht zum TA-Projekt

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Hierbei kooperiert es seit September 2013 mit dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.

Zusammenfassung

Systemische Risiken als Herausforderung für die Politik

Phänomene wie Klimawandel, Kriege, Fluchtbewegungen, Finanzkrisen, Terrorismus und drohende Ressourcenknappheit zeigen deutlich: In einer zunehmend sich vernetzenden Welt sind Gesellschaften mit einer steigenden Vielfalt von Herausforderungen sowie potenziellen Krisen konfrontiert. Zugleich steigt die Komplexität dieser Herausforderungen aufgrund der Vernetzung von Teilsystemen, beschleunigt durch globale Megatrends, insbesondere Globalisierung, Digitalisierung und Urbanisierung. Gesellschaften sind somit heute multiplen Risiken ausgesetzt, die sich erheblich von Risiken der Vergangenheit unterscheiden, und zwar hinsichtlich ihrer Schadenspotenziale, der zeitlichen Dimension, der örtlichen Ausdehnung, der Irreversibilität potenzieller Schäden, des sozialen Konfliktpotenzials sowie in ihren wechselseitigen Abhängigkeiten.

Mit konventionellen und punktuellen Gefahrenereignissen wie Unfälle, Starkregen oder Hochwasser haben Behörden und Politik in den vergangenen Dekaden immer besser gelernt umzugehen. Anders verhält es sich bei vernetzten, nicht linearen und global wirkenden systemischen Krisen. Die COVID-19-Pandemie hat gezeigt, wie eine solche Krise kritische Infrastrukturen bedrohen und massive Folgen und Verwerfungen für Gesellschaft und Wirtschaft zur Folge haben kann. Zudem hat die Pandemie vor Augen geführt, wie verletzlich komplexe Gesellschaften und Wirtschaftssysteme sind, die global hoch interdependent miteinander verflochten sind. Weitere Krisen dieses Ausmaßes sind auch in Zukunft nicht ausgeschlossen.

Mit Blick auf mögliche zukünftige systemische Krisen ist die Politik gefordert, Fähigkeiten und Strukturen zu fördern, die es ermöglichen, sich auf plötzliche krisenhafte Ereignisse, Entwicklungen und Schocks vorzubereiten, diese zu bewältigen und auf Basis zuvor gemachter Erfahrungen betroffene Systeme anzupassen und zu verbessern. Da Art und Ausmaß künftiger Krisen nicht vollumfänglich antizipiert werden können, müssen von der Politik mögliche Krisenanfälligkeiten besser vorausschauend berücksichtigt werden, um Handlungsfähigkeit in unterschiedlichen Krisenszenarien zu gewährleisten. Entsprechend steigt das Interesse der Politik an strategischer Vorausschau und Frühwarnung im Kontext von Resilienz- und Nachhaltigkeitszielen. Während die strategische Vorausschau oftmals komplexe Zukunftsbilder generiert, dienen Früherkennungssysteme dem möglichst präzisen Erkennen künftiger Entwicklungen und der Bewertung damit verbundener Handlungsnotwendigkeiten. Frühwarnsysteme konzentrieren sich zudem auf das frühzeitige Warnen vor Gefahren, Bedrohungen und Krisen. Es stellen sich jedoch die Fragen, welche Defizite bei der Früherkennung systemischer Risiken bestehen und welche Handlungsoptionen dazu beitragen können, um die Krisenvorhersage zur Stärkung der Resilienz von Wirtschaft und Gesellschaft zu verbessern.

Zur Beantwortung dieser Fragen und vor dem Hintergrund zunehmender Herausforderungen für die Politik wurde im Auftrag des Deutschen Bundestages das Projekt »Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken« vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) durchgeführt. Zielsetzung dieses TA-Projekts ist es zu untersuchen, wie die Krisenvorhersage in Bezug auf den vorbeugenden Ansatz der Resilienz verbessert und im politischen Raum verankert werden kann.

Resilienz als Leitkonzept der Politik

Grundsätzlich kann die Resilienz eines Systems als Fähigkeit verstanden werden, mit Störereignissen umzugehen, ohne dass dieses System seine wesentlichen Funktionen verliert. Allerdings ist die Verwendungsvielfalt des Resilienzbegriffs und damit korrespondierender Begriffe enorm. Während das statische Leitbild Resilienz als Fähigkeit versteht, nach Störungen in den Ausgangszustand zurückzufinden, betont das dynamische Leitbild die Fähigkeit, langfristig zu überleben und zu prosperieren. Das Ziel im Sinne eines dynamischen Leitbildes ist also nicht, zu dem ursprünglichen Zustand vor einem Schockereignis zurückzukehren, sondern vielmehr eine Anpassung unter sich verändernden Umfeldbedingungen. Krisen müssen demnach nicht zwangsläufig zu desolaten Entwicklungen führen, sondern können auch Entwicklungschancen bieten und den Aufbruch in eine neue Normalität ermöglichen. Resilienz umfasst nach diesem Verständnis unterschiedliche strukturelle und zeitliche Dimensionen, welche auch als Absorption bzw. Adoption, Adaption und Transformation bezeichnet werden:

- › *Absorption bzw. Adoption (Widerstandsfähigkeit)* bezeichnet das Auffangen oder Abmildern von bereits eingetretenen Schäden, wie etwa Einnahmeverluste oder Zerstörungen im Falle von Naturkatastrophen. Ein Beispiel für entsprechende politische Maßnahmen in der Coronakrise sind die EU-Hilfsprogramme für Unternehmen.
- › *Adaption (Anpassungsfähigkeit)* beschreibt eine vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse und Stressfaktoren. Typische Maßnahmen sind etwa Versicherungslösungen oder angemessene Bauweisen in Erdbebengebieten.
- › *Transformation (Entwicklungsfähigkeit)* meint die Kapazität, das disruptive Moment von Krisen als Katalysator für die Schaffung von neuen und nachhaltigeren Strukturen zu nutzen, wo vorhandene Strukturen nicht mehr tragfähig sind.

Zunehmend wurde das Konzept der Resilienz in den letzten Jahrzehnten auch als politisches Ziel auf internationaler und nationaler Ebene aufgegriffen, verbunden mit der Aufgabe, die Resilienz von Gesellschaften gegenüber Katastrophen zu stärken. Ein Leitdokument ist das »Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015–2030«, welches 2015 von den Vereinten Nationen (UN) verabschiedet wurde. Die Europäische Union (EU) nennt Resilienz als wesentliches Ziel in nahezu allen aktuellen Strategiedokumenten und Reformvorschlägen für einzelne Sektoren. Auch in Deutschland wird Resilienz in der Resilienzstrategie der Bundesregierung als zentrales Konzept für eine risikoinformierte, klimaangepasste und nachhaltige Entwicklung betrachtet. Der »Deutsche Aufbau- und Resilienzplan« (DARP) beinhaltet Maßnahmen und Investitionspläne in Klimaschutz, Energiewende und neue digitale Technologien, um gestärkt aus der Coronakrise hervorzugehen. Weitere Maßnahmen zielen auf die Förderung der sozialen Teilhabe und Partizipation am Arbeitsmarkt und des öffentlichen Gesundheitswesens.

Um das abstrakte Konzept der Resilienz für eine vorausschauende Resilienzpolitik handhabbar zu machen, ist die Einordnung in konkrete Handlungsfelder hilfreich. Eine solche Einordnung stellt etwa der Resilienzyklus von Edwards (2009) mit den fünf Phasen dar: »prepare« (Gefahren beachten), »prevent« (Gefahren abwehren), »protect« (Störungen abfangen), »respond« (reagieren), und »recover« (adaptieren, anpassen, lernen). Bei dem von acatech et al. (2017) angepassten Modell können aus einer Akteursperspektive der für eine vorausschauende Resilienzpolitik relevanten Einrichtungen (Bundestag, Bundesregierung, Ressorts, nachgeordnete Behörden, Bundesländer etc.) vier Handlungsfelder für die Förderung von Resilienz abgeleitet werden: ersten Risiken und Schwachstellen identifizieren, zweitens vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse, drittens Auffangen oder Abmildern von eingetretenen Schäden sowie viertens Schaffung von lernenden und adaptiven Systemen und Strukturen. Diese Handlungsfelder verhalten sich komplementär zueinander – auch im Sinne einer zeitlichen Abfolge – und müssen gemeinsam und integrativ betrachtet werden.

Risiken und Schwachstellen identifizieren

Zum Monitoring potenzieller systemischer Risiken gehört es, Bedrohungsszenarien zu identifizieren und ihre potenziellen Auswirkungen auf das System zu untersuchen (szenariobasierte Impactanalyse). Zudem müssen Schwachstellen im System offengelegt werden (Vulnerabilitätsanalyse, Stressszenarien). Dafür ist es unerlässlich, Metriken und Indikatoren zur Bewertung von Verwundbarkeit und Resilienz zu entwickeln, um systematisch nach Schwachstellen zu suchen, Nutzen von Investitionen zu bewerten oder festzustellen, inwieweit bestimmte Maßnahmen den Grad der Resilienz eines Systems beeinflussen.

Vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse

Bei diesem Handlungsfeld geht es darum, Stressoren abzubauen bzw. ihre Wirkung zu begrenzen. Präventive Maßnahmen, wie etwa Klimapolitik, zielen darauf ab, Ursachen zu bekämpfen und dadurch Gefahren zu verhindern, bevor diese überhaupt erst entstehen. Eine Option besteht beispielsweise im Ausbau der Widerstandsfähigkeit kritischer Infrastrukturen gegen Störereignisse, etwa durch das Abbauen struktureller Verwundbarkeiten über eine größere Diversifizierung (z. B. von Lieferketten), die Schaffung von Redundanzen (z. B. Lagerhaltung, Backups) und eine Förderung von dezentralen System- und Steuerungsarchitekturen (z. B. dezentrale Energiewandler und -speicher, die bei großflächigen Ausfällen einen Inselbetrieb sicherstellen). Eine wichtige Rolle

bei der Reduzierung der Verwundbarkeit des Gesamtsystems spielt auch die Funktionsfähigkeit einzelner Teilsysteme. Je ausfallsicherer bzw. anpassungsfähiger diese sind, desto geringer ist die Chance, dass über einen Dominoeffekt das Gesamtsystem beschädigt wird.

Auffangen oder Abmildern von bereits eingetretenen Schäden

Bei diesem Handlungsfeld steht die Abmilderung negativer Konsequenzen im Krisenfall im Fokus. Durch das frühzeitige Treffen von Notfallvorkehrungen können die Anpassungsfähigkeiten von Gesellschaften verbessert und die Auswirkungen einer unerwarteten Krise verringert werden. Geeignete Krisenvorbereitungspläne enthalten Sensibilisierungs- und Übungsmaßnahmen mit beteiligten Akteuren und zeigen klar auf, welche Handlungsoptionen zur Verfügung stehen. Diese Programme können schließlich bewirken, dass eine Gesellschaft die mit Krisen verbundenen Herausforderungen besser bewältigt und negative Auswirkungen in zivilgesellschaftlicher Kooperation vermieden oder abgemildert werden können.

Schaffung von adaptiven Systemen und Strukturen

Eine zentrale Aufgabe der Politik besteht darin, die institutionelle Anpassungs- und Lernfähigkeit von Systemen zu erhöhen und dabei nachhaltigere Strukturen zu schaffen. Das erfordert sowohl eine kooperative Auseinandersetzung mit komplexen Problemen als auch eine hohe Fähigkeit zu Selbstreflexion, institutionellem Lernen, Kooperationsbereitschaft und Wandel. Die Schaffung von diesbezüglichen Kapazitäten und Instrumenten in relevanten Institutionen (Bundestag, Bundesregierung, Ressorts und Behörden) ist daher eine Grundlage für eine resilienorientierte Politik.

Frühwarnsysteme und Lehren aus der COVID-19-Pandemie

Frühwarnsysteme dienen dem frühzeitigen Erkennen von Gefahren, Bedrohungen und Krisen sowie der Warnung davor. Im politischen Kontext sollen sie die politischen Akteure bzw. die Verwaltung dabei unterstützen, auf Grundlage bestmöglicher Daten, Informationen und Einschätzungen im Falle einer nahenden Bedrohung adäquate Entscheidungen zu treffen. In Deutschland ist die Vorsorge für Gefährdungen und damit auch der Einsatz von Frühwarnsystemen föderal organisiert und ausdifferenziert. Die Länder sind für den Katastrophenschutz zuständig, auf Bundesebene ist das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) als Fachbehörde des Bundesinnenministeriums (BMI) die zentrale Stelle für den Bevölkerungsschutz in Deutschland. Es betreibt u. a. das gemeinsame Melde- und Lagezentrum des Bundes und der Länder (GMLZ) und das »Deutsche Notfallvorsorge-Informationssystem« (deNIS) und führt fortlaufend Gefährdungsanalysen des Bundes durch.

Grundsätzlich können Frühwarnsysteme unterschieden werden in indikatorenbasierte und ereignisbasierte Systeme. Während indikatorenbasierte Frühwarnsysteme sich an zuvor definierten, operativen Kennzahlen orientieren, die auf strukturierten Daten basieren, versuchen ereignisbasierte Frühwarnsysteme aus unstrukturierten Daten Ereignisse zu identifizieren, die ein akutes Risiko für Individuen oder Gesellschaften darstellen können. Beispiele für die Anwendung beider Ansätze finden sich etwa im Bereich gesundheitsspezifischer Frühwarnsysteme. Neben diesen beiden Arten von Frühwarnsystemen kommen zum Teil auch integrativ miteinander verbundene Systeme zum Einsatz, die mittels unterschiedlicher Ziele, Verfahren und Technologien frühzeitig potenzielle Gefahren, Bedrohungen und Risiken identifizieren sollen.

Die Begriffe der passiven und aktiven Frühwarnsysteme entsprechen weitgehend diesen beiden Ansätzen. Während passive bzw. indikatorenbasierte Systeme vor allem Daten berücksichtigen, die bereits dokumentiert werden (wie etwa das Melden von meldepflichtigen Krankheiten und Erregern), suchen ereignisbasierte Systeme aktiv und gezielt nach relevanten Informationen, wie etwa dem Auftauchen von weiteren Fälle nach Bekanntwerden eines Krankheitsausbruches. Ein indikatorenbasierter Ansatz eignet sich neben dem Erkennen von Krankheitsausbrüchen beispielsweise besonders, um Trends bei den Infektionsverläufen nachzuvollziehen. Ein ereignisbasierter Ansatz bietet dagegen den Vorteil einer hohen Geschwindigkeit bei der Bereitstellung von aktuellen Informationen, sofern diese ausreichend verifiziert wurden. Im Idealfall nutzen gesundheitsspezifische Frühwarnsysteme eine Kombination aus beiden Ansätzen, um ein ganzheitliches Bild der Lage zu zeichnen.

Bewertung des deutschen Frühwarnsystems im Rahmen der COVID-19-Pandemie

Bei der Bewertung des deutschen Frühwarnsystems im Rahmen der COVID-19-Pandemie offenbarten sich vor allem Probleme im Bereich der Datenqualität, der zeitnahen Datenverfügbarkeit und -nutzung, der Implementierung entwickelter digitaler Lösungen, aber auch eine insgesamt defizitäre Modellierung. Hierdurch wurde eine datenbasierte politische Entscheidungsvorbereitung beeinträchtigt. Die im Rahmen des Meldesystems verwendeten deskriptiven Indikatoren waren mit Messfehlern und Zeitverzügen behaftet, da die gemeldeten Infektionszahlen nicht mit der tatsächlichen Anzahl von Infektionen gleichgesetzt werden konnten. Die schwankende Testintensität hat die Inzidenzwerte maßgeblich geprägt, während die Dunkelziffer in den Zahlen nicht berücksichtigt wurde. Ein statistisches Instrumentarium auf nationaler Ebene könnte helfen, diese Mängel zu beheben. Zudem könnte die Erweiterung der Frühwarnung auf abwasserbasierte Systeme helfen, um sowohl bekannte als auch neue Virusvarianten unabhängig von der Durchführung von Humantests frühzeitig zu identifizieren. Bislang sind Abwasserüberwachungssysteme in der Pandemiefrühwarnung in Deutschland nicht etabliert, werden aber zunehmend erprobt. Bei der Bewertung des Frühwarnsystems in Deutschland muss zudem berücksichtigt werden, dass die während der COVID-19-Pandemie im Meldesystem verankerten Indikatoren keine ziel- und maßnahmenorientierten Indikatoren berücksichtigt haben. Indikatoren zur Beschreibung von Aktivitäten und Instrumenten, die benötigt werden, um politisch gewünschte Ziele zu erreichen, wurden während der Pandemie damit nicht gemessen.

Angesichts enormer und heterogener Datenmengen sind traditionelle statistische Methoden und Indikatorensysteme zur Frühwarnung in Zeiten einer Pandemie nicht ausreichend, um sowohl wiederkehrende als auch unerwartete Strukturen zu erkennen. Zur Einschätzung des Infektionsgeschehens sowie der Gesundheitsversorgung der Bevölkerung sind prognostische Modellierungen sinnvoll. Beispielsweise könnten dynamische Schätzungen von intensivmedizinisch zu betreuenden Patient/innen helfen, etwaige Kapazitätsengpässe frühzeitig zu erkennen und entsprechende datenbasierte Änderungen in der Versorgungssteuerung zu berücksichtigen. Trotzdem werden präventiv bzw. auf die Vorausschau ausgerichtete Systeme und Strategien (Predictive Analytics) bislang nur begrenzt umgesetzt. Im Meldesystem für Infektionskrankheiten sind prognostische Abschätzungen bislang nicht verankert. Die im Rahmen des Meldesystems verwendeten Indikatoren waren für die politische Steuerung damit insgesamt nur bedingt geeignet – hier besteht Optimierungsbedarf.

Eine weitere Schwäche des Meldesystems bezieht sich auf den Faktor Zeit. Die Weitergabe der Meldung von einer zur nächsthöheren Ebene, also von den meldepflichtigen Einrichtungen über lokale Gesundheitsämter, Landesämter bis hin zum Robert Koch-Institut (RKI), kann jeweils bis zu 24 Stunden dauern. Bis also ein Verdachtsfall tatsächlich zum offiziellen, den Frühwarnprozess in Gang setzenden Ernstfall wird, können insgesamt bis zu 72 Stunden vergehen. Dieser Umstand in Verbindung mit einer oft defizitären Personalausstattung der beteiligten Organisationen hat auch dazu geführt, dass manche Akteure der Meldekette als erstes aus den publizistischen Medien von dem neuartigen Coronavirus erfahren haben und nicht von offizieller Stelle. Das Zeitproblem wurde dadurch verstärkt, dass insbesondere zu Beginn der COVID-19-Pandemie eine noch lückenhafte Digitalisierung der Meldewege bestand.

Auch der passive Charakter des deutschen Meldesystems birgt Schwächen. Bevor der gesetzlich geregelte Übergang von der Früherkennung zur Frühwarnung durch das RKI erfolgt, muss sich das RKI darauf verlassen, dass entsprechende Fälle von Krankheitserregern durch die meldepflichtigen Einrichtungen, wie Arztpraxen, Krankenhäuser und Labore, gemeldet werden. Das kann insbesondere dann ein Problem sein, wenn es sich um neu auftretende Viren handelt, die noch nicht als meldepflichtig eingestuft werden. Im Fall neu auftretender Krankheitserreger müssen erst einmal Nachweise entwickelt werden, der Umgang mit den Nachweisen muss erlernt werden und es müssen genügend Tests in den meldepflichtigen Einrichtungen vorhanden sein. Erst wenn die Meldung dieser Einrichtungen über die lokalen und regionalen Gesundheitsbehörden an das RKI gelangt und dieses einen entsprechenden Warnhinweis ausgibt, ändert sich der Status von Früherkennung zur Frühwarnung und das Meldesystem geht von der Passivität in die aktive Nachverfolgung über.

Um eine effektive politische Frühwarnung in Deutschland zu gewährleisten, sollten auch internationale, nichtstaatliche und ereignisbasierte Frühwarnsysteme, wie das auf Big-Data-Analysen basierende »Program for Monitoring Emerging Diseases-mail« (ProMED-mail) oder »BioCaster«, »HealthMap« und »Medical Information System« (MedISys), verstärkt in die staatliche Frühwarnung integriert werden. Diese Systeme nutzen primär frei zugängliche Nachrichtenartikel und Berichte als Informationsquellen und suchen aktiv nach Hinweisen. Obwohl sie bereits vom European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC/Europäisches Zentrum für die

Prävention und die Kontrolle von Krankheiten) und der World Health Organization (WHO/Weltgesundheitsorganisation) verwendet werden, könnten sie stärker in die staatliche Frühwarnung einbezogen werden.

Ergebnisse exemplarischer Resilienzanalysen und Handlungsfelder

Im Rahmen des Projekts wurden exemplarisch zwei Resilienzanalysen durchgeführt. Zum einen wurde das Gesundheitssystem untersucht, zum anderen ging es um die Analyse der Resilienz des Verkehrssystems mit dem Fokus auf die beiden Verkehrsträger Straße und Schiene. Beide Systeme gehören zu den kritischen Infrastrukturen, die eine zentrale Funktion für das staatliche Gemeinwesen haben und bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung Versorgungsentpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen zu erwarten wären. Im Fokus beider Fallbeispiele steht der Klimawandel als Beispiel für systemische Risiken, die wegen ihrer globalen und vernetzten Wechselwirkungen zu multiplen kaskadenartigen Folgen führen sowie wirtschaftliche und soziale Krisen hervorrufen.

Die Resilienzanalysen zu klimabedingten Risiken für das Gesundheits- bzw. Verkehrssystem zeigen, dass Deutschland trotz zahlreicher Risikoanalysen, Strategien, Maßnahmen und Vorkehrungen nur begrenzt auf die Herausforderungen des Klimawandels vorbereitet ist. Die Auswirkungen des Klimawandels, wie Extremwetterereignisse, Hitze, Dürren, Migration und die Zerstörung von Lebensräumen, sind bereits heute deutlich erkennbar. Die vorhandenen Probleme resultieren zum Teil aus mangelnder Koordination und Vernetzung, unzureichendem Wissen über die Zusammenhänge und Auswirkungen sowie der ungenügenden Anwendung vorausschauender Risikoanalysen, die potenzielle Gefährdungslagen in ihrem Gesamtzusammenhang betrachten. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass die Widerstandsfähigkeit, die Anpassungsfähigkeit und die Krisenresilienz des Gesundheits- und Verkehrssystems noch erheblich gestärkt werden müssen. Im Rahmen der Fallanalysen erfolgte eine Orientierung an den aus der Resilienzforschung abgeleiteten vier Handlungsfeldern. Für jedes dieser Handlungsfelder wurden unterschiedliche Maßnahmen identifiziert, um die Resilienz des Gesundheitssystems und des Verkehrssystems gegenüber dem systemischen Risiko des Klimawandels zu stärken.

Handlungsfeld »Risiken und Schwachstellen identifizieren«

Zu den Präventivmaßnahmen, die aus dem ersten Handlungsfeld für das Gesundheitssystem abgeleitet werden können, zählen die Integration von Frühwarnsystemen in den Alltag von Gesundheitseinrichtungen und der Bevölkerung, wofür der Aufbau von Ressourcen und Fähigkeiten für einen sachkundigen Umgang mit Frühwarnungen zentrale Voraussetzung ist. Zudem sollte eine verbindliche Entwicklung und Berücksichtigung von Hitzeszenarien in die vorausschauende Gesundheitspolitik erfolgen, basierend auf sozialraum- und quartiersbezogenen Daten. Auch sollten Desiderate im Bereich der interdisziplinären Klimamedizin identifiziert und durch das Lancieren entsprechender Forschungsprojekte abgebaut werden, um ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zu erlangen und geeignete Versorgungsansätze zu entwickeln.

Für das Verkehrssystem wird vorgeschlagen, vermehrt Risiken und deren Auswirkungen zu untersuchen und zu bewerten (Risikoanalysen) sowie Schwachstellen zu identifizieren (Vulnerabilitätsanalysen), inklusive der Erstellung von Risikokarten und einer Bewertung bereits existierender Schutzkonzepte. In diesem Zusammenhang könnte das BMDV-Expertenetzwerk eine zentrale Rolle spielen, indem es die gemeinsame Methodenentwicklung und den Wissenstransfer von Behörden und Ressortforschungseinrichtungen bündelt und in die gesellschaftliche Praxis integriert. Zudem sollte eine Kombination von Frühwarnsystemen und Foresightprozessen angestrebt werden, um die Bewältigung unvorhersehbarer Ereignisse und Konstellationen im Verkehrssystem mitzudenken. Wichtig sind auch eine Evaluation der Wirksamkeit bereits durchgeführter Anpassungsmaßnahmen im Verkehrssystem und eine koordinierte Abstimmung von Bundesbehörden und Institutionen der Bundesländer. Im Rahmen der Forschung ist die Weiterentwicklung bestehender Klimawirkungsmodelle sowie verkehrsträgerspezifischer und verkehrsträgerübergreifender Analysen zu kurz- und langfristigen Verlagerungspotenzialen eines Verkehrsträgers notwendig. Dadurch können die Forschungsergebnisse auch zukünftig in die ressortübergreifende Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse des Bundes einfließen und von den Landesbehörden genutzt werden. Forschungsbedarf besteht zudem auch im Bereich der Gefahrenabwehr und dem Schutz kritischer Infrastrukturen im Verkehrssektor sowie bei der Vorhersage von Extremereignissen und der Analyse von Wechselwirkungen zwischen den Sektoren.

Handlungsfeld »Vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse«

In diesem Handlungsfeld umfassen die empfohlenen Maßnahmen für das Gesundheitssystem die Entwicklung einer nationalen Strategie zur Überwachung der Hitzeaktionspläne, eine bessere Sensibilisierung des Gesundheits- und Pflegepersonals für Informationen bezüglich Hitze und eine Integration von Aspekten hitzebedingter Gesundheitsprobleme in die Aus-, Fort- und Weiterbildung im Gesundheitssystem. Auch die Sicherheit am Arbeitsplatz in Gesundheitseinrichtungen muss gewährleistet sein, einschließlich Schulungen über die Auswirkungen von Hitze auf den menschlichen Körper. Zur Stärkung der Resilienz des Verkehrssystems werden unterschiedliche Klimaanpassungsmaßnahmen vorgeschlagen, zu denen informationsbasierte Ansätze, wie etwa die Bereitstellung eines allgemein zugänglichen Datenangebots, gehören, bauliche Anpassungsmaßnahmen zur Minderung bereits eingetretener Klimafolgen, etwa durch den Einsatz innovativer Asphaltarten, sowie operative Anpassungsmaßnahmen für die Verkehrsinfrastruktur zur Bewältigung räumlicher und zeitlicher Verlagerungen bei Störereignissen.

Handlungsfeld »Auffangen und Abmildern von bereits eingetretenen Schäden«

Im dritten Handlungsfeld wird für das Gesundheitssystem die Überprüfung und Umsetzung baulicher Maßnahmen in den Gesundheitseinrichtungen vorgeschlagen. Ziel ist die Schaffung einer krisenfesten Infrastruktur im Gesundheitswesen in Zeiten des fortschreitenden Klimawandels. Bezüglich des Verkehrssystems geht es vor allem um eine Stärkung und bessere Koordination der Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern, damit eine effektives Krisen- und Ressourcenmanagement gewährleistet werden kann. Ableitungen aus bundesweiten Risikoanalysen sollten zudem konsequent im Rahmen des Krisenmanagements berücksichtigt und umgesetzt werden. Die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur könnte verbessert werden.

Handlungsfeld »Schaffung von anpassungsfähigen Strukturen«

Im vierten Handlungsfeld kommt es für das Gesundheitssystem u. a. darauf an, die Koordination zwischen unterschiedlichen politischen Ebenen zu stärken und Gesundheit als gesamtgesellschaftliche Aufgabe zu verstehen. Auf politischer Ebene bieten Ansätze wie Health in all Policies und Planetary Health einen geeigneten Rahmen für ökologische, gesundheitsbezogene und sozialpolitische Zielsetzungen. Investitionen der Versorgungswerke sollten im Einklang mit den ESG-Kriterien (Umwelt, Soziales, Governance) getätigt werden. Zudem sollten Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung eine höhere Priorität eingeräumt werden. Dazu gehört auch, dass Städte sich auf steigende Durchschnittstemperaturen einstellen und maßgeschneiderte Aktionspläne erstellt werden, die auf die jeweiligen Gegebenheiten abgestimmt sind. Im Bereich des Verkehrssystems ist es notwendig, konkrete Vorgaben für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen festzulegen und neue Planungsgrundsätze zu definieren, etwa durch die Berücksichtigung im Bundesverkehrswegeplan 2030. Darüber hinaus sollte das Planungs- und Genehmigungsrecht beschleunigt, die Zusammenarbeit über Institutionsgrenzen hinweg durch die Einführung einheitlicher Datenformate verbessert und eine klare Aufteilung der Zuständigkeiten zwischen Bund und Ländern ermöglicht werden.

Mögliche Zielkonflikte

Die genannten Ansätze bieten grundsätzlich Möglichkeiten zur Steigerung der Resilienz der beiden untersuchten Systeme gegenüber dem Klimawandel als einem systemischen Risiko. Bei ihrer Umsetzung können jedoch Konflikte mit anderen politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Zielen auftreten. Es zeigen sich Inkompatibilitäten zwischen den Konzepten zur Förderung der Resilienz und den Ansätzen, die auf Effizienzsteigerung und Kostenreduktion abzielen. So geht etwa die Stärkung der Redundanz und Robustheit häufig mit zusätzlichen finanziellen Aufwendungen einher. Zwar können die kurzfristigen Kosten möglicherweise langfristig durch die gesteigerte Resilienz ausgeglichen werden, jedoch ist dies im Einzelfall stets genau zu prüfen. Der Umgang mit systemischen Risiken erfordert oft rasche und politisch koordinierte Entscheidungen, um flexibel auf unvorhergesehene Ereignisse und neue Anforderungen reagieren oder proaktiv Veränderungen angehen zu können. Dies kann mit den demokratischen und föderalen Strukturen sowie den damit verbundenen Anforderungen an Mitsprache und Beteiligung im Konflikt stehen. Dennoch ist es im Sinne demokratischer Legitimität von entscheidender

Bedeutung, die Akzeptanz der Bürger/innen für die teilweise umfassenden Veränderungen im Rahmen von Transformations- und Resilienzpolitiken im Auge zu behalten.

Ein angemessener Umgang mit solchen Spannungsfeldern, Widersprüchen und Ambiguitäten gewinnt zunehmend an Bedeutung und stellt eine Schlüsselkompetenz für die Gestaltung einer transformativen Resilienz dar. Auftretende Zielkonflikte frühzeitig zu identifizieren und stets im Blick zu behalten, insbesondere dann, wenn sie mit konkurrierenden politischen Zielen abgewogen werden müssen, ist daher von zentraler Bedeutung. Hier bedarf es einer evidenzbasierten Operationalisierung der Auswirkungen von Resilienzmaßnahmen und den damit verbundenen möglichen Zielkonflikten für politische Bewertungs- und Entscheidungsprozesse.

Handlungsoptionen zur Verbesserung der Krisenvorsorge

In Deutschland sind zahlreiche Institutionen, Behörden und Gremien auf unterschiedlichen Ebenen mit dem frühzeitigen Erkennen von Krisen und der Identifikation damit verbundener Vulnerabilitäten befasst. Zusammengenommen erfüllt dieses Mehrebenensystem die Funktion eines *Krisenradars*, bei dem auf der ersten Ebene die Legislative mit dem Bundestag, den Länderparlamenten und dem Bundesrat verortet ist, wobei je nach Sachgebiet verschiedene Ausschüsse zuständig sind. Die zweite Ebene umfasst das Bundeskanzleramt und die Ressorts, die jeweils für die Gefährdungen in ihrem Zuständigkeitsbereich verantwortlich sind. Auf der dritten Ebene greifen sie auf nachgeordnete Bundesbehörden und Institutionen zurück. Auf dieser Ebene kommt eine Vielzahl von Frühwarnsystemen und Instrumenten zum Einsatz, die systemische Risiken beobachten, analysieren und bewerten sowie staatliche Akteure bei der Krisenvorhersage unterstützen.

Obwohl es also zahlreiche Institutionen auf unterschiedlichen Ebenen gibt, die Instrumente zur Krisenvorhersage anwenden, werden die gewonnenen Erkenntnisse oft nicht ausreichend genutzt, vernetzt und in politische Prozesse integriert. Ein häufiges Problem bei Risikoanalysen ist der Mangel an Weitsicht. Krisen und Risiken werden oft isoliert betrachtet und als temporäre Ausnahmesituation behandelt, die akut und zeitlich begrenzt bewältigt werden müssen. Ein grundsätzliches Problem besteht darin, dass aus einer Fülle von Daten und Einzelinformationen nicht zwangsläufig verwertbares Orientierungswissen abgeleitet werden kann, um die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß möglicher systemischer Krisen für politische Entscheidungsträger einschätzbar zu machen. Hinzu kommt, dass die Globalisierung und ihre vielfältigen Verflechtungen die Vorhersage zukünftiger Krisen, einschließlich ihrer Verläufe, Eintrittswahrscheinlichkeiten, Wechselwirkungen, Kaskadeneffekte und Auswirkungen immer schwieriger gestalten. Dies wurde eindrücklich durch den Verlauf und die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie demonstriert.

Die Hauptaufgabe zur Verbesserung der Krisenvorhersage systemischer Risiken besteht in der Schaffung geeigneter Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Ebenen, um Analysen und Bewertungen über Zuständigkeiten von Ressorts, Fachbereichen und administrative Grenzen hinweg zu erleichtern. Bei der Formulierung von Handlungsoptionen geht es daher vor allem um die Integration, Vernetzung, Koordination und Kooperation der verschiedenen politischen Ebenen, Ressorts und der damit verbundenen Institutionen, Behörden, Frühwarnsysteme und Instrumente.

Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus der Anwendung von Frühwarnsystemen, insbesondere während der COVID-19-Pandemie, und der Analyseergebnisse der Fallbeispiele im Gesundheits- und Verkehrsbereich, lassen sich folgende politisch relevante Handlungsoptionen ableiten:

- › Frühwarnsysteme um Vulnerabilitätsanalysen, Stresstests und Resilienzanalysen zu systemischen Risiken erweitern
- › Wahrnehmung von Risikoanalysen im Sinne des All-Gefahren-Ansatzes in der Politik verbessern
- › Frühwarnung durch Szenarien, Modellierung und KI unterstützen
- › Vorsorgende politische Gestaltungskonzepte umsetzen
- › Integrierte Risikobewertung zur Krisenvorsorge auf Bundes- und Landesebene durch Schnittstellen sicherstellen
- › Kooperative Formate und Konsultationsmechanismen zur Krisenvorhersage und -reaktion auf europäischer Ebene stärken

- › Entwicklung und Evaluation von Kriterien, um politische Maßnahmen zur Krisenvorsorge auf eine effektive Resilienz Wirkung hin auszurichten
- › Konzepte der Resilienz und Nachhaltigkeit zusammenführen, um zu einem transformativen Resilienzverständnis zu gelangen

Frühwarnsysteme um Vulnerabilitäts-, Stresstests und Resilienzanalysen zu systemischen Risiken erweitern

Im Falle systemischer Risiken reicht die bloße Früherkennung von Bedrohungsereignissen und die Vorbereitung auf den Katastrophenfall nicht aus. Vielmehr müssen klassische Frühwarnsysteme um Vulnerabilitätsanalysen, Stresstests und Resilienzanalysen kritischer gesellschaftlicher Systeme erweitert werden. Diese Analyseansätze legen den Fokus auf potenzielle Gefährdungsszenarien, die Exposition des Systems und seine Sensitivität gegenüber den Szenarien. Anschließend wird die Anpassungskapazität des Systems betrachtet. Außerdem müssen direkte und indirekte Kaskadeneffekte identifiziert, Kopplungsmechanismen analysiert und Vulnerabilitäten sektorübergreifend bewertet werden. Diese Analysen können den politischen Entscheidungsträgern einen erweiterten Vorsorgehorizont bieten, indem sie Hinweise auf mögliche Bedrohungen liefern und bei der Identifizierung von Handlungsbedarfen und -spielräumen für vorsorgende politische Gestaltungskonzepte helfen. Ziel ist es, strukturelle Schwachstellen zu erkennen und abzubauen. Dazu gehören beispielsweise Lieferabhängigkeiten, die Kritikalität von Technologierohstoffen, die Abhängigkeit bei der Energieversorgung, der drohende Verlust von Biodiversität sowie die Anfälligkeit gegenüber Cyberangriffen.

Wahrnehmung von Risikoszenarien im Sinne des All-Gefahren-Ansatzes in der Politik verbessern

Systemische Risiken erhalten trotz ihres erheblichen Potenzials für weitreichende Auswirkungen in ihrer Vernetzung oft nicht die gleiche Aufmerksamkeit wie katastrophale Ereignisse und werden tendenziell unterschätzt. Zudem konzentriert sich die Diskussion über systemische Risiken oft auf einige wenige Bereiche wie neue Pandemien, Cyber-Attacken, Stromausfall und Energieversorgungssicherheit. Für die zukünftige Politikgestaltung sind ressort- und politikfeldübergreifende Ansätze erforderlich, die im Sinne eines All-Gefahren-Ansatzes die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Politikbereichen und Sektoren in den Mittelpunkt stellen. Wie beispielsweise in der Fallstudie zum Gesundheitssystem erläutert, wird auf internationaler Ebene bereits länger eine Gesundheitspolitik gefordert, die Gesundheit in Verknüpfung mit anderen Politikbereichen sieht (Health in all Policies). In Deutschland steht das Konzept »Gesundheit in allen Politikfeldern« erst am Anfang und wird insbesondere auf kommunaler Ebene und mit den Möglichkeiten des Präventionsgesetzes verfolgt. Es ist notwendig, zukünftig übergreifende Strukturen für die Umsetzung vorsorgender Politiken zu entwickeln und durchzusetzen. Dazu zählen u. a. interministerielle Gremien, intersektorale Arbeitsgruppen, gemeinsame Budgets sowie sektorübergreifende Informations- und Frühwarnsysteme.

Frühwarnung durch Szenarien, Modellierung und KI unterstützen

Risikobewertungen sollten nicht nur auf vergangenen Erfahrungen basieren, sondern auch auf vorausschauende szenariobasierte Ansätze und Simulationsberechnungen (Predictive Analytics) setzen. Die Erfahrungen mit der COVID-19-Pandemie haben gezeigt, dass es an integrierten Verfahren mangelt, die nicht nur ein nutzbringendes Lagebild für die Situation in den einzelnen Bereichen der Gesellschaft aufzeigen, sondern auch die mögliche gesamtgesellschaftliche Entwicklung aufgrund fundierter prognostischer Abschätzungen berücksichtigen. Angesichts dieser Erkenntnisse erscheint es besonders sinnvoll, die politische Frühwarnung in Deutschland zu stärken und dabei auch internationale nichtstaatliche und ereignisbasierte Frühwarnsysteme verstärkt in die Frühwarnprozesse zu integrieren. Zudem sollten die in Frühwarnsystemen verwendeten Indikatoren grundsätzlich auch solche umfassen, die auf die Beschreibung von Aktivitäten und Instrumenten abzielen, die benötigt werden, um politisch gewünschte Ziele zu erreichen.

KI-basierte Ansätze haben das Potenzial, die Genauigkeit von Vorhersagemodellen zu erhöhen und bei der Auswahl von Präventivmaßnahmen sowie bei wissenschaftsbasierten politischen Entscheidungen eine unterstützende Rolle zu spielen. Es besteht jedoch Forschungsbedarf, um leistungsstarke, sichere (Daten-)Infrastrukturen bereitzustellen, Datenanalysewerkzeuge leicht zugänglich und benutzerfreundlicher zu gestalten und hybride KI-

Systeme zu entwickeln, die maschinelles Lernen aus Daten mit der Anwendung von kausalem Modellwissen kombinieren. Das Ziel sollte darin bestehen, durch die Integration unterschiedlicher KI-Methoden die Automatisierung kontextabhängiger Schlussfolgerungen zu ermöglichen, auch bei widersprüchlichen, unvollständigen, mehrdeutigen oder vagen Informationen, um die Krisenvorhersage zu unterstützen.

Vorsorgende politische Gestaltungskonzepte umsetzen

Vorausschauende Resilienzstrategien bilden eine konzeptionelle Grundlage für die Entwicklung konkreter politischer Gestaltungskonzepte. Obwohl Prävention in politischen Debatten und Strategien als grundsätzlich wichtige Aufgabe angesehen wird, variiert die Umsetzung präventiver Risikovorsorge, wie in internationalen Vereinbarungen (insbesondere im »Sendai Rahmenwerk«) gefordert, bisher stark. Prävention sollte bereits in Risikobewertungen, wie sie vom BKK in Risikoanalysen durchgeführt werden, stärker integriert werden. Dies betrifft beispielsweise die Bewertung neuer Technologien sowie von Veränderungen in der Struktur des Gesundheitswesens. Handlungsfelder zur Steigerung der Resilienz umfassen den Ausbau von Pufferkapazitäten, Diversifizierung, Modularisierung, die Schaffung von Redundanzen und Dezentralität.

Darüber hinaus sind vorsorgende Konzepte zu systemischen Risiken in einen größeren gesellschaftlichen Zusammenhang zu stellen. Beispielhaft sind Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepte, um die Risiken für Wirtschaft und Gesellschaft zu minimieren. Ein weiteres Beispiel ist die Modernisierung der Wirtschaftsberichtserstattung zur Wertschätzung und Unterstützung der Biodiversität. Hier geht es darum, die nationale und unternehmerische Wirtschaftsberichtserstattung unter Einbeziehung von Ökosystemleistungs- und Biodiversitätsindikatoren weiterzuentwickeln. Damit könnten wichtige Anreize gesetzt werden, um die mit dem Verlust der Biodiversität einhergehenden Risiken zu minimieren.

Integrierte Risikobewertung zur Krisenvorsorge auf Bundes- und Landesebene durch Schnittstellen sicherstellen

Die staatlichen Frühwarnsysteme arbeiten zwar gründlich, sind aber tendenziell langsam und zu passiv ausgerichtet. Zudem arbeiten Behörden teils mit unterschiedlichen und inkompatiblen Systemen des Informations- und Datenmanagements zur Krisenvorhersage. Mit der Gründung des Gemeinsamen Kompetenzzentrums Bevölkerungsschutz (GeKoB) reagierte die Innenministerkonferenz 2022 auf dieses Defizit. Dieses Zentrum strebt an, die Abstimmungskompetenzen zwischen Bund und Ländern zu verbessern, und zwar über bestehende Koordinierungseinrichtungen und Schnittstellen hinaus. Darüber hinaus haben die Ressorts auf Bundesebene im Rahmen des Gemeinsamen Koordinierungsstabs Kritische Infrastruktur (GEKKIS) einen Prozess vereinbart, um neben dem Lagebild des GeKoB eine gemeinsame Risikobewertung zur Betrachtung von Auswirkungen auf Kritische Infrastrukturen und kritische Dienstleistungen zu erstellen.

Eine koordinierte, integrierte Risikobewertung und ineinandergreifende Maßnahmen von Bund und Ländern sind entscheidende Schritte, um der Komplexität von systemischen Risiken und ihren potenziellen Auswirkungen auf kritische Infrastrukturen und Systeme gerecht zu werden. Gerade systemische Risiken, wie Pandemien und der Klimawandel, verdeutlichen die Notwendigkeit eines konsistenten Handelns und effizienter Schnittstellen zwischen Ressorts sowie zwischen Bund und Ländern. Um diese Schnittstellen wirksam zu gestalten, bedarf es allerdings einer angemessenen finanziellen Ausstattung aller beteiligten Behörden und Organisationen. Im Rahmen der Führungskräfteausbildung ist sicherzustellen, dass ein ganzheitlicher Ansatz zur Krisenvorhersage und Risikobewertung im Bevölkerungsschutz und Katastrophenschutz (insbesondere im Bereich der Bundesakademie für Bevölkerungsschutz und Zivile Verteidigung – BABZ sowie bei der Bundesakademie für Sicherheitspolitik – BAKS) implementiert wird. Darüber hinaus braucht es eine weitergehende und koordinierte Vernetzung aller relevanten Akteure, insbesondere aus Wirtschaft, Wissenschaft und zivilgesellschaftlichen Gruppen, zur Optimierung der Leistungsfähigkeit der Krisenvorhersage und zur Stärkung der Resilienz von Wirtschaft und Gesellschaft.

Kooperative Formate und Konsultationsmechanismen zur Krisenvorhersage und -reaktion auf europäischer Ebene stärken

Um die Krisenvorhersage über die bisherigen Foresightaktivitäten der EU und Ad-hoc-Krisenstäbe hinaus institutionell effektiv zu verankern, schlagen Expert/innen den Aufbau eines neuen Resilienzrats auf europäischer Ebene vor. Dieser Rat könnte verschiedene Aufgaben übernehmen, darunter die kontinuierliche Überwachung und wissenschaftliche Auswertung des aktuellen Kenntnisstands aus umfassenden Risiko-, Vulnerabilitäts-, Stress- und Resilienzanalysen auf europäischer und internationaler Ebene sowie die Ableitung politischer Handlungsbedarfe für die Krisenvorhersage und -vorsorge. Um dies zu leisten, sollte der Rat interdisziplinär zusammengesetzt sein, insbesondere mit Fachleuten aus der Risiko-, Komplexitäts- und Transformationsforschung. Der Resilienzrat könnte Grundlagen für wissenschaftsbasierte politische Entscheidungen schaffen, indem er verschiedene Handlungsoptionen und ihre Implikationen aufzeigt, ohne jedoch konkrete Lösungswege vorzuschlagen oder Handlungsempfehlungen zu geben. Er könnte dabei helfen, die Krisenvorhersage an zentraler politischer Stelle zu verankern, interdisziplinäre Fachkompetenz zu bündeln und internationale Konsultationsmechanismen zur Krisenvorhersage zu unterstützen. Im Ernstfall sollte er in der Lage sein, mit zügiger und agiler Beratung die Entscheidungsfindung der Exekutive zu unterstützen, um die Lücke zwischen Early Warning und Early Action im politischen System bzw. in politischen Entscheidungsprozessen auf EU-Ebene und den Mitgliedstaaten verringern zu helfen.

Entwicklung und Evaluation von Kriterien, um politische Maßnahmen zur Krisenvorsorge auf eine effektive Resilienzwirkung hin auszurichten

Die umfassende Einschätzung der Resilienz von Gesellschaften und ihren Subsystemen auf evidenzbasierter Grundlage ist entscheidend, um systematisch nach bisher unentdeckten Schwachstellen zu suchen, die Wirkung bestimmter Maßnahmen zu bestimmen und ihren möglichen Nutzen zu bewerten. Die Hauptaufgabe besteht daher in einer genaueren quantitativen Abschätzung der jeweiligen Kosten-Nutzen-Verhältnisse. Zur Bewertung von Resilienz ist es wichtig, Metriken und Indikatoren zu entwickeln, anhand derer eine Evaluation durchgeführt werden kann, um politische Maßnahmen auf eine mögliche Resilienzwirkung bewerten und daraufhin auszurichten zu können. Ein gutes Beispiel für die Entwicklung strategischer Leitlinien zur Steigerung der Resilienz sind die Leitlinien des »Sendai Rahmenwerks« der Vereinten Nationen zur Risikoreduktion bei Naturkatastrophen. Auch die EU hat damit begonnen, Krisenereignisse systematisch zu bewerten und daraus Resilienzstrategien abzuleiten. Auf nationaler Ebene könnte das BMI als fachlich federführendes Ministerium zum Aufsetzen eines entsprechenden Evaluationsprogramms fungieren.

Konzepte der Resilienz und Nachhaltigkeit zusammenführen, um zu einem transformativen Resilienzverständnis zu gelangen

Resilienz und Nachhaltigkeit hängen als Leitkonzepte eng miteinander zusammen. Auch im Rahmen der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wird Resilienz als ein Kernelement einer nachhaltigen Entwicklung eingestuft. Die Umsetzung der deutschen Resilienzstrategie steht in enger Verbindung mit weiteren Zielen, zu denen sich die Bundesregierung verpflichtet hat (u. a. Pariser Klimaschutzabkommen 2015, Agenda für Humanität 2016, Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung). Um diese Ziele zu erreichen, ist ein integrativer Ansatz zu verfolgen, der als transformative Resilienz bezeichnet werden kann. Der Mehrwert dieser neuen Perspektive besteht darin, Nachhaltigkeit, Resilienz und Transformation produktiv für politische Entscheidungsfindungsprozesse miteinander zu verknüpfen. Es ist von entscheidender Bedeutung, systematisch zu prüfen, welche systemimmanenten Faktoren beziehungsweise bestehenden Praktiken die politisch angestrebten Transformationen, wie etwa Klimaneutralität, Elektrifizierung des Straßenverkehrs oder Digitalisierung, anfällig machen. Die entsprechenden Strategien sollten darauf abzielen, solche Verwundbarkeiten zu beseitigen, innovative Ansätze zu fördern, die weniger anfällig für Störungen sind, und dadurch das Risiko externer Störungen zu minimieren. In diesem Zusammenhang könnte erwogen werden, die Aufgaben des *Parlamentarischen Beirats für Nachhaltige Entwicklung* um die Krisenvorsorge zu erweitern.

Außer dem Parlamentarischen Beirat für nachhaltige Entwicklung könnte vor allem der Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE) eine wichtige Rolle bei der Integration von Nachhaltigkeit, Resilienz und Transformation in politische Entscheidungsfindungsprozesse einnehmen. Der RNE berät die Bundesregierung in Fragen der Nachhaltigkeitspolitik und ist in seiner Tätigkeit unabhängig. Die Agenda 2030 mit ihren Nachhaltigkeitszielen (Sustainable Development Goals – SDG) und die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie bilden den grundlegenden Rahmen für die Arbeit des Nachhaltigkeitsrates. Es wäre daher sinnvoll, die kontinuierliche Beobachtung systemischer Risiken, die das Potenzial haben, die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele zu beeinträchtigen, als eine dauerhafte Querschnittsaufgabe in die Agenda des RNE zu integrieren.

Stärkung der Kapazitäten des Deutschen Bundestages zur Gestaltung einer transformativen Resilienzpolitik

Eine auf Risiken orientierte strategische Vorausschau wird typischerweise von unterschiedlichen Einrichtungen der Exekutive betrieben, so auch in Deutschland. Eine parallele, wirklich systematische und kontinuierliche Erfassung und Beobachtung krisenhafter Entwicklungen durch das Parlament erscheint aufgrund der Ressourcen, die dafür aufgewendet werden müssen, wenig realistisch. Dennoch stellt sich die Frage, wie vorhandene Kapazitäten und Strukturen des Deutschen Bundestages für die Beteiligung an der Gestaltung einer präventiven, transformativen Resilienzpolitik genutzt und welche institutionellen Innovationen geeignet erscheinen, mit denen fragmentierten Zuständigkeiten und das thematische Silodenken überwunden (oder zumindest reduziert) werden können. Identifiziert wurden drei Ansatzpunkte: die mögliche Öffnung der BAKS in Richtung Legislative, die Erweiterung der Aufgaben des TAB im Bereich Foresight sowie die Einrichtung einer Enquete-Kommission zum Themenkreis Krisenvorsorge, Resilienz und gesellschaftlicher Zusammenhalt.

Öffnung der strategischen Vorausschau der Exekutive zur Stärkung der Futures Literacy der Legislative

Die Kompetenzen von Abgeordneten im systematischen Umgang mit komplexen Unsicherheiten könnten durch einen gezielten Kompetenzaufbau im Bereich Futures Literacy gestärkt werden, ein Konzept, das darauf abzielt, Menschen und Organisationen zum aktiven Zukunftsdenken zu befähigen. Ein Ziel besteht darin, neue Handlungsspielräume zu identifizieren, Optionen zu generieren und gegenüber Diskontinuitäten und überraschenden Ereignissen vorbereitet zu sein, und zwar nicht nur mit Blick auf den übergeordneten globalen oder nationalen Maßstab, sondern auch konkret in Verantwortung gegenüber den Menschen in den jeweiligen Wahlkreisen und Heimatregionen.

Zur Stärkung entsprechender Kompetenzen können gezielte Bildungsangebote der strategischen Vorausschau, die von der BAKS bzw. des von ihr betriebenen nationalen Kompetenzzentrums Strategische Vorausschau entwickelt wurden, in Richtung Bundestag geöffnet werden.

Bei den seit 2016 von der BAKS im Auftrag des Bundeskanzleramts angebotenen Seminaren geht es nicht um Prognose und/oder Vorhersage, sondern um den Umgang mit Ungewissheiten und die Frage, wie Gesellschaft und Politik insgesamt sich darauf (besser und zielführender als bisher) einstellen können. Der Blick richtet sich dabei auf global einschneidende Ereignisse wie Kriege, Anschläge, Staatskrisen, Naturkatastrophen und Flüchtlingsbewegungen, aber auch auf Epi- und Pandemien, wie etwa die weltweite Ausbreitung des Coronavirus mit seinen auslösenden Erkrankungs- und Sterbewellen seit 2020. Ziel war und ist es, Bundesministerien und ihre Ressorts sowie die nachgeordneten Bundesbehörden (aber auch Landesbehörden) mit deren diversen Geschäftsbereichen dabei zu unterstützen, den Blick auf alternative Zukünfte in der strategischen Arbeit der Institutionen zu verankern und weiter auszubauen.

In den gegenwärtigen, vorrangig auf die Exekutive orientierten Foresightprozessen besteht das Interesse der Beteiligten insbesondere darin, die zum Teil ganz unterschiedlichen Einheiten in den Behörden und Institutionen (und deren inhärente Aufgaben und Interessen) zusammenzubringen, auch weil sich gezeigt hat, dass sich bereits jetzt viele Mitarbeiter/innen in der Bundesverwaltung im Rahmen ihrer Aufgaben durchaus systematisch mit möglichen Zukünften befassen. In Ministerien und Behörden sind die ersten Schritte einer strategischen Vorausschau somit getan. Um die Institutionalisierung voranzutreiben und damit den Ausbau sowie die Verstetigung bisheriger Ansätze zu gewährleisten, werden eine intensiviertere Koordination und Zusammenführung der verschiedenen Aktivitäten innerhalb der Ressorts sowie die Integration bereits etablierter Elemente in ein umfassendes

Gesamtkonzept empfohlen. Wobei mit der Öffnung in Richtung Legislative eine weitere Stufe angezielt werden könnte. Ganz konkret wäre zu überlegen, die Angebote des Kompetenzzentrums Strategische Vorausschau der BAKS auch an den Bundestag bzw. die Abgeordneten in den relevanten Ausschüssen sowie an die Mitarbeiter/innen der Abgeordneten und die fachspezifischen Fraktionsangestellten zu adressieren.

Erweiterung der Aufgaben der parlamentarischen TA im Bereich Foresight: Resilienzradar und Resilienzcheck

Auch wenn eine wirklich systematische und kontinuierliche Erfassung und Beobachtung krisenhafter Entwicklungen durch Einrichtungen der parlamentarischen TA, darunter das TAB und die anderen Mitglieder des EPTA-Netzwerks, aufgrund der Ressourcen, die dafür aufgewendet werden müssten, wenig realistisch erscheint, können sie doch eine wichtige Rolle bei der Identifikation von systemischen Herausforderungen und möglichen Resilienzstrategien zumindest in gesellschaftlichen Teilbereichen spielen. Die multiplen oder Polykrisen der vergangenen 20 Jahre, die zunehmenden Folgeerscheinungen des Klimawandels und weitere drohende globale Kippunkte haben das Bewusstsein für die Gefährdung durch Naturereignisse und menschengemachte Risiken in Gesellschaft und Politik geschärft und den Druck zu ökologischen, ökonomischen, sozialen und institutionellen Transformationen deutlich erhöht.

Diese Ausgangslage hat nicht nur konkret zu diesem Projekt geführt, das wie alle TAB-Themen einstimmig von allen Fraktionen des Deutschen Bundestages in Auftrag gegeben wurde. Vielmehr wurden als Reaktion auf die Befassung mit dem Thema »Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken« in der aktuellen Vertragslaufzeit 2023–2028 des TAB die Foresightaktivitäten substanziell erweitert, um relevante Entwicklungen frühzeitig erkennen und besser verstehen zu können. Mit dem neuen Format eines Resilienzradars werden im jährlichen Turnus Trends und Entwicklungen identifiziert, die mit Herausforderungen und Risiken für ausgewählte kritische Infrastruktursysteme einhergehen. Zu Fokusthemen, die vom Bundestag ausgewählt werden, wird dann eine vertiefende Resilienzprüfung (Resilienzcheck) durchgeführt, um Vulnerabilitäten und systemische Risiken zu identifizieren und belastbare Resilienzstrategien zu entwickeln. Die Ergebnisse des Resilienzchecks werden dann im Rahmen einer öffentlichen Fachveranstaltung im Deutschen Bundestag mit den Bundestagsabgeordneten und der Zivilgesellschaft diskutiert.

Der Umfang dieser exemplarischen Analysen ist im Rahmen der verfügbaren personellen und finanziellen Budgets notwendigerweise begrenzt. Neben einer möglichen Erweiterung der Untersuchungskapazitäten der TA beim Deutschen Bundestag stellt sich die Frage, welche sonstigen parlamentarischen Gremien geeignet sein könnten, sich systematisch und längerfristig mit den Themen Krisenfrüherkennung und Stärkung der präventiven, transformativen Resilienz zu befassen oder ob dafür institutionelle Innovationen im Parlament nötig erscheinen. Hierzu konnte im Rahmen des Projekts keine tiefere Einschätzung entwickelt werden. Allerdings deutet einiges darauf hin, dass zumindest eine Beiratslösung wohl nicht ausreichend wäre.

Einsetzung einer Enquete-Kommission zum Themenkreis Krisenvorsorge, Resilienz und gesellschaftlicher Zusammenhalt

Die Fragen bisheriger Schwächen und möglicher Verbesserungen der Früherkennung von und der Frühwarnung vor systemischen Risiken können durchaus angemessen wissenschaftlich erfasst, untersucht und auch weitgehend beantwortet werden. Demgegenüber gerät eine vorrangig wissenschaftliche Herangehensweise bei der Frage nach der Reaktion bzw. Vorbereitung auf die erkannten absehbaren oder möglichen Risiken im Sinne der Gestaltung einer präventiven Resilienzpolitik sehr schnell an ihre Grenzen. Vielmehr muss immer wieder neu politisch bzw. gesamtgesellschaftlich ausgehandelt werden, welche Kritischen Infrastruktursysteme mit welchen Mitteln und zu welchen Zwecken in welchem Umfang verstärkt präventiv abgesichert werden sollen. Hierüber erscheint es notwendig, in einen intensiven Dialog mit der Zivilgesellschaft zu treten, denn angesichts notwendiger grundlegender Veränderungen, beispielsweise im Bereich Verkehr, Gesundheit oder Energie, ist die Akzeptanz ein wesentlicher Erfolgsfaktor für transformative Resilienz.

Angesichts des Umfangs und der Bedeutung, aber auch der vielen offenen Fragen des Themas erscheint die Einsetzung einer Enquete-Kommission zu den Herausforderungen und Perspektiven einer resilienten Gesellschaft

als naheliegende, zumindest prüfenswerte Handlungsmöglichkeit, die auch Möglichkeiten der institutionellen Innovation zur dauerhaften Verankerung der Aufgabenstellung Krisenradar und -vorsorge im Bundestag erarbeiten könnte bzw. sollte.

Grob umrissen könnten die Leitfragen lauten: Welches sind die wichtigsten kurz-, mittel- und langfristig absehbaren krisenhaften Entwicklungen und wie kann darauf reagiert werden? Was macht eine Gesellschaft resilient und wie stellt sich die Situation für die deutsche Gesellschaft dar? Was können wir von anderen Nationen/Ländern lernen, was ist möglicherweise übertragbar und was davon kann durch politisches Handeln gefördert werden? Welche sozialen, technischen und institutionellen Innovationen erscheinen vielversprechend? Es wäre dabei naheliegend, in einen intensiven Dialog mit der Zivilgesellschaft zu treten, wie es die Enquete-Kommission »Internet und digitale Gesellschaft« praktizierte. Auch wenn die Einsetzung einer Enquete-Kommission erst in der nächsten Wahlperiode sinnvoll ist, könnten Fragestellungen in einem Vorbereitungsprozess eventuell bereits schon in der laufenden Legislaturperiode entwickelt werden.

1 Einleitung

Problemstellung

Ob COVID-19-Pandemie, Klimawandel, Fluchtbewegungen, Finanzkrisen, (Cyber-)Terrorismus, drohende Ressourcenknappheit oder Kriege und geopolitische Konflikte, in einer sich zunehmend vernetzenden Welt sehen sich Gesellschaften einer beispiellosen Vielfalt von Herausforderungen ausgesetzt. Die globale Verflechtung von immer größeren, heterogenen und dynamischen Gesellschaftssystemen erzeugt eine nie zuvor dagewesene Komplexität und Interdependenz der Gesamtkonstellation. Die Wechselwirkung aus dem Zusammenspiel globaler Megatrends wie Globalisierung, Digitalisierung oder Individualisierung potenziert und beschleunigt die Auswirkungen dieser Entwicklungen. Im 21. Jahrhundert sind Gesellschaften also zunehmender Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität und dadurch einer neuen Vielfalt an Risikopotenzialen ausgesetzt, die sich erheblich von den Risiken der Vergangenheit unterscheiden – hinsichtlich ihrer Schadenspotenziale, der zeitlichen Dimension, der örtlichen Ausdehnung, der Irreversibilität potenzieller Schäden, des sozialen Konfliktpotenzials sowie in ihren wechselseitigen Abhängigkeiten (Schweizer/Chabay 2021). Angesichts dieser Entwicklungen sind Gesellschaften heute mehr denn je angehalten, sich ihrer Bedrohungen bewusst zu werden und systematisch mit der Sicherung ihres zukünftigen Fortbestehens auseinanderzusetzen.

Mit konventionellen und punktuellen Gefahrenereignissen wie Unfälle, Starkregen oder Waldbränden haben Behörden und Politik in den vergangenen Dekaden immer besser gelernt umzugehen. Anders verhält es sich bei vernetzten, nicht linearen und global wirkenden systemischen Krisen. Die COVID-19-Pandemie ist ein aktuelles Beispiel, wie eine solche Krise kritische Infrastrukturen bedrohen und massive Folgen und Verwerfungen für Gesellschaft und Wirtschaft zur Folge haben kann. Zudem hat die Pandemie vor Augen geführt, wie verletzlich komplexe Gesellschaften und Wirtschaftssysteme sind, die global hoch interdependent miteinander verflochten sind. Weitere Krisen dieses Ausmaßes sind auch in Zukunft nicht ausgeschlossen. Systemische Krisen haben das Potenzial, in ihrem Zusammenwirken im Rahmen der gesellschaftlichen und ökonomischen Entwicklungspfade zu negativen Folgen bislang unbekannter Art zu führen.

Mit Blick auf mögliche zukünftige systemische Krisen ist die Politik gefordert, Fähigkeiten und Strukturen zu fördern, die es ermöglichen, sich auf plötzliche krisenhafte Ereignisse, Entwicklungen und Schocks vorzubereiten, diese zu bewältigen und auf Basis der gemachten Erfahrungen betroffene Systeme anzupassen und zu verbessern (Kagermann et al. 2021). In der aktuellen Resilienzstrategie des Bundes werden der Ausfall von Kritischen Infrastrukturen, der Verlust von Arbeit, finanzielle Belastungen, eingeschränkter Zugang zu Bildung, Ernteaufschläge, Waldschäden, Verlust von kulturellem Erbe oder begrenzte Mobilität als Beispiele für direkte Schäden von Katastrophen für die Bevölkerung genannt, die sich allerdings durch eine verbesserte Krisenvorhersage verringern bzw. vermeiden lassen (BMI 2022a). Da Art und Ausmaß künftiger Krisen nicht vollumfänglich antizipiert werden können, müssen von der Politik mögliche Krisenanfälligkeiten besser vorausschauend berücksichtigt werden, um Handlungsfähigkeit in unterschiedlichen Krisenszenarien zu gewährleisten (Kagermann et al. 2021).

Zur Krisenvorhersage bedarf es – bildhaft gesprochen – eines Krisenradars, der auf drei Funktionen ausgerichtet ist: Erstens die Exploration möglicher Ereignisse, Entwicklungen und Schocks, die potenziell zu systemischen Krisen führen können, zweitens die Antizipation möglicher Krisenverläufe, Wechselwirkungen und Folgen auf Gesellschaft und Wirtschaft und drittens die Analyse möglicher Verwundbarkeiten, Abhängigkeiten und Risiken im Falle des Eintrittes von systemischen Krisen und damit verbundener potenzieller Schocks sowie die Analyse der Anpassungskapazität des Systems. Darauf aufbauend können sich Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verringerung der Exposition, zur Verringerung der Sensitivität und zur Verbesserung der Anpassungs-, Lern- und Transformationskapazität, also zur Erhöhung der Resilienz ergeben.

Angesichts der Ungewissheit zukünftiger Entwicklungen und der Vielfalt möglicher Schockereignisse gilt es, die bereits vorhandene und im Laufe von Jahrzehnten gewachsene Infrastruktur zur Krisenvorhersage, -vorsorge und -bekämpfung in Deutschland zu verbessern. Die Resilienzstrategie der Bundesregierung schafft dafür einen Rahmen. Sie ist die erste Strategie in Deutschland, die einen ganzheitlichen Blick auf die Stärkung der Resilienz im Falle Katastrophen richtet (BMI 2022a). Sowohl für die Vermeidung als auch für die Bewältigung von Krisen ist es notwendig, Hinweise und Anzeichen frühzeitig zu identifizieren. Je früher eine krisenhafte Ent-

wicklung erkannt wird, desto eher lassen sich präventive und reaktive Maßnahmen einleiten. Neben der Früherkennung von Bedrohungen ist das Wissen über besondere Verletzbarkeiten bzw. krisenanfällige Bereiche (Vulnerabilitäten) eine wichtige Voraussetzung, um Strategien zur Steigerung der Resilienz von Gesellschaft, Wirtschaft und Politik entwickeln zu können.

Resilienz beschreibt die Fähigkeit der Gesellschaft, vorbereitende Maßnahmen zur Krisenbewältigung zu ergreifen, unmittelbare Krisenfolgen abzumildern und sich an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen. Die Resilienzstrategie versucht alle denkbaren Gefahren im Rahmen von Katastrophen in Blick zu nehmen und betrachtet diese auch über Zuständigkeiten von Fachbereichen und administrativen Grenzen hinweg. Sie formuliert Maßnahmen in der Erwartung, sich dadurch »rechtzeitig und effizient den Auswirkungen unterschiedlichster Gefahren zu widersetzen, diese zu absorbieren, sich an sie anzupassen und sich von ihnen zu erholen« (BMI 2022a). Impulsgeber für die Erstellung der Resilienzstrategie war das »Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015–2030«, das von den Vereinten Nationen verabschiedet wurde. Dessen Ziel ist es, bestehende Risiken und Vulnerabilitäten zu reduzieren, neue Katastrophenrisiken zu verhindern und die Resilienz der Bevölkerung gegenüber Gefahren zu stärken (UNDRR 2015).

Auch die EU hat begonnen, Krisenereignisse systematisch zu bewerten. In den »Strategic Foresight Reports« der EU-Kommission von 2020 und 2021 wird die Verbesserung der Vorausschau, der Früherkennung und der Frühwarnung vor Krisen betont, um die Widerstandsfähigkeit Europas in Zeiten grundlegenden Wandels zu stärken (EC 2020). Dies berührt nicht nur eine Vielzahl von Politikfeldern, sondern stellt enge Verbindungen zwischen Resilienzstrategien einerseits und der Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele (Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, Übereinkommen von Paris unter der Klimarahmenkonvention der UN, Global Biodiversity Framework etc.) und damit verbundenen Transformationen andererseits her.

Entsprechend steigt das Interesse der Politik an strategischer Vorausschau und Frühwarnung im Kontext von Resilienz- und Nachhaltigkeitszielen. Während die strategische Vorausschau oftmals komplexe Zukunftsbilder generiert, dienen Früherkennungssysteme dem möglichst präzisen Erkennen künftiger Entwicklungen und der Bewertung damit verbundener Handlungsnotwendigkeiten. Frühwarnsysteme konzentrieren sich zudem auf das frühzeitige Warnen vor Gefahren, Bedrohungen und Krisen. Im politischen Kontext sollen Frühwarnsysteme die Akteure dabei unterstützen, auf Grundlage bestmöglicher Daten und Einschätzungen zu entscheiden, welche unter den bekannten oder vermuteten Gefahren, Bedrohungen und Krisen diejenigen sind, denen die (politische) Aufmerksamkeit prioritär gelten sollte.

Zielsetzung

Vor dem Hintergrund dieser aktuellen Entwicklungen und Herausforderungen für die Politik wurde das Projekt »Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken« (2021–2023) im Auftrag des Deutschen Bundestages vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) durchgeführt. Zielsetzung dieses TA-Projekts war es zu untersuchen, wie die Krisenvorhersage in Bezug auf den vorbeugenden Ansatz der Resilienz verbessert und im politischen Raum verankert werden kann. Hieraus resultieren weitere Leitfragen: Welche Defizite existieren bei der Früherkennung von systemischen Krisen? Welche Erfahrungen wurden während der COVID-19-Pandemie im Zusammenhang mit Frühwarnsystemen gemacht? Mit welchen systemischen Risiken ist zukünftig zu rechnen? Welche Handlungsoptionen gibt es, um im politischen Raum die Krisenvorhersage zur Stärkung der Resilienz von Wirtschaft und Gesellschaft zu verbessern?

Aufbau des Berichts

Die Ergebnisse des TA-Projekts werden in diesem Bericht vorgestellt. Unter der Überschrift »Resilienz als Leitkonzept der Politik« wird das Resilienzkonzept zunächst in die aktuellen Debatten eingeordnet (Kap. 2). Resilienz wird dabei als vorsorgeorientierter Ansatz zur Bewältigung von Störereignissen, Krisen und Schocks konzipiert. In Kapitel 3 werden die unterschiedlichen Facetten von Frühwarnsystemen, ihre Funktionen, Prozesse, Anwendungsbereiche und weitere Merkmale fokussiert dargestellt. Daran anschließend richtet sich die Analyse in Kapitel 4 auf die COVID-19-Pandemie. Unter dem Titel »Reallabor Corona – Erfahrungen mit Frühwarnsystemen in der aktuellen Pandemie-Krise« werden Erfahrungen mit Frühwarnsystemen während der COVID-19-Pandemie

vertieft behandelt und aufgearbeitet. Insbesondere die im Infektionsschutzgesetz (IfSG)¹ festgelegte Meldekette als zentrales Frühwarninstrument in Deutschland wird hier genauer in den Blick genommen, darüber hinaus aber auch übergreifende internationale Frühwarnsysteme. Dabei werden u.a. die Fragen beantwortet, welche Frühwarnsysteme im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie eine zentrale Rolle gespielt haben, welche spezifischen Funktionen, Ansätze und Strukturen ihnen zugrunde liegen und wie diese Systeme institutionell verankert sind. Zudem wird eine Einschätzung dazu getroffen, wie sich die Systeme bei der Früherkennung der COVID-19-Pandemie bewährt haben und welche Erkenntnisse sich daraus für die Früherkennung zukünftiger Pandemien und potenzieller Krisen ableiten lassen. In Kapitel 5 wird der Frage nachgegangen, mit welchen systemischen Risiken zukünftig zu rechnen ist. Vorgestellt wird eine Heuristik von potenziellen Entwicklungen und Ereignissen mit hohem Krisenpotenzial. Kapitel 6 widmet sich der prospektiven Krisenanalytik. An zwei Beispielen, dem Gesundheits- und dem Verkehrssystem, wird exemplarisch untersucht, wie sich die mit dem globalen Klimawandel zusammenhängenden Folgen auf diese Systeme auswirken könnten. Dabei geht es darum, Schwachstellen zu identifizieren, um daraus Ansätze zur Verbesserung der Resilienz abzuleiten. Das Schlusskapitel 7 zeigt schließlich Handlungsoptionen auf, wie die Krisenvorsorge in Deutschland zur Stärkung der Resilienz von Wirtschaft und Gesellschaft verbessert werden kann. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der Frage, wie die Themen Früherkennung und Krisenvorsorge auf der Ebene der Parlamentsarbeit des Deutschen Bundestages stärker verankert werden können.

Zusammenarbeit mit Gutachter/innen und Danksagung

Zur Ausweitung der Wissensbasis und fachlichen Fundierung dieses Berichts wurden vier Gutachten vergeben:

- › Lessons Learnt: Reallabor Corona – nationale Erfahrungen mit Frühwarnsystemen in der aktuellen Pandemiekrise (Deutschland). Hanna Denecke, Andreas Karsten, Esther Kern, Ralph Thiele, Dr. Willfried Wienholt, Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH, Ottobrunn
- › Lessons Learnt: Reallabor Corona – internationale Erfahrungen mit Frühwarnsystemen in der aktuellen Pandemiekrise. Dr. Elena Aminova, Michael Astor, Felix Kuropka, Miguel Wahle, Matthias Stache, Prognos AG, Berlin
- › Vorausschauende Analyse und Kategorisierung von systemischen Risiken und Gefahren mit hohem Krisenpotential. Dr. Pia-Johanna Schweizer, Prof. Dr. Ilan Chabay, Institute for Advanced Sustainability Studies e. V. (IASS), Potsdam
- › Transdisziplinäre Vulnerabilitätsanalyse des Gesundheitssystems in Deutschland. Roland W. Scholz, Klaus Markus Hofmann, Heike Köckler, STTM – Scholz Technology Transition Management, Arbeitsgemeinschaft DiDaT Next Level, Kreuzlingen

Die im Rahmen der Gutachten erarbeiteten Ergebnisse flossen größtenteils in die Kapitel 4 (Reallabor Corona – Erfahrungen mit Frühwarnsystemen in der aktuellen Pandemie-Krise) und 5 (Zukünftige systemische Risiken) dieses Berichts ein. Für die vorgelegten Gutachten und für die Bereitschaft zur Kooperation und Kommunikation sei den Gutachter/innen herzlich gedankt. Die Verantwortung für die Auswahl, Strukturierung und Verdichtung des Materials sowie dessen Zusammenführung mit eigenen Recherchen und Analysen tragen die Verfasser des Berichts. Dank gebührt auch Prof. Dr. Stephan Rammner als Mitinitiator und wichtiger Impulsgeber. Ebenfalls gedankt sei Lennart Keil für seine wertvolle Recherchearbeit.

¹ Infektionsschutzgesetz vom 20. Juli 2000, zuletzt am 17.7.2023 geändert

2 Resilienz als Leitkonzept der Politik

2.1 Resilienzverständnis

In seiner Grundbedeutung bezeichnet Resilienz die Potenziale von komplexen Systemen, mit Störereignissen umzugehen, ohne dabei ihre wesentlichen Funktionen zu verlieren (Olsson et al. 2015). Diese Definition baut auf dem Verständnis von Resilienz als Robustheit eines Systems gegenüber starken Belastungen auf. Dafür müssen im System sowohl stabilisierende als auch dynamische Elemente vorhanden sein. Der Grad der erreichten Resilienz lässt sich also aus der Fähigkeit ableiten, unter unsicheren und wechselnden Bedingungen keinen dauerhaften Verlust der Leistungsfähigkeit zu erleiden.

Die Verwendungsvielfalt des Resilienzbegriffs und damit korrespondierender Begriffe ist enorm.² Die unterschiedlichen Definitionen werden meist entlang eines Spektrums zwischen einem statischen und einem dynamischen Pol diskutiert (Fathi 2019). Während das statische Leitbild Resilienz als Fähigkeit von Entitäten versteht, nach Störungen in den Ausgangszustand zurückzufinden, betont das dynamische Leitbild die Fähigkeit, langfristig zu überleben und zu prosperieren. Das Ziel im Sinne eines dynamischen Leitbildes ist also nicht, zu dem ursprünglichen Zustand vor einem Schockereignis zurückzukehren, sondern vielmehr eine Anpassung unter sich verändernden Umfeldbedingungen. Krisen müssen also nicht zwangsläufig zu desolaten Entwicklungen führen, sondern können auch Entwicklungschancen und den Aufbruch in eine neue Normalität bieten (Olsson et al. 2015).

Ungeachtet der variierenden Resilienzkonzepte in unterschiedlichen Zusammenhängen lässt sich für die prospektive Analyse von Gefahren ein Kernaspekt hervorheben: das Verständnis von Resilienz als die Fähigkeit eines Systems, »die Auswirkungen eines Schocks oder einer Krise rechtzeitig zu erkennen, schädliche Effekte abzufedern, sich darauf einzustellen und sich davon zu erholen« (Rudloff 2022). Nach diesem Verständnis, das in diesem Bericht zugrunde gelegt wird, umfasst Resilienz unterschiedliche strukturelle und zeitliche Dimensionen, welche auch als Absorption bzw. Adoption, Adaption und Transformation bezeichnet werden (hier und im Folgenden (Gunderson/Holling 2002) nach (Rudloff 2022):

- › *Absorption bzw. Adoption (Widerstandsfähigkeit)* bezeichnet das Auffangen oder Abmildern von bereits eingetretenen Schäden, wie etwa Einnahmeverluste oder Zerstörungen im Falle von Naturkatastrophen. Ein Beispiel für entsprechende politische Maßnahmen in der Coronakrise sind die EU-Hilfsprogramme für Unternehmen.
- › *Adaption (Anpassungsfähigkeit)* beschreibt eine vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadenseignisse und Stressfaktoren. Typische Maßnahmen sind etwa Versicherungslösungen oder angemessene Bauweisen in Erdbebengebieten.
- › *Transformation (Entwicklungsfähigkeit)* meint die Kapazität, das disruptive Moment von Krisen als Katalysator für die Schaffung von neuen und nachhaltigeren Strukturen zu nutzen, wo vorhandene Strukturen nicht mehr tragfähig sind.

Besonders aufgrund des Aspekts der Transformation unterscheidet sich die Idee der Resilienz von dem schon länger etablierten Begriff des Risikos. So legen Risikokonzepte den Fokus auf konkrete Gefahren und potenzielle negative Einwirkungen auf ein System, die mit diesen Gefahren verbunden sind. Resilienz hingegen nimmt die positiven Eigenschaften des Systems selbst in den Blick und fokussiert auf seine Widerstands- und Anpassungsfähigkeit, um mit negativen Auswirkungen umzugehen. Der Begriff der Transformation hebt hervor, dass während bzw. nach einer überstandenen Krise nicht zum Ausgangszustand zurückgekehrt werden sollte. Vielmehr soll eine bessere, also stressresistentere, Situation erzeugt werden. Ebenso formulieren Hafner et al. (2019), dass es nicht darum geht, »Systeme immer wieder in ihrer ursprünglichen Form wiederherzustellen. Vielmehr soll durch die Berücksichtigung von äußeren Einflüssen bzw. veränderter Rahmenbedingungen das System von einem risikobehafteten in einen weniger riskanten bzw. weniger vulnerablen Zustand überführt werden«. Sie bezeichnen dies als »Reflexive Resilienz« (Hafner et al. 2019). Die Akademie der Technikwissenschaften (acatech), die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

² Für eine ausführliche Übersicht über relevante Begriffe für das Resilienzkonzept siehe Cecilia (Norf 2020).

(acatech et al. 2017) betonen in diesem Zusammenhang zudem, dass eine Resilienzstrategie nicht nur auf erwartbare externe Belastungen fokussiert sein sollte. Ihr Ziel sei es vielmehr, ein System besonders robust zu gestalten, damit seine Funktionsfähigkeit auch im Falle von unerwarteten Störungen entweder erhalten bleibt oder zumindest schnell wiederhergestellt werden kann.

2.2 Resilienz auf politischer Ebene

Seitens der Politik wurde das Konzept der Resilienz als politisches Ziel in den letzten Jahrzehnten vielfach auf internationaler und nationaler Ebene aufgegriffen. Es wurde mit der Aufgabe verbunden, die Resilienz von Gesellschaften gegenüber Katastrophen zu stärken. Ein Leitdokument ist das »Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015–2030« (UNDRR 2015), welches 2015 von den Vereinten Nationen verabschiedet wurde.

Kasten 2.1 Das »Sendai Rahmenwerk«

Das »Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015–2030« legt eine global vereinbarte Politik zur Verringerung des Katastrophenrisikos fest, die innerhalb eines Zeitraums von 15 Jahren zu folgenden Ergebnissen führen soll: wesentliche Verringerung des Katastrophenrisikos und der Verluste an Menschenleben, Sicherung der Lebensgrundlagen und Gesundheit sowie Erhalt wirtschaftlicher, physischer, sozialer, kultureller und ökologischer Werte von Personen, Unternehmen, Gemeinschaften und Ländern. Innerhalb des »Sendai Rahmenwerks« wurden von den Staaten zu ergreifende Maßnahmen auf lokaler, nationaler, regionaler und globaler Ebene in vier Schwerpunktbereichen festgelegt:

- › Priorität 1: Verständnis des Katastrophenrisikos
- › Priorität 2: Stärkung der Katastrophenvorsorge zur besseren Einschätzung und Bewältigung des Katastrophenrisikos
- › Priorität 3: Investitionen in die Katastrophenrisikominderung und zur Stärkung der (gesellschaftlichen) Widerstandsfähigkeit
- › Priorität 4: Verbesserung der Katastrophenvorsorge als Reaktion auf Krisen und Katastrophen und eine verbesserte Phase der Erholung, Rehabilitation und des Wiederaufbaus (BBK 2019, S. 11; UNDRR 2015, S. 8)

Um die Bewertung des globalen Fortschritts bei der Erreichung der Ziele bis 2030 zu bewerten, wurden sieben globale Zielvorgaben vereinbart:

1. Erhebliche Verringerung der weltweiten Sterblichkeit durch Katastrophen bis 2030 mit dem Ziel, die durchschnittliche Sterblichkeitsrate pro 100.000 Einwohner zu senken
2. Erhebliche Verringerung der Zahl der weltweit betroffenen Menschen bis 2030, mit dem Ziel, die durchschnittliche Zahl pro 100.000 Menschen zu senken
3. Verringerung der direkten wirtschaftlichen Verluste durch Katastrophen im Verhältnis zum weltweiten Bruttoinlandsprodukt (BIP)
4. Erhebliche Verringerung der durch Katastrophen verursachten Schäden an kritischen Infrastrukturen und der Unterbrechung grundlegender Dienstleistungen, darunter Gesundheits- und Bildungseinrichtungen, auch durch die Verbesserung ihrer Widerstandsfähigkeit
5. Erhebliche Erhöhung der Zahl der Länder, die über nationale und lokale Strategien zur Verringerung des Katastrophenrisikos verfügen
6. Stärkung der internationalen Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern durch eine angemessene und nachhaltige Unterstützung zur Ergänzung ihrer nationalen Maßnahmen

7. Erhebliche Verbesserung der Verfügbarkeit und des Zugangs zu Multi-Hazard-Frühwarnsystemen sowie von Informationen und Bewertungen des Katastrophenrisikos für die Bevölkerung bis 2030 (BBK 2019, S. 12 f.; UNDRR 2015, S. 6 f.)

Neben diesen Zielen wurden Indikatoren für die Evaluation der Maßnahmen im Rahmen des »Sendai Rahmenwerks« entwickelt (UNDRR 2016, S. 3 ff.; UNDRR/WHO 2021, S. 6 f.). Diese Aspekte können gemeinsam als Gütekriterien für Frühwarnsysteme angesehen werden und werden im Rahmen des »Sendai-Rahmenwerk«-Monitorings kontinuierlich betrachtet. Seit Beginn der COVID-19-Pandemie wurden auch Indikatoren für die Betrachtung der Auswirkungen der Pandemie in das Monitoringsystem übernommen. Die Ergebnisse des Monitorings fließen dabei sowohl in das Monitoring der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG) als auch in die Analyse der globalen Gesundheitsindikatoren der WHO ein (UNDRR/WHO 2021, S. 1).

Die EU nennt Resilienz als wesentliches Ziel in nahezu allen aktuellen Strategiedokumenten und Reformvorschlägen für einzelne Sektoren (Europäischer Rat 2023). Ebenso beziehen sich die G7 explizit auf Resilienz und ihre Formulierung des »Cornwall Consensus« für resiliente Wertschöpfungsketten nach der Coronakrise, ähnlich dem »Washington Consensus« als Reaktion auf die Schuldenkrise der 1980er Jahre (Rudloff 2022). Auch in Deutschland wird Resilienz zunehmend als zentrales Konzept für eine risikoinformierte, klimaangepasste und nachhaltige Entwicklung betrachtet. Der Deutsche Aufbau- und Resilienzplan (DARP) beinhaltet Maßnahmen und Investitionspläne in Klimaschutz, Energiewende und neue digitale Technologien, um gestärkt aus der Coronakrise hervorzugehen. Weitere Maßnahmen zielen auf die Förderung der Partizipation am Arbeitsmarkt und des öffentlichen Gesundheitswesens (BMF 2021).

Die neue Nationale Sicherheitsstrategie der Bundesregierung entfaltet eine integrierte Sichtweise, die Wehrhaftigkeit, Resilienz und Nachhaltigkeit verbindet (Auswärtiges Amt 2023). In diesem Rahmen wurde auch die nationale Resilienzstrategie von einer interministeriellen Arbeitsgruppe gemeinsam mit dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), dem Deutschen Roten Kreuz (DRK) und der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) erarbeitet und im Sommer 2022 vom Bundesministerium des Innern und für Heimat veröffentlicht (BMI 2022a). Sie dient der Umsetzung des »Sendai Rahmenwerks« auf Bundesebene. Die Resilienzstrategie formuliert drei Ziele bis 2030: Bestehende Strukturen und Systeme sollen durch neue oder verbesserte Maßnahmen im Katastrophenrisikomanagement ergänzt werden. Staatliche wie nichtstaatliche Akteure sollen enger im Katastrophenrisikomanagement zusammenarbeiten. Und Informationen, Erkenntnisse und Ergebnisse im Katastrophenrisikomanagement sollen verstärkt verbreitet und miteinander verknüpft werden. Zudem werden Zuständigkeiten, Finanzierung und Fortschrittmessung festgelegt. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Resilienzstrategie für Deutschland bzw. des »Sendai Rahmenwerks« in und mit Deutschland bedarf es der Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern, auch weil einige der adressierten Bereiche die Zuständigkeit der Länder betreffen. Hier werden Defizite konstatiert (BMBF 2023). So bedarf es einer deutlich besseren Zusammenarbeit zwischen Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene sowie mit Akteuren aus Wirtschaft und Gesellschaft. Dies schließt relevante Schnittstellen für die zivil-militärische Zusammenarbeit im Krisen-, Verteidigungs- und Katastrophenfall ein. Dabei sind auch die Ausgestaltung, Bereitstellung und Verfügbarkeit von Lagebildern und krisenrelevanten Daten sowie eine kontinuierliche Kommunikation innerhalb und zwischen den Ebenen relevant. Die Innenministerkonferenz (IMK) fordert diesbezüglich, dass das Informationsmanagement zwischen den einzelnen Ebenen durch ein durchgängiges digitales nationales Lagebild sichergestellt werden muss. Die Schnittstellen zwischen Bund und Ländern sollen gemäß IMK-Beschluss insbesondere durch Einrichtung eines Gemeinsamen Kompetenzzentrums Bevölkerungsschutz des Bundes und der Länder gefestigt werden, sodass die Zusammenarbeit in der Krisenbewältigung optimiert und verstärkt wird (Landtag Nordrhein-Westfalen 2023)

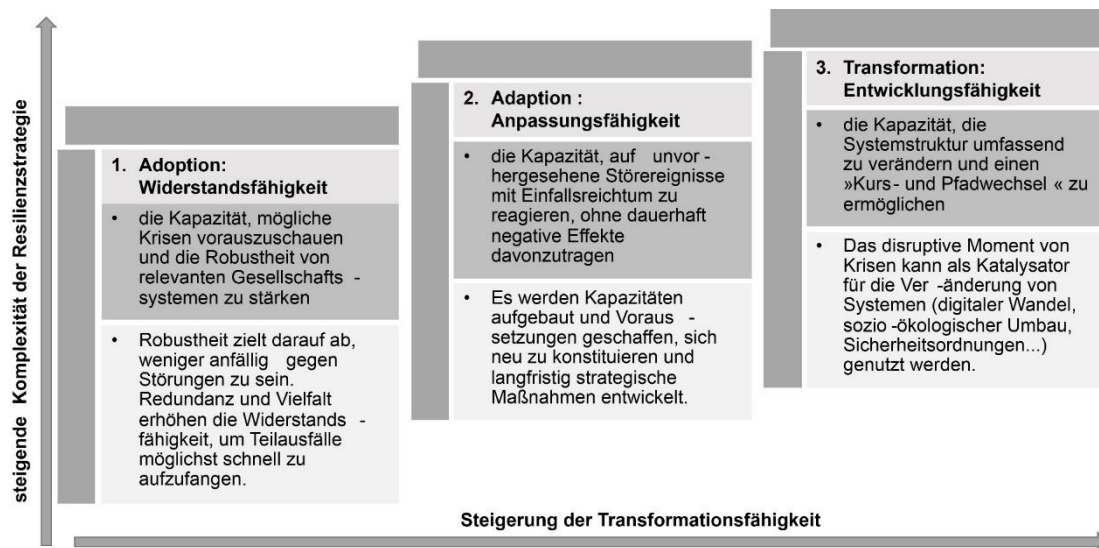
Im Juni 2022 wurde mit dem Aufbau des Gemeinsamen Kompetenzzentrums Bevölkerungsschutz (GeKoB) in den Räumlichkeiten des BBK begonnen. Es soll alle relevanten Akteure im Bevölkerungsschutz in einem Netzwerk zusammenführen und den Informationsaustausch vereinfachen. Das GeKoB soll nach Anforderung eines Bundes- oder Landesressorts auch in akuten Krisen und insbesondere bei länderübergreifenden Gefahren- und Schadenslagen bei der operativen Krisenbewältigung u. a. durch gemeinsame Lagebilder unterstützen (Bundesregierung 2022). Zur Umsetzung der Resilienzstrategie wurde des Weiteren 2022/2023 ein Dialog- und Beteiligungsprozess initiiert, um ressort-, ebenen- und akteursübergreifende Umsetzungsmechanismen der Resilienzstrategie anzustoßen. Die sich daraus ergebende Zusammenarbeit soll langfristig im Rahmen einer Nationalen

(Akteurs-)Plattform verstetigt werden und zur kontinuierlichen Weiterentwicklung der Resilienzstrategie beitragen. Initiativen und Maßnahmen, die zur Verbesserung des Katastrophenrisikomanagements und zur Steigerung der Resilienz ergriffen werden, sollen alle 3 Jahre qualitativ in Fortschrittsberichten erfasst werden und die Grundlage zur kontinuierlichen Weiterentwicklung der nationalen Resilienzstrategie bilden (BMI 2022a).

In den letzten Jahren wurde die transformative Komponente des Resilienzkonzepts verstärkt thematisiert (Beer/Rammler 2021; Rudloff 2022), um das transformative Potenzial von Krisen auszuschöpfen und dadurch gesellschaftlichen Wandel zu bewirken. In diesem Zusammenhang wird auch von transformativer Resilienz gesprochen (Abb. 2.1), worunter die Fähigkeit einer Gesellschaft verstanden wird, Transformationsprozesse von Wirtschaft und Gesellschaft und neue Risiken vorausschauend zusammenzudenken, Krisen frühzeitig zu erkennen, diese zu bewältigen und schließlich robuster aus ihnen hervorzugehen (Beer/Rammler 2021). Dies betrifft den digitalen Wandel, den nachhaltigkeitsorientierten sozial-ökologischen Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft in den nächsten Jahrzehnten (Energiesystem, Mobilitätssystem, Agrarwirtschaft, Rohstoffe, Lieferketten etc.) sowie die Neuausrichtung von Sicherheitskonzepten.

Nachhaltigkeit ist ein Konzept, welches durch das Zusammendenken von wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Dimensionen eine höhere Resilienz von Systemen verspricht (Beer/Rammler 2021). Die Leitbilder von Resilienz und Nachhaltigkeit können sich wechselseitig ergänzen: In einer krisenhaften Welt wird Resilienz zu einer Grundvoraussetzung für den Erreichen der Nachhaltigkeitsziele. Nur wenn der sozialökologische Umbau krisenfest gestaltet wird, können zukünftige Gesellschaften langfristig stabil sein. Andersherum bieten die Ziele der Nachhaltigkeit einen Wertekompass zur Entwicklung einer resilienten Gesellschaft. Systemische Nachhaltigkeit müsste also derart gestaltet werden, dass sie robust und anpassungsfähig gegenüber Störereignissen ist. Der Grad der erreichten transformativen Resilienz lässt sich in diesem Sinne aus der Fähigkeit ableiten, unter unsicheren und wechselnden Bedingungen erfolgreich die nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft voranzutreiben (Beer/Rammler 2021).

Abb. 2.1 Konzept der transformativen Resilienz



Eigene Darstellung nach Hafner et al. 2019; Rammler 2021 et al.; Thomas et al. 2023

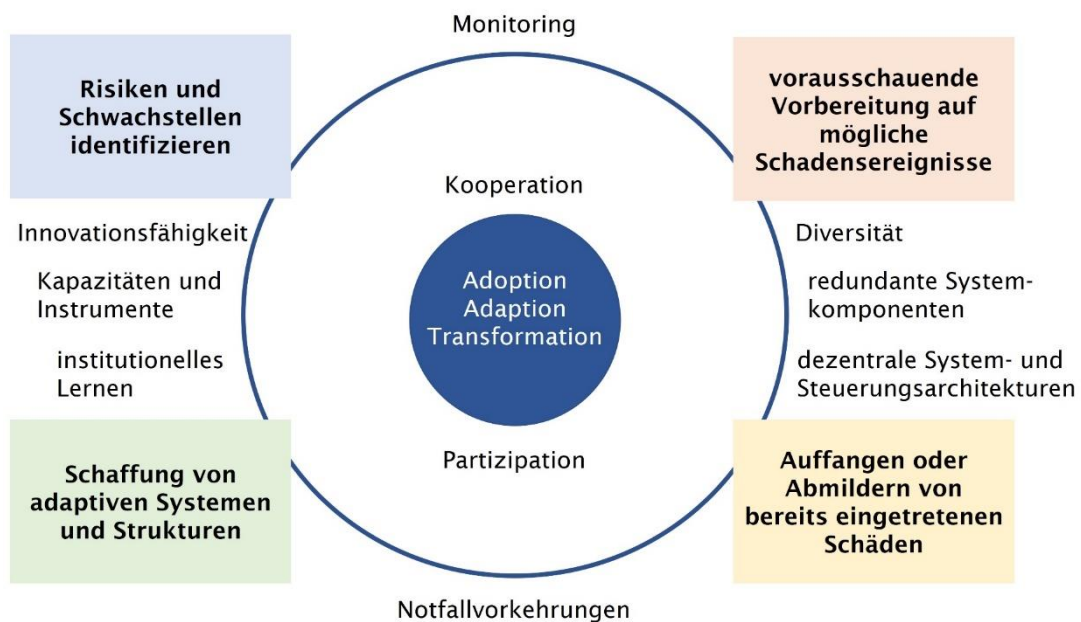
2.3 Handlungsfelder zur Förderung der Resilienz

Um das abstrakte Konzept der Resilienz für eine vorausschauende Resilienzpolitik handhabbar zu machen, ist die Einordnung in konkrete Handlungsfelder hilfreich. Einen Umgang mit Risiken stellt der Resilienzyklus von Edwards (2009) mit den fünf Phasen dar: »prepare« (Gefahren beachten), »prevent« (Gefahren abwehren), »protect« (Störungen abfangen), »respond« (reagieren), und »recover« (adaptieren, anpassen, lernen). Bei dem von

acatech et al. (acatech et al. 2017) angepassten Modell können aus einer Akteursperspektive der für eine vorausschauenden Resilienzpolitik relevanten Einrichtungen (Bundestag, Bundesregierung, Ressorts, nachgeordnete Behörden, Bundesländer etc.) vier Handlungsfelder für die Förderung von Resilienz abgeleitet werden (hierzu und im Folgenden (acatech et al. 2017): Erstens Risiken und Schwachstellen identifizieren, zweitens vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse, drittens Auffangen oder Abmildern von eingetretenen Schäden sowie viertens Schaffung von lernenden und adaptiven Systemen und Strukturen.

Diese Handlungsfelder verhalten sich komplementär – auch im Sinne einer zeitlichen Abfolge – zueinander und müssen gemeinsam und integrativ betrachtet werden. Ihnen können im Rahmen eines Resilienzyklus, der adaptiv durchlaufen wird, unterschiedliche Gestaltungsansätze zugeordnet werden (Abb. 2.2). Die genannten Gestaltungsansätze in den Handlungsfeldern weisen auf Potenziale zur Verbesserung der Resilienz von Systemen hin. Ob die jeweiligen Ansätze tatsächlich zu resilienteren Lösungen führen, ist im Einzelfall immer genau zu prüfen. Auch können Zielkonflikte, z. B. zwischen Resilienz und Effizienz von Systemen, nicht ausgeschlossen werden. In solchen Fällen ist immer die Abwägung von Vor- und Nachteilen und die Entscheidung für Prioritäten gefordert.

Abb. 2.2 Gestaltungsansätze entlang der Handlungsfelder im Resilienzyklus



Eigene Darstellung nach acatech et al. 2017; Edwards 2009

Risiken und Schwachstellen identifizieren

Um potenziellen Risiken wirksam zu begegnen und die Funktionsfähigkeit kritischer Systeme auch zukünftig sicherzustellen, ist es erforderlich, einerseits Szenarien zur Früherkennung von möglichen systemischen Risiken für potenziell betroffene Systeme zu entwickeln und andererseits zukünftige Entwicklungen im Kontext von Transformationsprozessen (kurz-, mittel- und langfristig) zu antizipieren. Der Fokus sollte auf Bedrohungen und Störereignissen liegen, die sich der Möglichkeit von eindeutigen Prognosen entziehen, aber generell vorstellbar und zukünftig möglich sind. Eine regelmäßige und systematische Beobachtung von Hinweisen auf solche Bedrohungen ist deshalb ein wichtiger Schritt zur Identifikation entsprechender Handlungsbedarfe und -spielräume im Rahmen von Resilienzstrategien. Zum Monitoring potenzieller systemischer Risiken gehört es, Bedrohungsszenarien zu identifizieren und ihre potenziellen Auswirkungen auf das System zu untersuchen (szenariobasierte Impactanalyse). Des Weiteren müssen Schwachstellen im System identifiziert werden (Vulnerabilitätsanalyse, Stressszenarien). Dafür ist es unerlässlich, Metriken und Indikatoren zur Bewertung von Verwundbarkeit und

Resilienz zu entwickeln, um systematisch nach Schwachstellen zu suchen, Nutzen von Investitionen zu bewerten oder festzustellen, inwieweit bestimmte Maßnahmen den Grad der Resilienz eines Systems beeinflussen.

Vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse

Bei diesem Handlungsfeld geht es darum, Stressoren abzubauen bzw. ihre Wirkung zu begrenzen. Präventive Maßnahmen, wie etwa Klimapolitik, zielen darauf ab, Ursachen zu bekämpfen und dadurch Gefahren zu verhindern, bevor diese überhaupt erst entstehen. In Zeiten zunehmender systemischer Risiken und multipler Krisen reicht Ursachenbekämpfung nicht mehr aus. Die Akzeptanz von Unsicherheit erfordert, Vorkehrungen für Krisen zu treffen. Eine Option besteht beispielsweise im Ausbau der Widerstandsfähigkeit kritischer Infrastrukturen gegen Störereignisse, etwa durch das Abbauen struktureller Verwundbarkeiten über eine größere Diversifizierung (z. B. von Lieferketten), die Schaffung von Redundanzen (z. B. Lagerhaltung, Backuplösungen) und eine Förderung von dezentralen System- und Steuerungsarchitekturen (z. B. dezentrale Energiewandler und -speicher, die bei großflächigen Ausfällen einen Inselbetrieb sicherstellen). Die Steigerung von Vielfalt und Diversität eines Systems kann dazu beitragen, dass es zu temporären oder dauerhaften Anpassungsreaktionen durch Verlagerungs- und Substitutionseffekte kommt. Beispielhaft ist die Erweiterung von Optionen an Rohstofflieferanten, sodass Lieferabhängigkeiten und Versorgungsrisiken verringert werden. Eine wichtige Rolle bei der Reduzierung der Verwundbarkeit des Gesamtsystems spielt auch die Funktionsfähigkeit einzelner Teilsysteme. Je ausfallsicherer bzw. anpassungsfähiger diese sind, desto geringer ist die Chance, dass über einen Dominoeffekt das Gesamtsystem beschädigt wird.

Auffangen oder Abmildern von bereits eingetretenen Schäden

Bei diesem Handlungsfeld steht die Abmilderung negativer Konsequenzen im Krisenfall im Fokus. Durch das frühzeitige Treffen von Notfallvorkehrungen können die Anpassungsfähigkeiten von Gesellschaften verbessert und die Auswirkungen einer unerwarteten Krise verringert werden. Geeignete Krisenvorbereitungspläne enthalten Sensibilisierungs- und Übungsmaßnahmen mit beteiligten Akteuren. Dabei muss deutlich werden, welche Handlungsoptionen zur Verfügung stehen. Diese Programme können schließlich bewirken, dass eine Gesellschaft die mit Krisen verbundenen Herausforderungen besser bewältigt und negative Auswirkungen in zivilgesellschaftlicher Kooperation vermieden oder abgemildert werden können.

Schaffung von adaptiven Systemen und Strukturen

Eine zentrale Aufgabe der Politik besteht darin, die institutionelle Anpassungs- und Lernfähigkeit von Systemen und Strukturen zu erhöhen und dabei nachhaltigere Strukturen zu schaffen. Langfristige Adaptionsansätze und Maßnahmen, welche die Entwicklungs- bzw. Transformationsfähigkeit adressieren, enthalten z. B. die Auslegung des Gesundheitssystems auf deutlich höhere und regelmäßige Hitzespitzen. Das erfordert sowohl eine kooperative Auseinandersetzung mit komplexen Problemen als auch eine hohe Fähigkeit zu Selbstreflexion, institutionellem Lernen, Kooperationsbereitschaft und Wandel (Fathi 2019). Die Schaffung von diesbezüglichen Kapazitäten und Instrumenten in relevanten Institutionen (Bundestag, Bundesregierung, Ressorts und Behörden) ist daher eine Grundlage für eine resilienzorienteerte Politik. Dazu zählen auch das Anpassen von Entscheidungsprozessen, die Standardisierung von Prozessen oder der Aufbau neuer konsultativer Mechanismen, Behörden und Gremien.

3 Frühwarnsysteme

Viele Politikfelder stehen angesichts immer schnellerer Veränderungen im globalen Maßstab regelmäßig vor großen, anhaltenden Herausforderungen, die sich in oftmals globalen, vernetzten Krisen mit unterschiedlich ausgeprägten nationalen und lokalen Auswirkungen verdichten. Beispielhaft hierfür sind die ökologische, politische und gesellschaftliche Krise im Zusammenhang mit der Erderwärmung, die internationale Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009, die Flüchtlingskrise, die COVID-19-Pandemie, Flutkatastrophen wie in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz im Juli 2021 und nicht zuletzt der am 24. Februar 2022 durch Russland begonnene Krieg und Völkerrechtsbruch gegen die Ukraine.

Die Zunahme politischer, ökonomischer und sozialer Verflechtungen auf globaler Ebene, die in den letzten Jahrzehnten erheblich gestiegene Anzahl beteiligter Akteure sowie die Vielfalt, Veränderlichkeit und Wechselwirkung der mit den Krisen verbundenen Wirkungsverläufe sprechen dafür, dass unerwartete Entwicklungen die Politik auf absehbare Zeit prägen und herausfordern werden (Brozus 2018b). Sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene der Politik steigt vor diesem Hintergrund das Interesse an strategischer Vorausschau, Früherkennung und Frühwarnung.³ Frühwarnsysteme dienen dem frühzeitigen Erkennen von Gefahren, Bedrohungen und Krisen sowie der Warnung davor (Hauff 2009). Sie sollen die politischen Akteure bzw. die Verwaltung dabei unterstützen, auf Grundlage bestmöglicher Daten, Informationen und Einschätzungen im Falle einer nahenden Bedrohung adäquate Entscheidungen zu treffen. Heute existiert eine ganze Reihe unterschiedlicher Frühwarnsysteme, die von der EU, den UN, der WHO, einzelnen Regierungen und Forschungseinrichtungen, aber auch global agierenden Unternehmen betrieben werden. In Deutschland ist die Vorsorge für Gefährdungen und damit auch der Einsatz von Frühwarnsystemen föderal organisiert und ausdifferenziert. Die Länder sind für den Katastrophenschutz zuständig. Auf Bundesebene ist das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) als Fachbehörde des Bundesinnenministeriums (BMI) die zentrale Stelle für den Bevölkerungsschutz in Deutschland. Es betreibt u. a. das gemeinsame Melde- und Lagezentrum des Bundes und der Länder (GMLZ) und das Deutsche Notfallvorsorge-Informationssystem (deNIS) und führt fortlaufend Gefährdungsanalysen des Bundes durch (WD 2007).

Unterschieden werden können indikatorenbasierte Systeme auf der einen und ereignisbasierte Systeme auf der anderen Seite. Während indikatorenbasierte Frühwarnsysteme sich an zuvor definierten, operativen Kennzahlen orientieren, die auf strukturierten Daten basieren, versuchen ereignisbasierte Frühwarnsysteme aus unstrukturierten Daten Ereignisse zu identifizieren, die ein akutes Risiko für Individuen oder Gesellschaften darstellen können. Beispiele für die Anwendung beider Ansätze finden sich etwa im Bereich gesundheitsspezifischer Frühwarnsysteme (WHO 2014) (Kap. 3.2). Neben diesen beiden Arten von Frühwarnsystemen kommen zum Teil auch integrativ miteinander verbundene Systeme zum Einsatz, die mittels unterschiedlicher Ziele, Verfahren und Technologien frühzeitig potenzielle Gefahren, Bedrohungen und Risiken identifizieren sollen. Das durch den Einsatz von Frühwarnsystemen generierte Wissen bildet die Basis und die Voraussetzung für (politische) Entscheidungen und das Einleiten potenzieller (Gegen-)Maßnahmen mit dem Ziel, die Gefahr abzuwehren oder zumindest das jeweilige Worst-Case-Szenario zu verhindern.

Im Folgenden wird ein Überblick über Funktionen, Prozesse, Anwendungsbereiche und Instrumente von Frühwarnsystemen gegeben sowie der Kenntnisstand zu ihrer Leistungsfähigkeit dargestellt.

3.1 Funktionen von Frühwarnsystemen

Ein Frühwarnsystem kann im engeren Sinne als Informations- und Kommunikationssystem verstanden werden, welches Hinweise (als Reize, Impulse oder Informationen) auf Gefährdungen mit zeitlichem Vorlauf vor dem möglichen Eintritt des Gefahrenereignisses identifiziert und signalisiert (Denecke et al. 2022). Weiter gefasst ist ein Frühwarnsystem ein umfassender Ansatz, der alle Aspekte der Frühwarnung umfasst (Moßgraber 2016, S. 26). Eine zentrale Rolle bei der internationalen Debatte über Frühwarnsysteme und der Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses spielt das Büro der Vereinten Nationen für Katastrophenvorsorge (United Nations Office for

³ Die Begriffe Früherkennung und Frühwarnung werden in der Fachliteratur nicht immer trennscharf abgegrenzt und die ihnen jeweils zugrunde liegenden Konzepte überlappen sich teilweise. Im Folgenden wird sich auf den Begriff der Frühwarnung konzentriert.

Disaster Risk Reduction – UNDRR). Das Büro ist die zentrale Anlaufstelle der Vereinten Nationen bei der Umsetzung von Krisen- und Katastrophenvorsorge und unterstützt diesbezüglich alle Mitgliedsländer. Es steht darüber hinaus für den Austausch von Informationen zum Zweck der Verringerung bestehender Risiken u. a. auch durch den Einsatz von Frühwarnsystemen (Kasten 2.1) zur Verfügung.

Laut UNDRR besteht die Kernaufgabe von Frühwarnsystemen darin, Ereignisse und Entwicklungen vorherzusagen, die sich negativ auf die Stabilität der Gesellschaft als Ganzes oder auf Teile der Gesellschaft auswirken. Wichtig ist, dass dem Reaktionssystem Zeit bleibt, sich auf das negative Ereignis vorzubereiten und seine Auswirkungen zu minimieren. Um wirksam zu sein, müssen Frühwarnsysteme nicht nur die politischen Akteure adressieren, sondern die gefährdeten Gemeinschaften aktiv einbeziehen, die Aufklärung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit für Risiken erleichtern, Warnungen wirksam verbreiten und einen ständigen Bereitschaftszustand sicherstellen (UNDRR 2015). Das UNDRR definiert ein Frühwarnsystem konkret als »ein integratives System von Teilsystemen und Prozessen zur Überwachung, Vorhersage bzw. Prognose von Gefahren, zur Bewertung von [bereichsspezifischen] Katastrophenrisiken, zur Kommunikation und zur Vorbereitung auf den Ernstfall. Frühwarnsysteme helfen dabei, dass Einzelpersonen, Gemeinden, Regierungen, Unternehmen und andere in die Lage versetzt werden, rechtzeitig Maßnahmen zu ergreifen, um Katastrophenrisiken im Vorfeld von gefährlichen Ereignissen zu verringern« (UNDRR 2016, S. 17).

Tab. 3.1 Vorlaufzeiten für die Frühwarnung

Sekunden bis Minuten	Stunden bis Tage	Wochen bis Monate	Jahre
Erdbeben	starke Stürme	Dürren	steigender Meeresspiegel
Industrieunfall	Flächenbrand	Extreme Temperaturen	Waldverluste
Staubteufel	Wirbelstürme		Wüstenausbreitung
Tornados	Erdrutsche		Trockenperioden
Sturzfluten (nach abrupten Ereignissen wie Dammbruch)	Überschwemmungen		extreme Niederschläge
	Tsunamis		Bodendegradation
	Vulkanausbrüche		Umweltverschmutzung
	Hitzewelle		
	Epidemien		

Quelle: Moßgraber 2016

Der Faktor Zeit ist von kritischer Bedeutung für eine erfolgreiche Frühwarnung. Was aber früh genau bedeutet, wie eine Warnung tatsächlich aussieht und wie diese erfolgt, ist jeweils kontextabhängig. Ganz allgemein betrachtet bedeutet frühzeitig, dass vor einer potenziellen Gefahr zu einem Zeitpunkt gewarnt wird, an dem noch genügend Zeit für vorbereitende Maßnahmen bleibt und somit ein gewisser Handlungsspielraum gegeben ist. Die gefahrenbezogene Vorlaufzeit ist also ein entscheidendes Merkmal eines Frühwarnsystems, welche aber je nach Anwendungsgebiet höchst unterschiedlich ausfallen kann. So wäre im Sinne einer Warnung vor möglichen klimatischen Risiken 100 Jahre im Voraus frühzeitig, während es bei einer Sturzflut weniger als eine Stunde im Voraus sein kann. In einigen Fällen können Warnungen auch erst ausgegeben werden, wenn die Gefahr bereits absehbar ist, z. B. bei Tornados, welche die Richtung ändern, oder nach einem potenziell Tsunami-erzeugenden Erdbeben. Die Zeit, die vom konkreten Signal bis zum Krisenausbruch zur Verfügung steht, wird somit zum Engpass eines Frühwarnsystems (Matthies 2000).

Im Kontext des Katastrophen- und Bevölkerungsschutzes angesiedelte Frühwarnsysteme zielen im Wesentlichen auf zwei Funktionen: Detektion und Warnung. Die Detektion zielt auf die Früherkennung kurzfristiger Ereignisse wie Wirbelstürme, Erdbeben, Erdrutsche oder auch Vulkanausbrüche. Die Warnfunktion zielt auf die frühzeitige Warnung betroffener Bevölkerungskreise vor solchen Ereignissen. Dabei wollen (und können) sie jedoch lediglich das Ausmaß einer Katastrophe reduzieren, die Katastrophe selbst wird nicht abgewendet.

Im Zusammenhang mit politischen Frühwarnsystemen werden verschiedene Ansätze der Vorbeugung genutzt, von Prävention über Preparedness⁴ bis hin zu Resilienz. Prävention bezieht sich darauf, die durch Früherkennung gewonnenen Einschätzungen in Abwägungsprozesse auf der jeweiligen Entscheidungsebene einfließen zu lassen. Das kann – muss aber nicht – dazu führen, dass sich die operative politische Praxis verändert. »Ein sichtbarer Ausdruck dessen wären Handlungen, die eine Regierung auf Basis von Früherkennung vornimmt, um den erwarteten Eintritt von Ereignissen zu verhindern (Prävention) [...].« (Brozus 2018b)

Preparedness bezieht sich auf konkrete Maßnahmen, die als Vorsichtsmaßnahmen angesichts möglicher Gefahren ergriffen werden. In diesem Sinne sollen die Grundlagen, Handlungsprinzipien sowie Aufbau- und Ablauforganisation für die Führung im Krisenfall spezifisch festgelegt, ausgebildet und geübt werden. In der Praxis gibt es verschiedene Arten, etwa die lokale Notfallbereitschaft oder die von der UN und der EU geförderten Programme »Disaster Preparedness« und »Emergency Preparedness«, mittels derer Folgen von Katastrophen, die in relativ kurzer Zeit verursacht werden, durch vorausschauendes politisches Handeln begegnet werden soll (EM-PAG 2022).

Resilienz wiederum ist durch ein spezifisches dynamisches Verständnis geprägt (Brinckmann et al. 2017) und bedeutet vereinfacht, die Funktion eines Systems auch bei negativen Ereignissen zuverlässig aufrechterhalten oder möglichst schnell in einen funktionsfähigen Zustand zurückführen zu können (Beer/Rammler 2021), wie in Kapitel 2 dargelegt wurde. Resilienzorientierte Frühwarnsysteme fokussieren demnach auf die Vulnerabilität von Systemen im Sinne des Zusammenbruchs von (gesellschaftlichen) Selbstschutzmechanismen, verbunden mit dem Ziel, (gesellschaftliche) Abwehrkräfte zu stärken (Behrendt et al. 2021; Bröckling 2012).

Entlang dieses Spektrums werden die unterschiedlichen Funktionen von Frühwarnung bzw. damit korrespondierend Frühwarnsysteme eingeordnet und diskutiert. Der Katastrophenschutz betont die Früherkennung von Bedrohungsereignissen und dient der Vorbereitung auf den Katastrophenfall. Das Resilienzkonzept betont die Verringerung der Vulnerabilität und den Abbau von Stressoren im Sinne der Prävention. Bei diesem Ansatz geht es darum, Früherkennungssysteme zu nutzen, um Stressoren auszuschalten oder ihre Wirkung zu begrenzen. Wird ihre Wirkung frühzeitig antizipiert, gebietet es die Gefahrenabwehr, deren Eintritt zu verhindern. Präventive Maßnahmen, wie etwa die Klimapolitik, zielen darauf ab, Ursachen zu bekämpfen und Gefahren zu verhindern, bevor diese überhaupt erst entstehen.

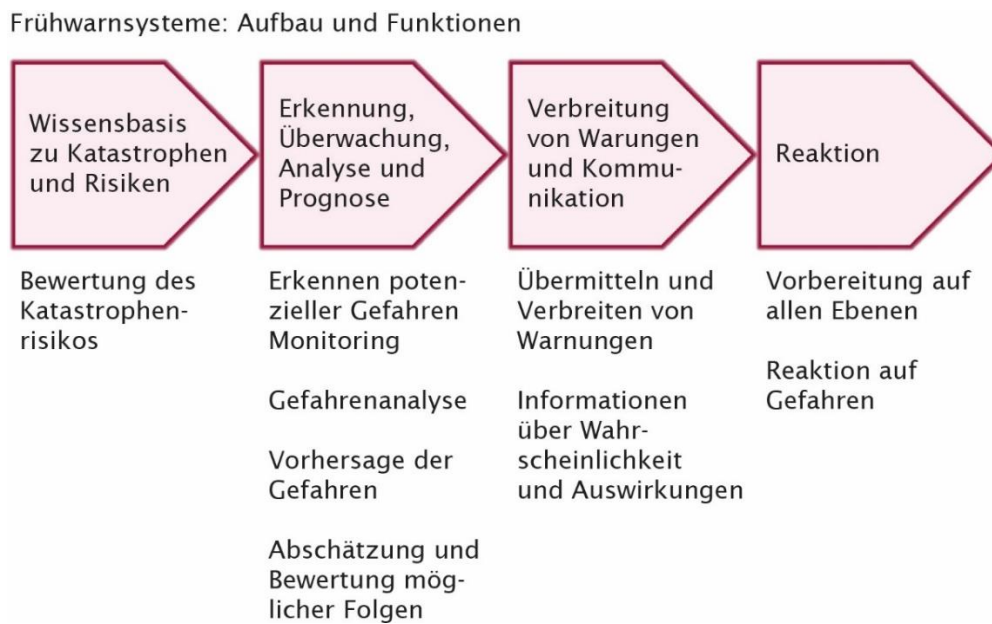
3.2 Prozess der Frühwarnung

Trotz ihrer Heterogenität und unterschiedlicher Anwendungsbereiche wird bei allen Frühwarnsystemen ein bestimmter Prozess durchlaufen, der je nach Fokus in mehrere Phasen eingeteilt werden kann (Luther et al. 2017; UNDRR 2016; Waidyanatha 2010). Die folgende Einteilung in vier Phasen lehnt sich an die Definition des UNDRR (2016) an und berücksichtigt zudem die in Kapitel 3.1 beschriebenen Funktionen von Frühwarnsystemen (Abb. 3.1):

- > Erfassung von Daten und Informationen, um Kenntnis des spezifischen Risikos zu erlangen;
- > Erkennung, Überwachung, Analyse und Prognose der Gefahren und möglicher Folgen auf Basis der erfassten Daten und Informationen;
- > Verbreitung und Kommunikation maßgeblicher, rechtzeitiger und konkreter Warnungen und damit verbundener Informationen über Wahrscheinlichkeit und Auswirkungen;
- > Reaktion auf die eingegangenen Warnungen als Vorbereitung auf allen Ebenen.

⁴ Der in der Fachliteratur verwendete Begriff Preparedness kann ins Deutsche etwa mit Bereitschaft oder Vorbereitung übersetzt werden.

Abb. 3.1 Phasen eines Frühwarnsystems



Eigene Darstellung nach UNDRR 2016

Diese vier Phasen müssen über unterschiedliche Sektoren und mehrere Ebenen hinweg koordiniert werden, damit das System effektiv funktioniert (UNDRR 2016, S. 17).

In der Praxis sind diese Phasen jedoch oft nicht strikt voneinander getrennt, sondern überschneiden sich zum Teil oder finden sogar zeitgleich statt. Unabhängig von der jeweiligen Einteilung dieser Phasen kann festgestellt werden, dass die Relevanz von (politischen) Akteuren graduell über diese Phasen zunimmt. Das bedeutet, dass zu Beginn des Prozesses in den ersten Phasen, insbesondere für das Generieren von Informationen, eine gute Datenlage relevant ist, während in den letzten Phasen die politischen Akteure und deren Entscheidungen für bestimmte Maßnahmen auf Basis des generierten Wissens (= aggregierte Daten) ausschlaggebend sind (Denecke et al. 2022). Frühwarnsysteme können ihrerseits selbst wiederum in komplexe (politische) Prozesse eingebunden werden, wie etwa der vom International Risk Governance Council (IRGC) entwickelte Risikogovernanceansatz veranschaulicht (IRGC 2017) (Abb. 3.2).

Abb. 3.2 Der Risikogovernanceansatz des International Risk Governance Council



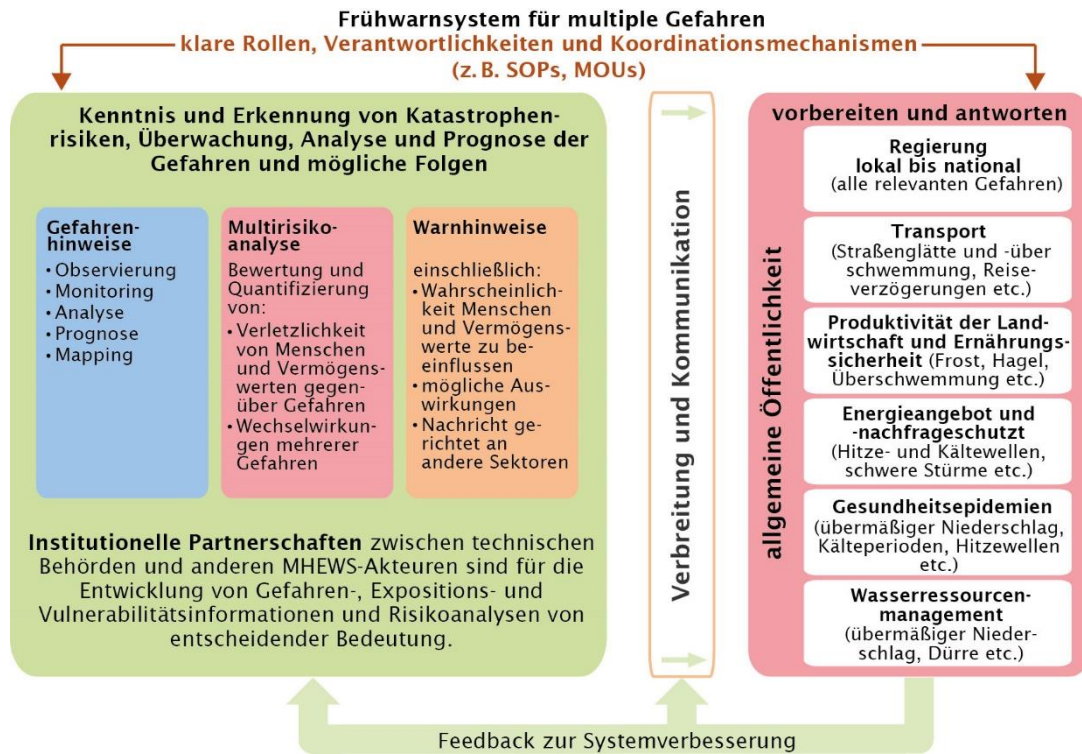
Quelle: nach IRGC 2017

Dieser geht von der Annahme aus, dass Frühwarnsysteme nicht isoliert zu betrachten sind, sondern eingebettet in komplexe Risikosysteme. Er zielt darauf ab, einen kohärenten und integrativen Prozess zur umfassenden Analyse von Risiken bereitzustellen, und differenziert zwischen der Analyse eines Risikos (Risikoabschätzung) und der Entscheidung, wie mit einem Risiko umgegangen werden sollte (Risikomanagement). Bei dem Ansatz werden vier aufeinander aufbauende Schritte verfolgt: Pre-Assessment, Risikoabschätzung, Risikocharakterisierung und -evaluation sowie Risikomanagement. Kommunikation und Partizipation werden in dem Ansatz als zusätzliche Querschnittsthemen angesehen, die integrale Bestandteile aller Phasen sind. Frühwarnsysteme kommen hier vor allem im ersten Schritt (Pre-Assessment) zum Einsatz, sind aber mit den anderen Schritten eng verbunden, rückgekoppelt und vernetzt.

Multi-Hazard Early Warning Systems

Ein systemischer Ansatz zur Warnung von multiplen Gefahren wird durch Multi-Hazard-Frühwarnsysteme (Multi-Hazard Early Warning Systems – MHEWS) verfolgt. MHEWS bewerten mehrere Gefahren und/oder Auswirkungen ähnlicher oder unterschiedlicher Art in Kontexten, in denen gefährliche Ereignisse allein, gleichzeitig, kaskadenartig oder kumulativ im Laufe der Zeit auftreten können. Diese Systeme berücksichtigen die potenziell miteinander verbundenen systemischen Auswirkungen von Risiken. Ein Frühwarnsystem, welches mehrere Gefahren erfassen kann, bezieht Erkenntnisse mehrerer Disziplinen für eine aktuelle und genaue Gefahrenerkennung und -überwachung mit ein und erhöht die Effizienz und Konsistenz der Warnung (Luther et al. 2017, S. 130; UNDRR 2016, S. 17, UNDRR 2015, S. 7 f.). Meteorologische und hydrologische Dienste weltweit haben schon früh MHEWS für wetter- und klimabezogene Gefahren entwickelt und zum Zweck der Frühwarnung eingeführt. Die wichtigsten Komponenten sind auch hier die Datenerfassung, die Analyse, die Warnung und die Reaktion auf diese Warnung (Abb. 3.3). Außerdem muss als weitere Systemkomponente eine kontinuierliche Verbesserung des Systems (z. B. Verbesserung der Datengrundlage, der Visualisierung oder anderen Nutzungsaspekten) auf der Grundlage der Auswertung von Erfahrungen aus dem Routinebetrieb erfolgen (Luther et al. 2017, S. 131; WMO 2018, S. 3).

Abb. 3.3 Frühwarnsystem für multiple Gefahren (MHEWS)



Quelle: nach WMO 2018

Neuere Entwicklungen zielen darauf ab, MHEWS zu erweitern und zu Multi-Hazard-Impact-basierten Frühwarnsystemen (MHIEWS) umzugestalten (Rogers et al. 2020, S. 129). Bei der Gefahrenermittlung und -analyse werden im Idealfall alle Ereignisse und ihre Folgen für gesellschaftliche und wirtschaftliche Systeme erfasst. Dabei werden primäre und sekundäre Gefahren unterschieden. Die primären Gefahren werden direkt durch Naturereignisse verursacht und können nicht in nennenswertem Umfang gemildert werden (z. B. ein Starkregen). Die sekundären Gefahren sind eine Folge oder Auswirkung der primären Gefahr und können oft teilweise gemildert werden (z. B. können bauliche Maßnahmen die Möglichkeit und damit die Folgen einer Überschwemmung in einem städtischen Gebiet verringern, oder es können Krankenhausausrüstungen gelagert werden). Um zu verstehen, wer gefährdet ist, müssen Informationen über Anfälligkeit und Exposition gesammelt und im Rahmen einer Vulnerabilitätsanalyse bewertet werden. Risikomatrizen bzw. Wahrscheinlichkeits- und Auswirkungsmatrizen sind für jede Gefahr und jeden Sektor notwendig. Dies erfordert Kenntnisse über die Gefahr und Expert/innenwissen über die wahrscheinlichen Auswirkungen auf einen bestimmten Sektor. Die Visualisierung von Warnungen erfolgt meist anhand der Darstellung einer geografischen Karte, auf der die Verteilung von Gefahren konkreten Orten zugeordnet ist. Warnhinweise und Aktionspläne bilden die letzte Stufe des Prozesses und setzen Warnungen und Maßnahmen in Beziehung zur Wahrscheinlichkeit einer Auswirkung auf der Grundlage der Auswirkungsrisikomatrix (Rogers et al. 2020, S. 133).

3.3 Anwendungsbereiche von Frühwarnsystemen

Frühwarnsysteme kommen heute in den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten zum Einsatz, in denen eine gesellschaftliche Notwendigkeit zur Gefahrenerkennung und -warnung besteht. Das breite Spektrum reicht von Naturkatastrophen und Starkwetterereignissen über technisch-industrielle Katastrophen, Pandemien und Finanzkrisen bis hin zu Cyberattacken und kriegerischen Konflikten. Dementsprechend vielfältig sind auch die bei Frühwarnsystemen eingesetzten Technologien sowie die jeweiligen Adressaten der Warnungen, zu denen u. a. Politik,

Verwaltung, Städte und Gemeinden, Wirtschaft, Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen, Wissenschaftler, Medien und ganz allgemein die Bevölkerung zählen. Frühwarnsysteme sind zudem immer institutionell verankert und werden in Deutschland meist von Behörden der Bundesministerien betrieben (Tab. 3.2).

Besonders weit verbreitet sind solche Systeme im Bereich der Warnung vor Naturkatastrophen, wie etwa Erdbeben, Stürme, Vulkanausbrüche und Starkregenereignisse, die zu Hochwasserständen und letztendlich Überschwemmungen führen können, oder außergewöhnliche Hitzeperioden, die zu einer unmittelbaren Gefährdung für anfällige Personen werden und eine erhöhte Waldbrandgefahr zur Folge haben. Grundlage für die Warnung vor gefährlichen Wetterlagen sind die Verarbeitung und Analyse meteorologischer Daten. In Deutschland erfolgen entsprechende Warnungen durch den DWD. Warnungen vor Naturkatastrophen und Gefahrenlagen jeglicher Art werden zudem vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BKK) als Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums des Inneren und für Heimat (BMI) und als das zentrale Organisationselement für die zivile Sicherheit herausgegeben. Im Bereich der Frühwarnung entwickelte und betreibt das BBK das »Modulare Warnsystem« (MoWaS) sowie die »Notfall-Informations- und Nachrichten-App« (NINA), in der Wetterwarnungen des DWD sowie Hochwasserinformationen der zuständigen Stellen der Bundesländer integriert sind (BBK 2016, 2022b).

Im Gesundheitsbereich werden Frühwarnsysteme dazu eingesetzt, um beispielsweise die Entwicklung möglicher Epidemien oder Pandemien zu antizipieren, wie bei der COVID-19-Pandemie. Die Sammlung der Daten erfolgt in Deutschland über die Gesundheitsämter, die Datenanalyse sowie das Monitoring potenziell gefährlicher Entwicklungen durch das Robert Koch-Institut (RKI) als nachgelagerte Behörde des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) und im engen Austausch mit der WHO (Weiteres dazu in Kap. 4).

In der Finanzwirtschaft dienen Frühwarnsysteme dem Erkennen bedrohlicher Entwicklungen, um möglichen Finanzkrisen präventiv begegnen zu können. Die Frühwarnung wird auf deutscher Ebene durch das Bundesamt für Finanzaufsicht (BaFin) überwacht. Um frühzeitig Anzeichen einer möglichen bevorstehenden Finanzkrise zu identifizieren, werden unterschiedliche analytische Ansätze, wie z. B. der Signalansatz oder das multivariate Logit-/Probit-Modell⁵, verfolgt. In jüngster Zeit kommen vermehrt maschinelle Lernverfahren, wie etwa Klassifikationsbäume, zum Einsatz (Caggiano et al. 2016; Wang et al. 2021; Weisfeld et al. 2020). Zudem wird die Kapitalausstattung von Großbanken in der EU im Rahmen von Stresstests der Europäischen Zentralbank (EZB) und in Deutschland durch den Deutschen Bankenverband für alle Privatbanken untersucht (EZB 2022).

Tab. 3.2 Übersicht über Anwendungsbereiche von Frühwarnsystemen

Bereich	Institutionen (Beispiele)	Frühwarnsysteme (Beispiele)
Naturkatastrophen	Bundesamt für Bevölkerungsschutz- und Katastrophenhilfe	modulares Warnsystem, europäisches Waldbrandinformationssystem
Starkwetterereignisse	Deutscher Wetterdienst, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, World Meteorological Organization	Climate Watch System, Meteoalarm
Epidemien und Pandemien	Robert Koch-Institut, World Health Organization	Deutsches Elektronisches Melde- und Informationssystem für den Infektionsschutz, Global Outbreak Alert and Response System
Finanzwirtschaft	Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, Europäische Zentralbank	Data Intelligence Unit, Own Risk and Solvency Assessment

⁵ Das Logit-/Probit-Modell ist ein ökonometrisches Schätzverfahren, mit dem der Einfluss mehrerer erklärender Variablen auf eine Zielgröße als abhängige Variable geschätzt wird (DIW o.J.).

Bereich	Institutionen (Beispiele)	Frühwarnsysteme (Beispiele)
technisch-industrielle Katastrophen (z. B. Havarien von Atomkraftwerken)	Bundesamt für Strahlenschutz, Umweltministerien der Länder, Internationale Atomenergieorganisation	Mess- und Informationssystem, Realtime Online Decision Support System
Rohstoffe	Deutsche Rohstoffagentur, (DERA), Bundesanstalt für Rohstoffe und Geowissenschaften (BGR)	Rohstoffmonitoring und Rohstoffrisikobewertung der Deutschen Rohstoffagentur
Cyberkriminalität und IT-Sicherheit	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI)	Warn- und Informationsdienst beim Computer Emergency Response Team Bund
Desinformation	Bundesministerium der Verteidigung, Europäischer Auswärtiger Dienst	»Propaganda Awareness« bei der Bundeswehr, »EUvsDesinformation« der East StratCom Task Force im Europäischen Auswärtigen Dienst
Terrorismus	Bundeskriminalamt, Bundesnachrichtendienst	Gemeinsames Terrorismusabwehrzentrum
kriegerische Konflikte und Kriege	Bundesministerium der Verteidigung, NATO	Airborne Early Warning System

Eigene Zusammenstellung

Im Kontext technisch-industrieller Katastrophen, wie etwa im Falle der Havarie eines Atomkraftwerks, kommen ebenfalls Frühwarnsysteme zum Einsatz. So betreibt das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ein integriertes Mess- und Informationssystem (IMIS), um im Fall einer radioaktiven Gefahr schnell notwendige Informationen bereitstellen zu können. Um in der Frühphase eines Ereignisses Prognosen abgeben zu können, nutzt das BfS das Entscheidungshilfe- und Prognosemodell »Realtime Online Decision Support System« (RODOS). Damit lassen sich vor Eintreffen einer radioaktiven Wolke die zu erwartende Kontamination der Umwelt und die daraus resultierende Strahlenbelastung abschätzen. Solche Berechnungen bilden die Basis für Entscheidungen über erforderliche Empfehlungen und Maßnahmen (BfS 2013). Weitere Instrumente der Frühwarnung in diesem Bereich sind etwa das Kernkraftwerks-Fernüberwachungssystem sowie die radiologische Fernüberwachung kerntechnischer Anlagen, die in den Zuständigkeitsbereich der jeweiligen Umweltministerien der Länder fallen (LfU o.J.; LANUV 2022).

Zur Beobachtung möglicher kritischer Entwicklungen bei Rohstoffen und deren Verfügbarkeit führt die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) ein kontinuierliches Rohstoffmonitoring durch und nimmt Rohstoffrisikobewertungen vor. Im Rahmen des Monitorings werden Preisentwicklungen und Angebots- und Nachfragetrends für primäre mineralische Rohstoffe und ausgewählte Zwischenprodukte beobachtet, um deutsche Unternehmen frühzeitig auf kritische Entwicklungen auf den Rohstoffmärkten hinzuweisen. Zudem leistet die DERA Unterstützung bei der Entwicklung möglicher Ausweichstrategien (DERA 2022).

Das Computer Emergency Response Team (Computer-Notfallteam) der Bundesverwaltung (CERT-Bund) ist die zentrale Anlaufstelle für präventive und reaktive Maßnahmen, wenn es zu sicherheitsrelevanten Vorfällen in Computersystemen der deutschen Bundesbehörden kommt. Dazu betreibt das CERT-Bund den Warn- und Informationsdienst WID, worüber laufend Informationen zu Schwachstellen und Sicherheitslücken sowie aktuellen Bedrohungen für IT-Systeme veröffentlicht werden. Hauptadressat für diesen Dienst ist die Bundesverwaltung, aber auch Unternehmen kritischer Infrastrukturen sowie Bürger/innen können die herausgegebenen Meldungen abrufen (BSI 2022).

Neben den genannten Anwendungsgebieten werden Frühwarnsysteme auch in Bereichen kriegerischer Auseinandersetzungen und Konflikte eingesetzt. Der Bereich der gezielten Desinformation kann als eine spezielle Form der Cyberattacke und als solches als Mittel der hybriden Kriegsführung angesehen werden (BMVg 2020).

Um frühzeitig gezielte Desinformation aufzudecken, die sich gegen die Bundeswehr in ihren Einsatzgebieten richtet, wird seit 2018 das Frühwarnsystem »Propaganda Awareness« durch die Bundeswehr betrieben. Auch das Auswärtige Amt kooperiert mit internationalen Partnern, um Desinformationen und andere Gefahren im Bereich von Cyberattacken und hybrider Kriegsführung frühzeitig zu erkennen (Bundesregierung 2023a). Im Bereich der Terrorismusbekämpfung werden Frühwarnsysteme genutzt, etwa über das gemeinsame Terrorismusabwehrzentrum im Zuständigkeitsbereich des Bundeskriminalamtes (BKA). Vor Gefahren durch konventionelle Kriegsführung bzw. kriegerische Konflikte wird beispielsweise durch das von der Nato (SHAPE o. J.) betriebene »Airborne Warning and Control System« (AWACS) gewarnt.

3.4 Technologische Dimensionen von Frühwarnsystemen

Die den einzelnen Frühwarnsystemen zugrunde liegenden Technologien sind zum Teil sehr unterschiedlich. Allerdings basieren die Funktionen vieler der gegenwärtig eingesetzten Frühwarnsysteme auf dem grundlegenden Verständnis des UNDRR. Auf dieser Basis haben (Meissen/Voisard 2010) eine Einteilung in vier unterschiedliche Systemtypen vorgenommen. So können Frühwarnsysteme hinsichtlich ihrer technologischen Dimensionen in Überwachungs-, Gefahrenerkennungs-, Risikoanalyse- und Warnsysteme differenziert werden (Li et al. 2019, S. 5009 ff.; Moßgraber 2016, S. 118; Meissen/Voisard 2010, S. 514 ff.):

- › *Überwachungssysteme* (Monitoring Systems) haben das Ziel, vordefinierte Indikatoren durch Messungen oder Schätzungen in einer bestimmten Häufigkeit zu beobachten und diese Messungen in einem bestimmten Informationsformat bereitzustellen. Die Messinformationen werden von physischen Sensoren, virtuellen Sensoren oder Sensorsystemen geliefert.
- › *Gefahrenerkennungssysteme* (Hazard Detection Systems) sind für die Erkennung von Gefahrenherden und die Abschätzung der sich daraus ergebenden Gefahrensituationen notwendig, wobei beides auf der Grundlage der Informationen von Überwachungssystemen basiert. Systeme dieser Art sollen primär ein Signal für eine Gefahrenbedrohung produzieren.
- › *Risikoanalyssysteme* (Risk Assessment Systems) schließen unmittelbar an die Gefahrenerkennungssysteme an bzw. sind in diese Systeme integriert. Sie basieren auf Indikatoren, um identifizierte Gefahren bezüglich des Risikos und des Schadenpotenzials einzuordnen. Im Zuge der Analyse werden auf der Grundlage einschlägiger nationaler und internationaler Normen und Richtlinien sowie bereichsspezifischer Schwellenwerte Risikoeinschätzungen durch Expert/innen vorgenommen.
- › *Warnsysteme* (Warning Systems) sind auf die Generierung gezielter Warnungen aus den Gefahren- und Risikoinformationen sowie deren effiziente Verbreitung ausgerichtet. Die Warnung von Entscheidungstragenden und der Bevölkerung ist ein integraler Bestandteil des Katastrophen- und Notfallmanagements, insbesondere für die Einleitung/Ermöglichung von Reaktionsmaßnahmen.

Viele der aktuell eingesetzten Frühwarnsysteme vereinen alle vier Systemtypen und sind daher als Systeme von Systemen anzusehen, also als eine Anordnung von Systemen, wobei einzelne und voneinander unabhängige Systeme in ein größeres System integriert werden. Dieses bietet neue Funktionalitäten, die in den Einzelsystemen nicht vorhanden sind. Für das Frühwarnsystem als System von Systemen spielen neben diesen vier Systemtypen auch Untersysteme, wie Vorhersage-, Kommunikations-, Notfallreaktions- und Rückmeldesysteme, sowie deren rechtliche und institutionelle Grundlage und die beteiligten Personen eine relevante Rolle (Luther et al. 2017, S. 132; Moßgraber 2016, S. 45; Moreira et al. 2018, S. 407 f.).

Im Folgenden werden relevante Technologien der vier Typen von Frühwarnsystemen näher betrachtet, wobei die Ebene der Untersysteme aufgrund der Heterogenität technischer Lösungen nicht systematisch dargelegt werden kann.

Überwachungssysteme

Ein Überwachungssystem erhält seine Beobachtungsdaten von Sensoren bzw. Sensorsystemen. Im Unterschied zu einem einzelnen Sensor oder einem Sensorsystem betrachtet ein Überwachungssystem auf dieser Datengrundlage situative Indizes auf einer höheren Abstraktionsebene. Dies können die Verkehrs- oder die Wettersituation,

Vulkanaktivitäten, tektonische Bewegungen, der Grad der Luftverschmutzung, die Gesundheitssituation eines Patienten im Krankenhaus oder der Gesamtbevölkerung sein (Meissen/Voisard 2010, S. 514 f.).

Sensoren bzw. Sensorsysteme unterscheiden sich je nach Überwachungskontext und reichen von physischen Sensoren, beispielsweise für die Überwachung von Wetterereignissen oder Erdbebenaktivitäten (Satelliten, Kameras, Schwingungssensoren etc.), bis hin zu virtuellen Sensoren, die Zielgrößen in industriellen Prozessen oder bezogen auf Börsenkursaktivitäten überwachen. Im Rahmen eines Überwachungssystems können stationäre physische Sensoren, Drohnen als bewegliche physische Sensoren, aber auch vorhandenen Sensoren von Mobilgeräten in Sensorsysteme integriert werden. Menschen können – im Sinne einer Metapher – ebenfalls als Sensoren verstanden werden, indem etwa situationsbezogene Beiträge bzw. Signale in den sozialen Medien (beispielsweise »Crisis Response« von Facebook⁶) überwacht werden und als Beobachtungsdaten einbezogen werden (Ilukkumbure et al. 2021, S. 253 f.; Moßgraber 2016, S. 119; Furutani/Minami 2021, S. 51 ff.; Peng et al. 2021, S. 11).

Wichtige Verarbeitungsschritte innerhalb von Überwachungssystemen sind die Datenfilterung und -fusionierung, um Einzeldaten zu bereinigen und zu Indizes zusammenzufassen. Dies umfasst klassische statistische, aber auch Big-Data-Verfahren, um unvollkommene Datensätze zu identifizieren und zu korrigieren, Datenrauschen und redundante Stichproben zu entfernen oder fehlende Werte zu ergänzen und so Big Data in Smart Data umzuwandeln (Triguero et al. 2018, S. 4). Um zunächst neutrale Beobachtungen zu ermöglichen, sollten weitere Verarbeitungsschritte für spezifische Analysen dabei nicht innerhalb des Überwachungssystems durchgeführt werden, sondern in den nachgelagerten Gefahrenerkennungs- und Risikoanalysesystemen (Meissen/Voisard 2010, S. 515).

Gefahrenerkennungs- und Risikoanalysesysteme

Ein Gefahrenerkennungssystem produziert ein Signal, um ein Situationsbewusstsein für eine Bedrohung zu schaffen. Gefahrenerkennungssysteme sind immer ein integraler Bestandteil eines Frühwarnsystems. Die Gefahrenerkennung kann vollautomatisch, halbautomatisch mit Kontrolle durch menschliche Expert/innen oder ausschließlich durch menschliche Expert/innen erfolgen.

Die Kernaufgabe eines Gefahrenerkennungssystems besteht darin, innerhalb der Beobachtungsinformationen Indikatoren für eine mögliche Gefahrenbedrohung zu ermitteln. Diese Indikatoren können einzelne Werte oder komplexe Muster sein. In diesem Zusammenhang kann auf verschiedene Erkennungsmethoden zurückgegriffen werden, die von einer einfachen Schwellenwertprüfung bis hin zu komplexeren Algorithmen und KI-Systemen für die Erkennung von Mustern reichen.⁷ So werden beispielsweise durch den Fortschritt auf dem Gebiet der Mustererkennung und der künstlichen Intelligenz maschinelle Lernverfahren zur Vorhersage von Niederschlägen eingesetzt (Denecke et al. 2022; Moßgraber 2016; Moon et al. 2019).

Als Ergebnis aus dieser Analyse ergeben sich unterschiedliche Szenarien, die in einem nächsten Schritt durch Plausibilitätsbetrachtungen in ihrer Anzahl eingeschränkt werden. Da die Einschränkung der Risikoszenarien viele normative Bezüge hat, wird dieser Auswahlprozess in der Regel von einem menschlichen Experten geleitet oder vollständig durchgeführt, um eine adäquate und gesellschaftsrelevante Grundlage für die Risikoanalyse zu generieren (Meissen/Voisard 2010, S. 515 f.). Neben einer expert/innenbasierten Risikoeinschätzung sind auch Risikomodellierungen auf der Grundlage der Annahme linearer Risikotrends möglich. Dabei wird ein spezifisches Schadenspotenzial unter Berücksichtigung eines oder mehrerer definierter Risikoschwellwerten modelliert, wobei ein gesellschaftlicher Teilbereich als gefährdet gilt, wenn das Schadenspotenzial einen oder mehrere Risikoschwellwerte übersteigt (Gong et al. 2020, S. 101396).

Warnsysteme

Warnsysteme haben die Aufgabe, gezielte Warnungen aus den ermittelten Gefahren- und Risikoinformationen zu generieren, und sind für deren effiziente Verbreitung verantwortlich. Somit sind Warnsysteme die Grundlage für die Initialisierung erster Reaktionsmaßnahmen (Meissen/Voisard 2010, S. 516).

⁶ <https://de-de.facebook.com/help/516656825135759> (4.6.2024)

⁷ Die Anwendungsmöglichkeiten von KI im Bereich der Frühwarnsysteme stellen ein besonders dynamisches Forschungsfeld dar. Beispielhaft dafür steht etwa das 2021 gestartete Forschungsprojekt »KI-Frühwarnsystem zur Stabilisierung der Wirtschaft für bedrohliche Krisensituationen« (Fraunhofer HHI 2021).

Anhand von Kriterien, die in der Warnstrategie festgelegt sind, können die Empfänger der Warnmeldungen ausgewählt werden. Dabei kann es sich um politische Entscheidungsträger, Behörden, Einsatzkräfte in gefährdeten Gebieten oder die betroffene Bevölkerung handeln. Die Auswahl der Empfänger (große Gruppen bis hin zu einzelnen Empfängern) hängt von der beabsichtigten/geplanten Reaktionsstrategie und den verfügbaren Alarmierungstechnologien ab.

Das »Common Alerting Protocol« (CAP) dient dazu, Informationen über jede Art von Gefahrensituation zu übermitteln. Eine mit dem CAP-Standard formatierte Nachricht kann über Fernsehen, Radio, Mobiltelefon, Fax, Straßenschilder, E-Mail, das Internet etc. übertragen oder wiedergegeben werden. Die Nachricht kann z. B. über Starkwetterereignisse, Brände, Erdbeben, Vulkanausbrüche/-aktivitäten, Erdbeben, Krankheitsausbrüche, Luftqualitätsbeeinträchtigungen, Verkehrsprobleme oder Stromausfälle informieren (Bopp et al. 2021, S. 68; Rogers et al. 2020, S. 136 f.).

3.5 Leistungsgrenzen von Frühwarnsystemen

Viele Frühwarnsysteme sind so angelegt, dass ihr Fokus auf Warnungen vor punktuellen Gefahrenlagen liegt. Sie sind in der Lage, vor einzelnen Bedrohungen mehr oder weniger frühzeitig zu warnen, berücksichtigen jedoch häufig keine Kaskadeneffekte. MHEWS und ihre Weiterentwicklung zu MHIEWS bieten hierzu Ansätze, konzentrieren sich allerdings üblicherweise auf Naturkatastrophen und damit zusammenhängende mögliche Folgewirkungen. Rogers et al. (2020) weisen darauf hin, dass die Anwendung des Prinzips von MHIEWS zumindest auch im Bereich von Epidemien und Pandemien eine Möglichkeit darstellt.

Tendenziell werden systemische Risiken eher unterschätzt und erhalten trotz ihres Katastrophenpotenzials nicht die gleiche Aufmerksamkeit wie singuläre katastrophale Ereignisse. Hinzu kommt die Beobachtung, dass sich Früherkennungssysteme überwiegend mit Risiken befassen, die bekannt, gut beschreibbar und als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß quantifizierbar sind (Renn 2017, S. 14). Für unbekanntere Bedrohungen und quantitativ unkalkulierbare Risiken hat Taleb (2016) den Begriff »schwarze Schwäne« geprägt. Dabei handelt es sich um überraschende Vorfälle oder Entwicklungen, deren zentrale Eigenschaft es ist, dass sie potenziell wirkmächtig, aber sehr unwahrscheinlich sind. Eine wesentliche Rolle spielen in diesem Zusammenhang mögliche Kipppunkte, wie sie schon länger für das Klimasystem diskutiert und untersucht werden. Bereits das Überschreiten einzelner Kipppunkte kann weitreichende Umweltauswirkungen haben, die die Lebensgrundlage vieler Menschen gefährden. Es besteht zudem das Risiko, dass durch Rückkopplungsprozesse weitere Kipppunkte im Erdsystem überschritten werden und so eine dominoartige Kettenreaktion ausgelöst wird.⁸ Mittlerweile wird das Konzept von Kipppunkten auch im Kontext von sozialen Systemen diskutiert (Vogt 2018).

Ein weiteres, ganz zentrales Problem der Frühwarnung liegt in der Verknüpfung von wissenschaftlicher Analyse, politischer Bewertung und politischer Aktion. Nur wenn die im Rahmen eines Frühwarnsystems gewonnenen Erkenntnisse rechtzeitig in den politischen Entscheidungsprozess einfließen, schließt sich der Kreis zwischen Frühwarnung und Prävention. Daher müssen wissenschaftlich abgestützte Erkenntnisse als präzise Handlungsvorschläge an die richtigen Adressaten in Politik und Verwaltung weitergeleitet und von diesen in adäquate Handlungen umgesetzt werden, um die Lücke zwischen Early Warning und Early Action zu schließen (Denecke et al. 2022; Matthies 2000).

Zu diesem zentralen Problem kommen weitere Schwierigkeiten, wie der Informationsüberfluss (Kaufhold et al. 2020; Černý et al. 2021) der durch eine riesige Menge an Daten bei großskaligen negativen Ereignissen erzeugt werden kann. Im Falle solcher Ereignisse müssen sich Entscheidungstragende und Einsatzkräfte aber schnell einen umfassenden Überblick über die Lage verschaffen, um Maßnahmen und Entscheidungen treffen zu können. Daher besteht Bedarf an Systemen, die die Bereitstellung einer überschaubaren Menge hochwertiger Informationen in Krisensituationen gewährleisten. Zukünftig könnten KI-Systeme unstrukturierte Datenmengen nach Relevanz und Informationsqualität sortieren, um die Entscheidungsfindung im Krisenfall zu erleichtern (Černý et al. 2021; Kaufhold et al. 2020, S. 319).

Genauso problematisch ist eine Informationsarmut bzw. eine mangelhafte Datenqualität. Gerade die Frühwarnsysteme der WHO haben im Rahmen der COVID-19-Pandemie gezeigt, dass eine geringe Qualität der Informationen zu einer unzureichenden Analyse, Interpretation und Bewertung der Gefahrenlage führt. Im Bereich

⁸ Weitere Ausführungen zum Charakter von Kipppunkten PIK (o. J.).

der Datenqualität besteht also weiterhin ein großer Optimierungsbedarf, um die Leistungsfähigkeit von Frühwarnsystemen zu steigern (Xu/Wilson 2021, S. 504).

(Zweck et al. 2015) machen darüber hinaus auf die Problematik von Wahrnehmungsfiltern (Bias) aufmerksam, die für die Leistungsfähigkeit von Frühwarnsystemen hinderlich sind. Belegt ist, dass Wahrnehmungsfilter und Beurteilungsverzerrungen seitens derjenigen Organisationen, die Früherkennung veranlassen und Früherkennungssysteme betreiben, möglicherweise relevante Ereignisse, Entwicklungen und Themen ausblenden. Begrenzte Ressourcen führen zu einer Einschränkung der Beobachtung (Surveillance Filter). Des Weiteren prägen Routinen in Organisationen (Power Filter) sowie Denkstrukturen und Erfahrungen von Entscheidern (Mentality Filter) die Auswahl und Bewertung von Beobachtungen. Zudem lassen sich typische Mechanismen unterscheiden, die eine Fehlbeurteilung von Beobachtungen begünstigen: Die Suche nach Bestätigung für eigene Vermutungen (Confirming Trends Bias), Bevorzugung von positiven Trends (Overconfidence), Überschätzung der Vorhersagbarkeit (Overprediction). Diese Filter gilt es in Frühwarnsystemen systematisch zu erkennen und mit Maßnahmen zu adressieren (Zweck et al. 2015, S. 20 ff.).

4 Reallabor Corona – Erfahrungen mit Frühwarnsystemen in der COVID-19-Pandemie

Krankheitserreger wie Viren, Bakterien, Pilze und Parasiten haben weltweit immer wieder Pandemien, Epidemien und Endemien ausgelöst. Als Endemie gilt eine Infektionskrankheit, die regional begrenzt ist, immer wieder auftritt und von der ein größerer Teil der Bevölkerung regelmäßig erfasst wird. Typische Beispiele für eine Endemie sind das Ebolafieber, eine Viruserkrankung, die in einigen Teilen von Afrika verbreitet ist, sowie Malaria. Tritt eine Infektionskrankheit in einem regional begrenzten Gebiet für einen begrenzten Zeitraum mit einer überdurchschnittlichen Fallzahl auf, handelt es sich um eine Epidemie. Eine Pandemie bezeichnet hingegen eine interkontinentale Ausbreitung eines Krankheitserregers, welcher mangels vorhandener Resistenzen ein hohes Risiko für die Weltbevölkerung darstellt. Typische Beispiele sind die Spanische Grippe (1918/1919), die Asiatische Grippe (1957/1958), die Hongkong-Grippe (1968/1969), aber auch HIV/Aids sowie zuletzt die COVID-19-Pandemie. Deutlich ist, dass auch in Europa und in Deutschland Epidemien und Pandemien bis heute ein gravierendes Problem sind. Entsprechend wichtig ist daher die Überwachung neuartiger Ausbrüche von Krankheitserregern und Krankheiten auf nationaler wie globaler Ebene.

4.1 Vor der COVID-19-Pandemie vorliegende Erkenntnisse in Deutschland

Bereits vor 2020 lagen auch den deutschen Behörden und der Politik Erkenntnisse und Hinweise auf mögliche Handlungsoptionen vor, aus denen Lehren für den Umgang mit der COVID-19-Pandemie gezogen werden konnten. Diese Erkenntnisse und Handlungsoptionen stammen aus dem nationalen Pandemieplan als präventiv ausgerichtetem Konzept, aus wissenschaftlichen Risikoanalysen sowie aus Übungen, die zu Simulationszwecken durchgeführt wurden; zum Teil resultieren sie aus Erfahrungen mit vergangenen Endemien oder Pandemien. Ein Blick auf die damaligen Erkenntnisse sowie deren Berücksichtigung verweist darauf, in welchen Bereichen evtl. eine bessere Vorbereitung auf die COVID-19-Pandemie hätte erfolgen können und in welchen Bereichen sich die Bedingungen in der aktuellen Pandemie tatsächlich besonders unerwartet oder sogar unvorhersehbar entwickelt haben.

Die den Behörden vor der COVID-19-Pandemie vorliegenden Erkenntnisse stammen vor allem aus vier Aktivitäten (Denecke et al. 2022):

- > Die 2007 durchgeführte »Länderübergreifende Krisenmanagement-Übung/Exercise« (LÜKEX). Sie hatte eine mittelschwere Grippepandemie als fiktives Übungsszenario im Fokus und einen umfassenden Bericht als Ergebnis.
- > Erfahrungen, die mit den SARS- und MERS-Epidemien 2002/2003 bzw. 2012 und mit der H1N1-Pandemie 2009/2010 gemacht wurden, sowie Maßnahmen, die aus diesen Erfahrungen resultieren.
- > Die Unterrichtung durch die Bundesregierung zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2012, welche eine Pandemie durch das fiktive Virus Modi-SARS beinhaltet, sowie die Unterrichtung durch die Bundesregierung zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2017.
- > Der seit 2005 existierende und zuletzt 2017 aktualisierte Nationale Pandemieplan Deutschlands, welcher den Rahmen für die Pandemiepläne der Bundesländer sowie für Unternehmen der kritischen Infrastrukturen bildet.

Die zentralen Aspekte dieser vier Quellen werden im Folgenden erläutert.

4.1.1 LÜKEX 2007

Seit 2004 werden in Abständen von 2 Jahren Übungen des nationalen Krisenmanagements in Deutschland, genannt LÜKEX-Übungen durchgeführt. Daran nehmen sowohl Mitarbeiter/innen verschiedener zuständiger Ressorts von Bund und Ländern als auch von Unternehmen aus dem Bereich der kritischen Infrastrukturen freiwillig teil und kommen für ein fiktives Krisenszenario zu Übungszwecken zusammen. Ziele der LÜKEX-Übungen sind es, die ressortübergreifende Reaktionsfähigkeit in besonderen Krisenlagen zu verbessern, die Abstimmungs- und Entscheidungskultur in den Organisationen des Krisenmanagements zu fördern und Netzwerke relevanter Akteure auf unterschiedlichen Ebenen und Fachbereichen zu stärken, um besser auf außerordentliche Krisen- und Bedrohungslagen vorbereitet zu sein. Zudem sollen bestehende Pläne auf strategischer Ebene evaluiert werden (BBK 2022a).

2007 wurde eine LÜKEX-Übung durchgeführt, welche als fiktives Übungsszenario eine weltweite Influenzapandemie unter der Prämisse einer 2-monatigen Vorwarnzeit beinhaltete. An der mehrtägigen Übung waren Akteure aus sieben Bundesländern, Bundesbehörden, Unternehmen, Verbänden und Organisationen beteiligt, denen eine Vorbereitungszeit von 18 Monaten zur Verfügung stand. Unterschiedliche Faktoren tragen dazu bei, dass die Bedingungen in der Übung sich nicht gänzlich auf die aktuelle COVID-19-Pandemie übertragen lassen (Denecke et al. 2022). Dazu zählt, dass in dem Übungsszenario bereits ab Beginn der Pandemie ein Impfstoff gegen das Virus zur Verfügung stand und 2007 die schnelle Verbreitung von Nachrichten, aber auch von Desinformationen über das Internet noch nicht so dynamisch erfolgte, wie es 2020 und darüber hinaus der Fall war. Zudem wurden internationale Zusammenhänge beim Krisenmanagement kaum berücksichtigt und stattdessen der Übungsfokus auf das nationale Krisenmanagement von Bund und Ländern gelegt. Wie wichtig aber diese internationalen Zusammenhänge sind, ließ sich bei der COVID-19-Pandemie 2020 u. a. am Beispiel der Lieferengpässe von medizinischen Schutzmasken erkennen.

Dennoch sind mehrere Erkenntnisse aus der LÜKEX-Übung von 2007 beim Vergleich mit den Geschehnissen während der COVID-19-Pandemie relevant (Denecke et al. 2022). Dazu gehört etwa das Fehlen eines umfassenden gesamtgesellschaftlichen Lagebildes unter Einbezug unterschiedlicher Daten (z. B. Daten zur Gesundheitsversorgung, zu Medikamentenvorräten oder Daten von Unternehmen kritischer Infrastrukturen zur Aufrechterhaltung der Grundversorgung), um auf dieser Grundlage Abschätzungen für die weitere Entwicklung treffen zu können. Zur Erstellung eines solchen gesamtgesellschaftlichen Lagebildes wäre ein koordiniertes und verbindliches Bund-Länder-Meldeverfahren im Falle von Krisen notwendig. Weiterhin wurde ein Mangel an strategischen Entscheidungen durch die an der Übung teilnehmenden Krisenstäbe konstatiert, eine mangelnde Abstimmung bei der Anwendung von Maßnahmen sowie Mängel bei der Bedarfsermittlung, Vernetzung und Verteilung von medizinischer Ausstattung. Nicht zuletzt wurde bereits in der Übungsvorbereitung deutlich, dass wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse bezüglich des Nutzens von Barrieremaßnahmen mittels Mund-Nasen-Schutz (MNS) bzw. Masken für die Allgemeinbevölkerung fehlen. Die damals als unverzichtbar eingestufte Durchführung entsprechender epidemiologischer Studien für die Weiterentwicklung resultierender Empfehlungen wurde nicht veranlasst, dementsprechend standen zu Beginn der COVID-19-Pandemie keine Erkenntnisse zur Verfügung. Daraus ist zu schließen, dass bereits vorliegende Erkenntnisse seitens der Politik möglicherweise nicht wahrgenommen oder aus anderen Gründen nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Dieses Manko wurde auch während des öffentlichen Fachgesprächs »Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken«, das im Zusammenhang mit dem vorliegenden Bericht am 22. Juli 2022 im Deutschen Bundestag durchgeführt wurde, von den geladenen Expert/innen und Bundestagsabgeordneten thematisiert (TAB 2022).

4.1.2 SARS/MERS/H1N1

Sowohl von der SARS-Epidemie von 2002 und 2003, die mit dem Ausbruch im November 2002 in Südchina begann, als auch von der MERS-Epidemie, die 2012 auf der arabischen Halbinsel ausbrach, war Deutschland nur sehr gering betroffen. Lediglich neun wahrscheinliche Fälle von SARS und gerade einmal drei bestätigte Fälle von MERS wurden bei Menschen in Deutschland bekannt (RKI o. J. b). Anders verhielt es sich bei der auch als Schweinegrippe bekannten H1N1-Pandemie von 2009/2010, deren erste Fälle im April 2009 in den USA entdeckt wurden und deren Ursprung in Mexiko vermutet wird. Das Virus verbreitete sich rasch auch in Deutschland und

führte hier zu mehr als 220.000 Infizierten und über 250 Todesfällen. Allerdings zeigte sich, dass der Krankheitsverlauf von H1N1 wesentlich milder war als zunächst befürchtet. Zudem wurde innerhalb kurzer Zeit ein Impfstoff entwickelt und bereits im September 2009 in Europa zugelassen. Jedoch gab es zunächst logistische Schwierigkeiten bei der Impfstoffverteilung und auch Ängste der Bevölkerung vor dem Impfstoff Pandemrix des britischen Pharmakonzerns Glaxo Smith Kline (GSK), der mit einem im Vergleich zu alternativen Impfstoffen gegen H1N1 nebenwirkungsstarken Wirkverstärker ausgestattet war (Budde 2020). Nahezu zeitgleich mit der Verteilung des Impfstoffes in die Arztpraxen waren die Impfbereitschaft in der Bevölkerung und auch die Fallzahlen bereits wieder gesunken (Krause et al. 2010). Später mussten dann zahlreiche Dosen aufgrund des erreichten Haltbarkeitsdatums vernichtet werden. Dies führte zu einer öffentlichen Diskussion über eine mögliche Ressourcenverschwendung durch die Bundesregierung (Katenkamp 2011), warf aber auch grundlegende Fragen zur Transparenz von Informationen auf, insbesondere dazu, wann öffentliche Gesundheitsbehörden verpflichtet sind, die Öffentlichkeit vor möglichen Schäden durch Impfstoffe zu warnen (Der Standard 2018).

Aus diesen vorangegangenen Epidemien bzw. vor allem der H1N1-Pandemie und aus dem Umgang mit ihnen in Deutschland konnten wichtige Erkenntnisse für den Umgang mit der COVID-19-Pandemie gewonnen werden. Eine strikte Nachverfolgung und Isolierung von Verdachtsfällen stellte sich als besonders effektiv zum Durchbrechen der Infektionskette heraus. Im Bereich der Frühwarnung wurde die Notwendigkeit einer besseren Erfassung von schweren Krankheitsverläufen und der Gesamtmortalität erkannt (Krause et al. 2010). Insgesamt aber führten die vergleichsweise geringen Fallzahlen von SARS und MERS sowie der vergleichsweise milde Verlauf von H1N1 vermutlich zu einer Überschätzung der eigenen Fähigkeiten zu Beginn der COVID-19-Pandemie. So wurde noch zu Beginn 2020 in den Medien häufig der Standpunkt vertreten, man habe aus den vergangenen Ereignissen gelernt und sei in Deutschland gut aufgestellt (Albrecht 2020; Álvarez et al. 2020; Vitzthum 2020).

4.1.3 Unterrichtungen durch die Bundesregierung zur Risikoanalyse 2012 und 2017

Im Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2012 wird das fiktive Szenario einer weltweiten Pandemie durch einen neuen von Asien ausgehenden hypothetischen Virus beschrieben, der als Modi-SARS-Virus bezeichnet wird. In dem Szenario wird von der Annahme ausgegangen, dass mehrere mit dem Virus infizierte Personen nach Deutschland einreisen, bevor die WHO eine offizielle Warnung an die deutschen Behörden richtet (Bundesregierung 2013, S. 5). Dieses fiktive Szenario, das vor dem Hintergrund der Erfahrungen mit SARS und MERS entworfen wurde, weist deutliche Parallelen zum Beginn der COVID-19-Pandemie in Deutschland auf. Auch die unter fachlicher Leitung des RKI durchgeführte Risikoanalyse des Szenarios weist auf Probleme und Gefahren hin, die später, während der COVID-19-Pandemie, tatsächlich eine wichtige Rolle spielten. Dazu zählen etwa Engpässe bei der Versorgung mit Masken oder Desinfektionsmitteln, aber auch die Möglichkeit der fehlenden Akzeptanz in der Bevölkerung für restriktive Maßnahmen und Einschränkungen im Falle einer unzureichenden oder widersprüchlichen Kommunikation seitens der Politik (Bundesregierung 2013, 67ff). Allerdings sind in der Risikoanalyse keine Handlungsempfehlungen enthalten. Es wird lediglich darauf hingewiesen, welche Probleme im Falle eines Eintretens des Szenarios auftreten können und welche Bereiche in besonderer Weise betroffen wären. Diese Lücke wurde zum Teil durch den Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2017 (Drucksache 19/9520) gefüllt. Im Rahmen einer Bestandsaufnahme der von 2012 bis 2016 erstellten Risikoanalysen werden u. a. Handlungsempfehlungen zum Pandemieszenario aus 2012 gegeben. Dazu zählen etwa das Entwickeln von Konzepten für Maßnahmen bei Personalausfällen, die Erstellung eines medizinischen Gesamtlagebildes sowie die Umsetzung von Maßnahmen nach dem Infektionsschutzgesetz. Konkrete Angaben zu den Vorbereitungen auf zukünftige Pandemien finden sich hingegen im Nationalen Pandemieplan, welcher ebenfalls 2017 aktualisiert wurde.

4.1.4 Nationaler Pandemieplan

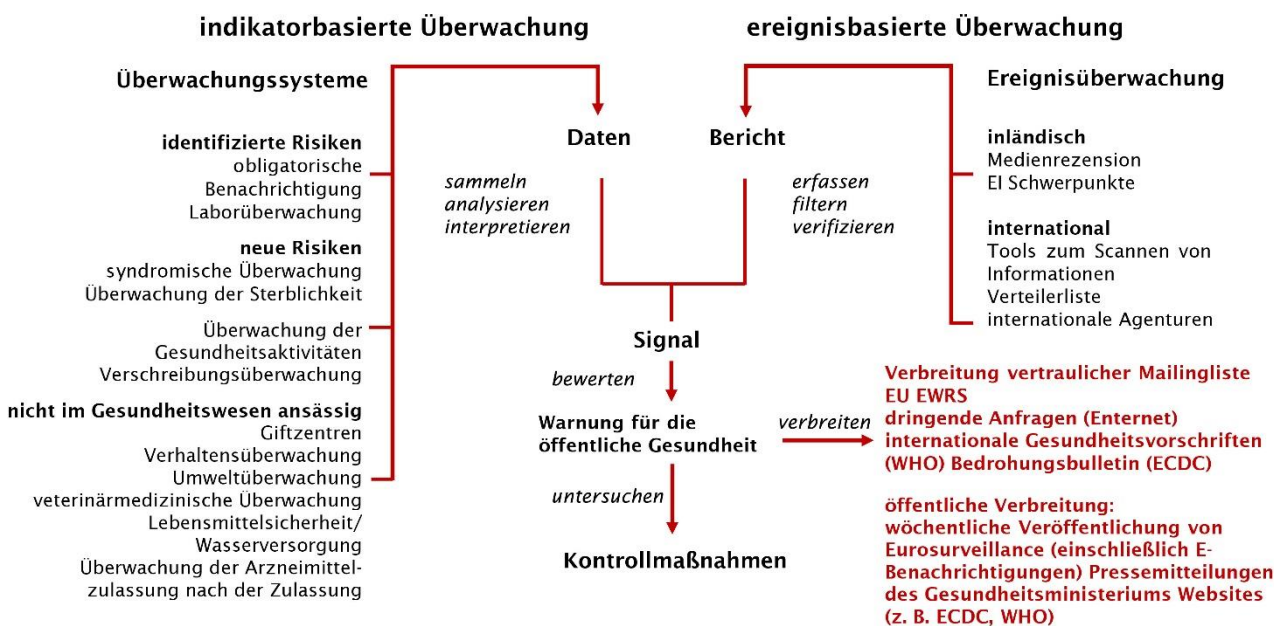
Der Nationale Pandemieplan (NPP) existiert in Deutschland seit 2005 und wurde zuletzt 2017 aktualisiert. Er enthält konkrete Angaben zur Vorbereitung auf eine Influenzapandemie und bildet den Rahmen für die Pandemiepläne der Bundesländer, für die Ausführungspläne der Kommunen und für Unternehmen der kritischen Infrastrukturen (RKI 2017). Übergeordnete Ziele, die mit dem NPP erreicht werden sollen, sind, die Inzidenzwerte

und die Sterblichkeitsrate während einer Pandemie möglichst niedrig zu halten und die gesundheitliche Versorgung der Bevölkerung sowie die Aufrechterhaltung des deutschen Gesundheitssystems insgesamt zu gewährleisten. Die einzelnen Teilziele und die darauf basierenden Maßnahmen unterscheiden sich je nach Phase eines Pandemieerlaufs. Während zu Beginn einer Pandemie das Ziel vor allem auf dem Durchbrechen von Infektionsketten liegt und sich die Maßnahmen auf Erkennung und Eindämmung konzentrieren, dienen die Maßnahmen in der Hochphase einer Pandemie insbesondere der Verhinderung von schweren Krankheitsverläufen und der Überlastung des Gesundheitssystems. In der Endphase liegt der Fokus auf der Erholung des Systems und der Evaluation der während der Pandemie eingesetzten Maßnahmen. Neben den zu ergreifenden Maßnahmen gibt der NPP auch Hinweise auf Möglichkeiten zur Beobachtung und Einschätzung eines Pandemieerlaufs auf Basis von epidemiologischen Daten (RKI 2017). Eine wichtige Funktion nimmt dabei das im IfSG festgelegte und bundesweit etablierte Meldesystem ein.

4.2 Der Einsatz von Frühwarnsystemen während der COVID-19-Pandemie

Entsprechend der in Kapitel 3 beschriebenen Unterscheidung zwischen indikatorenbasierten Frühwarnsystemen einerseits und ereignisbasierten Systemen andererseits wird auch im Rahmen der Epidemic Intelligence, also bei gesundheitsspezifischen Frühwarnsystemen, zwischen diesen beiden Ansätzen unterschieden (Abb. 4.1). Demnach stützen sich indikatorenbasierte Systeme auf das systematische Sammeln, Beobachten, Analysieren und Interpretieren von strukturierten Gesundheitsdaten als definierte Ereignisse bzw. Frühindikatoren, während ereignisbasierte Systeme auf dem Sammeln, Beobachten, Analysieren und Interpretieren von unstrukturierten Ad-hoc-Informationen zu gesundheitsrelevanten Ereignissen basieren, die ein akutes Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen können (WHO 2014, S. 12).

Abb. 4.1 Modell für Epidemic Intelligence



Quelle: nach ECDC 2006, S. 5

Die Begriffe der passiven und aktiven Frühwarnsysteme entsprechen weitgehend diesen beiden Ansätzen. Während passive bzw. indikatorenbasierte Systeme vor allem Daten berücksichtigen, die bereits dokumentiert werden (wie etwa das Melden von meldepflichtigen Krankheiten und Erregern), suchen ereignisbasierte Systeme gezielt (also aktiv) nach relevanten Informationen, wie etwa dem Auftauchen von weiteren Fällen nach Bekanntwerden

eines Krankheitsausbruches (Denecke et al. 2022). Ein indikatorenbasierter Ansatz eignet sich neben dem Erkennen von Krankheitsausbrüchen besonders, um Trends bei den Infektionsverläufen nachzuvollziehen. Ein ereignisbasierter Ansatz bietet dagegen den Vorteil einer hohen Geschwindigkeit bei der Bereitstellung von aktuellen Informationen, sofern diese ausreichend verifiziert wurden (Aminova et al. 2022). Im Idealfall nutzen Gesundheitsspezifische Frühwarnsysteme eine Kombination aus beiden Ansätzen, um ein ganzheitliches Bild der Lage zu zeichnen (Denecke et al. 2022).

4.2.1 Frühwarnsysteme in Deutschland

In Deutschland werden überwiegend passive bzw. indikatorenbasierte Systeme zur Frühwarnung im Rahmen der Pandemie genutzt. In diese Kategorie zählt auch das Melden von Erregern und Krankheiten nach dem IfSG, das seit der Einführung laufend dem aktuellen Wissensstand angepasst und aktualisiert wird. Die Meldedaten gemäß IfSG sind eine essenzielle Grundlage für die Lagebewertung und Frühwarnung in der COVID-19-Pandemie. Politische Entscheidungen und weitreichende Maßnahmen im Umgang mit Corona leiten sich unmittelbar aus ihnen ab. Das IfSG gliedert sich in insgesamt sechzehn Abschnitte (hierzu und im Folgenden: (Böhmer/Höscker 2020)). Nach den allgemeinen Vorschriften im ersten Abschnitt (§§ 1 bis 3 IfSG) folgen Vorgaben hinsichtlich der Koordinierung und (seit einer Gesetzesänderung während der COVID-19-Pandemie Ende März 2020) zu epidemischen Lagen von nationaler Tragweite (§§ 4 bis 5a IfSG), die u. a. die Aufgaben des Robert Koch-Instituts festlegen. Der dritte Abschnitt (§§ 6 bis 15 IfSG) regelt die Überwachungstätigkeit, insbesondere das Meldesystem. Hierbei wird zwischen meldepflichtigen Krankheiten (§ 6 IfSG), meldepflichtigen (Nachweisen von) Krankheitserregern (§ 7 IfSG) sowie namentlichen Meldungen (§ 9 IfSG) und nichtnamentlichen Meldungen (§ 10 IfSG) unterschieden. Weitere Regelungen betreffen Eingriffsmöglichkeiten zur Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten sowie spezielle Vorschriften für Schulen und Gemeinschaftseinrichtungen. Hinzu kommen europarechtlich geprägte Vorgaben im Hinblick auf die Wasserbeschaffenheit und gesundheitsrechtliche Anforderungen zum Umgang mit Lebensmitteln. Der neunte Abschnitt definiert eine Erlaubnispflicht für Tätigkeiten mit Krankheitserregern, der zehnte Abschnitt (§ 54 IfSG) regelt behördliche Zuständigkeiten, der elfte Abschnitt die Angleichung an Gemeinschaftsrecht. Im zwölften Abschnitt finden sich Vorgaben zur Entschädigung, bevor Kostenregelungen, Sonder-, Straf- und Bußgeld- sowie Übergangsvorschriften das IfSG abschließen.

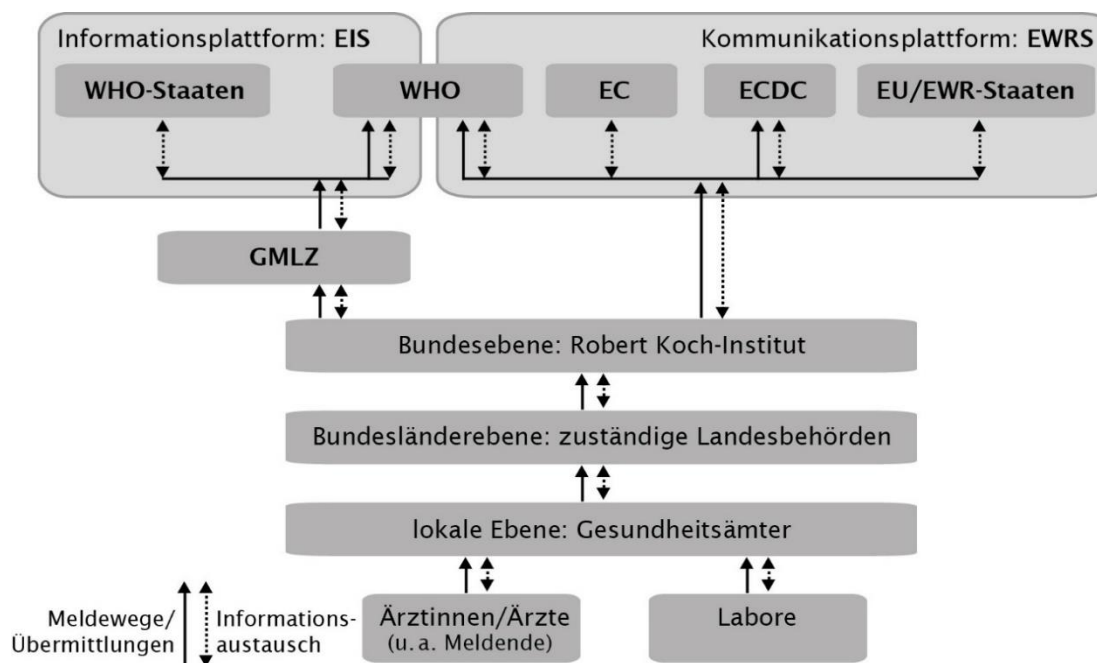
Die Pandemiebekämpfung in Deutschland dient der präventiven Katastrophenvermeidung, erfolgt allerdings grundsätzlich nach dem Gesundheits- und nicht nach dem Katastrophenrecht. Die Erklärung der pandemischen Lage zur Katastrophe und damit der Übergang zum Katastrophenschutz folgen keinem Automatismus und sind auch nicht an definierte Schadenslagen gebunden. Die Entscheidung darüber, ob ein Szenario zur Katastrophe erklärt wird, liegt vielmehr bei den einzelnen Ländern und ihren Verwaltungsebenen und nicht beim Bund. »Solange eine Pandemie oder sonstige Großschadenslagen außerhalb des Verteidigungsfalls ihre katastrophalen Wirkungen und Auswirkungen entfalten, stehen der Bundesexekutive ausschließlich koordinierende und/oder beratende Kompetenzen im Katastrophenschutz zu. Lediglich im Rahmen der Katastrophenvermeidung trägt der Bund originäre Verantwortung als Gesetzgeber.« (Weinheimer 2022) Das Meldesystem (Abb. 4.2) beginnt bei den Krankenhäusern, Laboren und Arztpraxen mit einer Meldung an die jeweils lokal zuständigen Gesundheitsämter, sobald eine meldepflichtige Krankheit diagnostiziert wird oder ein begründeter Verdachtsfall vorliegt. Die Gesundheitsämter geben die Meldung weiter an die auf Landesebene zuständige Gesundheitsbehörde, welche die Meldung in anonymisierter Form ihrerseits weitergibt an das auf Bundesebene zuständige Robert Koch-Institut (RKI). Das RKI stellt als zentrale Instanz Übersichten auf der Grundlage der anonymisierten Datenbasis zusammen. Dabei besteht keine zentrale Datenhaltung und es erfolgt kein Abgleich mit Melderegistern (Leitritz 2022).

Zur Übermittlung an die jeweils nächsthöhere Ebene sind laut Gesetz jeweils maximal 24 Stunden Zeit, allerdings muss die Möglichkeit des Informationsaustauschs zwischen Landesbehörden, RKI und BMG rund um die Uhr gewährleistet sein. Je nach Ergebnis der Analysen des RKI wird die Meldung dann weitergeleitet an das »Early Warning and Response System« (EWR) der Europäischen Union sowie an das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ) und von dort aus weiter an die WHO. Dadurch erfolgt laut Gesetz der Übergang von der Früherkennung zur Frühwarnung. Während die Früherkennung die Meldung und Weitergabe von Krankheitserregern an die Bundesbehörde RKI umfasst, beginnt die Frühwarnung erst dann, wenn das RKI nach Bewertung der Lage zu der Entscheidung kommt, weitere Behörden zu informieren, darunter das Bundesministerium für Gesundheit (BMG), das GMLZ von Bund und Ländern sowie die Gesundheitsbehörden des betroffenen Bundeslandes. Damit dieser gesetzlich geregelte Übergang von der Früherkennung zur Frühwarnung erfolgen kann, muss sich das RKI im Zuge der föderalistischen dezentralen Grundstruktur darauf verlassen, dass

entsprechende Fälle von Krankheitserregern durch die meldepflichtigen Einrichtungen erfasst und gemeldet werden. Das RKI kann in den einzelnen Bundesländern nur dann tätig werden, wenn es von diesen um Hilfe gebeten wird. Erfolgt keine Meldung, so ist das RKI nicht in der Lage, sich vor Ort ein eigenständiges Bild zu machen (Leitritz 2022).

Ein wichtiger Empfänger von Frühwarnungen ist der Deutsche Bundestag, der ggf. offiziell eine epidemische Lage nationaler Tragweite erklärt und bei Bedarf die notwendigen gesetzlichen Grundlagen zur Bewältigung dieser Lage schaffen muss. Weitere wichtige Empfänger sind die Bundesministerien, die Landesregierungen und die Landesparlamente. Letztere können zwar nicht für oder gegen Verordnungen der Regierungen stimmen, allerdings haben sie die Kompetenz, Maßnahmen zu beschließen, welche ihrerseits eventuell die Folgen von Eindämmungsmaßnahmen abmildern können, wie etwa die Bereitstellung von Pandemiefonds oder auch die konkrete Zuweisung der Finanzmittel. Ebenfalls Empfänger von Frühwarnungen und Prognosen ist die Judikative, um Maßnahmen der Exekutive auf ihre Verhältnismäßigkeit überprüfen zu können. Die Gesundheitsämter, Krankenhäuser, Arztpraxen und letztendlich auch die Bevölkerung sind sowohl Datenlieferanten als auch Empfänger von Anordnungen als Folge der Frühwarnungen.

Abb. 4.2 Administrativen Strukturen und Kommunikationswege an die WHO bzw. die EU bei relevanten biologischen Ereignissen in Deutschland



Quelle: RKI 2021

Bereits bei der Influenza-Pandemie 2009 und der EHEC-Epidemie 2011 wurden Schwachstellen im Meldesystem des IfSG identifiziert (Benzler et al. 2013): Diese reichen von einer uneinheitlichen bis lückenhaften Meldepraxis bis hin zu Medienbrüchen innerhalb des Meldeprozesses, aber auch fehlende Möglichkeiten für eine schnelle, unstrukturierte Ereignismeldung unterhalb der Meldeschwelle. Damals wurde durch das BMG und die Gesundheitsministerkonferenz der Länder aufgrund dieser Schwachstellen beschlossen, das Meldesystem für übertragbare Krankheiten und Krankheitserreger durch elektronische, digitale Verfahren zu verbessern. Damit waren die Weichen für die Entwicklung des Deutschen Elektronischen Meldesystems für Infektionsschutz (DEMIS) gestellt.

2012 wurden von einem Projektkonsortium unter der Leitung des BMG zunächst die Anforderungen an DEMIS definiert und daraufhin ein Prototyp entwickelt. Das Pilotprojekt DEMIS wurde über einen Zeitraum von 2 Jahren durchgeführt (2012 bis 2014) und umfasste u. a. eine Mehrbedarfsanalyse unter Einbezug der Akteure, die das System in Zukunft nutzen sollten. Für eine flächendeckende Einführung von DEMIS waren jedoch zunächst noch Fragen der Bewertung des Systems durch Bund und Länder, der Finanzierung und des Betriebs zu

klären (Bundesverband der Hygieneinspektoren 2014). Allerdings wurden die schleppend verlaufende Weiterentwicklung von DEMIS und der bis dahin ausstehende Ausbau des Systems von der COVID-19-Pandemie schließlich eingeholt. Die erste Ausbaustufe von DEMIS wurde im Juni 2020 umgesetzt, seit Januar 2021 ist die Nutzung der ersten Ausbaustufe von DEMIS für Gesundheitsämter und Labore verpflichtend.⁹ Das System wird derzeit von RKI und BMG gemeinsam mit der gematik und dem Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme (FOKUS) weiterentwickelt.

In DEMIS können und müssen meldepflichtige Krankheits- und Verdachtsfälle von Laboren, Arztpraxen und allen angeschlossenen 375 Gesundheitsämtern innerhalb von 24 Stunden elektronisch gemeldet werden, seit der ersten Ausbaustufe im Juni 2020 auch der Nachweis von SARS-CoV-2-Infektionen. Ausgewertet werden die Daten vom RKI. Seit Januar 2023 sind alle Melde- und Benachrichtigungspflichtigen verpflichtet, DEMIS für alle Meldetatbestände zu nutzen. DEMIS ist nun ein zentrales Element im Rahmen des indikatorenbasierten epidemiologischen Frühwarnsystems in Deutschland und wird auch über die Pandemie hinaus eine wichtige Rolle spielen. Die Erfahrungen zeigen dennoch, dass die Umsetzung der Verpflichtung zur elektronischen Meldung in den Einrichtungen immer noch unzureichend ist (Krause 2022).

Zur Beschreibung der epidemiologischen Lage in Deutschland werden unterschiedliche Indikatoren herangezogen. Waren zu Beginn der COVID-19-Pandemie die auf der Grundlage des IfSG erfasste 7-Tage-Inzidenz (Anzahl der Neuinfektionen innerhalb der letzten 7 Tage pro 100.000 Einwohner/innen) der Leitindikator, so wurde dieser vor dem Hintergrund einer zunehmenden Durchimpfung der Bevölkerung im August 2021 durch den neuen Leitindikator der hospitalisierten Fälle abgelöst. Die Hospitalisierungsrate stellt dar, wie viele COVID-19-Fälle pro 100.000 Einwohner/innen einer bestimmten Region im Krankenhaus behandelt werden müssen. Sie ist damit ein Indikator für die Zahl der schweren Krankheitsverläufe und kann einen frühen Hinweis auf eine drohende Überlastung des Gesundheits- und Krankenhaussystems geben. Hinzu kommt der im Intensivregister erfasste dritte Frühindikator der verfügbaren intensivmedizinischen Behandlungskapazitäten. Dadurch wurde die Messung von Infektionen in der Bevölkerung auf die Messung der Belastung des Gesundheitssystems durch schwerwiegende Infektionsverläufe und stationäre Behandlungen verlagert.

Zur besseren Erfassung der Kapazitäten wurde im April 2020 das durch das RKI und die Deutsche Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) entwickelte DIVI-Intensivregister eingeführt, um die jeweils aktuelle Belegungssituation intensivmedizinischer Bereiche der Krankenhausstandorte Deutschlands nachvollziehbar zu machen. Intensivstationen in Krankenhäusern sind bundesweit seitdem verpflichtet, täglich ihre Kapazitätsauslastung über das System zu melden und so Hinweise auf die aktuelle Lage und mögliche Engpässe zu geben (RKI 2022a). Das Register dient insbesondere in Zeiten hoher Inzidenzen und vieler schwerer Krankheitsverläufe als Hilfsmittel, um schwerstkranken Patient/innen und die Belastung der intensivmedizinischen Ressourcen zu analysieren sowie einen umfassenden Überblick geben zu können. Allerdings erfordert die Pflege des Intensivregisters noch viele manuelle Eingaben, da eine automatisierte Ausleitung aus den Krankenhausinformationssystemen oder den Patientendatenmanagementsystemen nicht möglich ist. Ein On-demand-Register, das für die individuelle fallbezogene Disposition und Suche von Intensivbetten zu allen Tageszeitpunkten geeignet ist, fehlt bislang (Dodt/Hinzmann 2022). Neben den drei genannten Frühindikatoren wurden aufgrund ihrer besonderen Bedeutung im März 2022 zudem Impf-, Genesenen- und Testnachweise im IfSG definiert (§ 22a IfSG) (MAGS NRW 2021).

Während der COVID-19-Pandemie sind weitere Werkzeuge der Frühwarnung zum Meldesystem des IfSG hinzugekommen. Im Sinne einer möglichst frühen Erkennung und Eindämmung der COVID-19-Ausbreitung förderte das BMG pilothaft von Juli 2020 bis Dezember 2022 den Einsatz des »Surveillance Outbreak Response Management and Analysis System« (SORMAS). Diese ursprünglich anlässlich der Ebolaepidemie in Westafrika entwickelte Software wurde bei einem großen Teil der öffentlichen Gesundheitsämter in Deutschland installiert, um über eine Anbindung an das Meldesystem Coronainfektionsketten über kommunale Grenzen hinweg verfolgen zu können. Dies erfolgte unter den Vorgaben, Einzelinstanzen für jedes Gesundheitsamt separat zu betreiben, die Übermittlung nur über Schnittstellen zu bereits vorhandenen IfSG-Fachanwendungen zu vollziehen und die Dienste ausschließlich für COVID-19 zu öffnen (Krause 2022). Die Erfahrungen mit der Einführung von SORMAS hat gezeigt, dass die Gesundheitsämter aufgrund der Heterogenität ihrer Systemlandschaften und den damit verbundenen unterschiedlichen Prozessen mit erheblichen Schwierigkeiten bei der Einführung konfrontiert waren

⁹ Für die Anbindung an DEMIS müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein: Zum einen muss Software installiert sein, die die DEMIS-Funktionen umsetzt. Zum anderen wird ein Zertifikat benötigt, mit dem sich der Nutzer am System authentifiziert.

(Deutscher Landkreistag 2020; WD 2021; Zimmermann et al. 2021). Dies begründet sich auch in Defiziten bezüglich homogener und wiederverwendbarer Softwaremodule sowie einer fehlenden Standardisierung und Modularisierung der grundlegenden Prozesse in den Gesundheitsämtern.

Das RKI betreibt zudem das Frühwarnsystem »Signale«. »Signale« analysiert die in DEMIS eingegebenen Meldedaten sowie weitere Datenquellen automatisch auf der Basis algorithmischer Berechnungen und gibt Hinweise auf auffällige Entwicklungen auch außerhalb definierter Fälle. Seine Technologie basiert auf maschinellem Lernen und dem »Natural Language Processing« (NLP)¹⁰. Die Ergebnisse werden als interaktives und personalisiertes Dashboard für Epidemiolog/innen des RKI und andere Mitarbeiter/innen des öffentlichen Gesundheitsdienstes (ÖGD) zur Verfügung gestellt (Komin 2021).

Neben DEMIS, DIVI-Intensivregister und Signale als flächendeckende Frühwarnsysteme im Zusammenhang mit endemischen Lagen von nationaler Tragweite existieren in Deutschland noch andere Systeme, die auf einer freiwilligen Teilnahme beruhen. Dazu zählen etwa das vom RKI betriebene »Grippeweb«, bei dem Bürger/innen wöchentlich selbst angeben können, wenn sie Symptome verspüren, sowie Sentinelstudien, bei denen Arztpraxen und Krankenhäuser freiwillig und ergänzend zum Meldesystem regelmäßig Daten zu Symptomen bei Patient/innen eingeben können (RKI 2022a). Weitere Systeme sind »ICOSARI«, an dem sich 73 deutsche Krankenhäuser beteiligen und wo akute Atemwegserkrankungen gemeldet werden können (Buda et al. 2017), sowie das Notaufnahmeregister »Aktionsbündnis für Informations- und Kommunikationstechnologie in Intensiv- und Notfallmedizin«¹¹ an dem aktuell 58 Kliniken angeschlossen sind (Stand November 2023).

4.2.2 Frühwarnsysteme international

Auf internationaler Ebene wird eine Reihe von Frühwarnsystemen betrieben, um etwaige Pandemiegeschehen zu beobachten und auf Auffälligkeiten und mögliche gefährliche Entwicklungen hinzuweisen. Deutschland ist – ebenso wie andere Länder auch – auf die Informationen internationaler Organisationen angewiesen, um die Entwicklung der pandemischen Lage im Gesamtkontext einschätzen zu können. Für die Früherkennung und -warnung in Deutschland sind die Frühwarnsysteme der WHO und Einrichtungen der EU von besonderer Bedeutung. Diese werden zum Teil auch auf deutscher Ebene vom RKI genutzt, sowohl um Informationen über eine mögliche pandemische Lage außerhalb Deutschlands zu bekommen als auch um Daten aus Deutschland im Rahmen des gesetzlich verankerten Meldesystems an internationale Behörden weiterzugeben. Die Weitergabe erfolgt zum einen an die WHO über die »Event Information Site« (EIS) (WHO 2022) und zum anderen an die EU über das »Early Warning Response System« (EWRS) (EC 2021).

Der Rechtsrahmen für Deutschland und die übrigen Mitgliedsländer zur Einbindung in das Frühwarnsystem der WHO ergibt sich aus den Internationalen Gesundheitsvorschriften (International Health Regulations – IHR), welche die Rechte und Pflichten aller Mitgliedsländer bei der Bewältigung von grenzübergreifenden Katastrophenfällen, Krisen und Notlagen im Bereich der öffentlichen Gesundheit festlegen und seit 2013 auch in deutsches Recht überführt wurden.¹² Die IHR bieten u. a. einen Kriterienkatalog, welcher die Bestimmung von gesundheitlichen und meldepflichtigen Notlagen standardisiert, und regeln die Pflicht zur Meldung von Ereignissen und Entwicklungen im Gesundheitssektor der einzelnen Länder. Sie setzen Kapazitäten in den Bereichen Früherkennung, Meldung und Reaktion voraus. Der Prozess der globalen Frühwarnung wird auf Grundlage der IHR beschrieben (Aminova et al. 2022, S. 27; Wilson et al. 2021, S. 536):

- › Erhält ein Mitgliedstaat Kenntnis über ein Ereignis innerhalb seiner Grenzen, welches eine meldepflichtige Notlage anhand der WHO-Entscheidungskriterien darstellt, ist er dazu verpflichtet, die WHO innerhalb von 24 Stunden zu konsultieren und alle relevanten Informationen diesbezüglich bereitzustellen.
- › Erlangt die WHO Kenntnis über solch ein Ereignis auf anderem Wege als durch den Mitgliedstaat selbst, wird sie sich unverbindlich mit diesem in Kontakt setzen. Auch in diesem Fall ist der Mitgliedstaat verpflichtet, innerhalb von 24 Stunden alle relevanten Informationen bereitzustellen.

¹⁰ NLP ist ein Teilbereich der künstlichen Intelligenz und bezeichnet die algorithmische Verarbeitung von natürlicher Sprache.

¹¹ <https://aktin.org/> (4.6.2024)

¹² IGV-Durchführungsgesetz vom 21.3.2013, zuletzt am 28.5.2021 geändert

- › Die WHO wiederum verpflichtet sich zur anschließenden Zusammenarbeit, falls dies durch den Mitgliedstaat erwünscht ist. Diese Zusammenarbeit besteht in der gemeinsamen Risikobewertung oder in der Entsendung von Teams zur Bewertung der Situation an Ort und Stelle sowie der Bereitstellung weiterführender Informationen.
- › Je nach Schwere der Situation wird die WHO ggf. weitere Mitgliedstaaten oder auch die Öffentlichkeit informieren.
- › Auf Basis der erhaltenen Informationen liegt es in der Zuständigkeit des Generaldirektors, die Situation als Bedrohung für die öffentliche Gesundheit (Public Health Emergency of International Concern, PHEIC) zu bewerten. Hierzu wird ein Notfall-Komitee aus Experten verschiedener Disziplinen ins Leben gerufen, das dem Generaldirektor unterstützend zur Seite steht.
- › Wird die Situation als PHEIC bewertet, so kann der Generaldirektor unter Konsultation des Notfall-Komitees formelle Empfehlungen zur Eindämmung des Infektionsgeschehens aussprechen. Die Umsetzung der Empfehlungen ist nicht bindend und obliegt den Mitgliedstaaten.

Über ihre nationalen Kontaktstellen müssen die Mitgliedstaaten durchgehend und jederzeit in der Lage sein, mit der WHO zu kommunizieren, um auf Anfragen zu antworten, Informationen auszutauschen und Warnungen herauszugeben oder auf diese zu reagieren. In Deutschland fungieren das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum in Bonn und das Robert Koch-Institut als nationale Kontaktstellen.

Die WHO nutzt ihrerseits unterschiedliche technische Systeme zur Beobachtung, Bewertung und Antizipation des Pandemiegeschehens. Dazu gehört das weltweite Labornetzwerk »Global Influenza Surveillance and Response System« (GISRS), das »Global Public Health Intelligence Network« (GPHIN), welches weltweit Nachrichtenportale auf Hinweise für Krankheitsausbrüche untersucht, sowie das »Global Outbreak Alert and Response System« (GOARN), ein von der WHO koordiniertes Metanetzwerk, bestehend aus 250 technischen Einrichtungen und Netzwerken weltweit, die auf akute Ereignisse im Bereich der öffentlichen Gesundheit mit der Entsendung von Personal und Ressourcen in die betroffenen Länder reagieren (WHO 2021, 2022). Einen besonderen Ansatz verfolgt das bereits 1994 gestartete und kontinuierlich weiterentwickelte »Program for Monitoring Emerging Diseases« (ProMED) der International Society for Infectious Diseases (ISID). Das Programm basiert auf einem zweistufigen Vorgehen: In einem ersten Schritt werden Nachrichten, Social-Media-Posts, Berichte von öffentlichen Einrichtungen und andere Meldungen durch teils KI-gestützte Systeme erfasst. In einem zweiten Schritt werden diese Informationen von Expert/innen geprüft und nach einer Bestätigung von mindestens zwei unabhängigen Quellen veröffentlicht, zum Teil mit ergänzenden Kommentaren der Expert/innen. ProMED kombiniert somit die quantitative Analyse automatisierter Systeme mit der qualitativen Einschätzung von Experten/innen. Bemerkenswert ist, dass es als eines der ersten Systeme sowohl auf das Auftreten von SARS und MERS als auch den Krankheitserreger SARS-CoV-2 hingewiesen hat (Denecke et al. 2022; Hall 2020).

Wie bei der WHO basiert das Frühwarnsystem der EU auf den Frühwarnfähigkeiten der einzelnen Mitgliedstaaten. Der rechtliche Rahmen für die Frühwarnung innerhalb der EU wurde erstmals 1998 in der Entscheidung Nr. 2119/98/EG¹³ beschrieben (hierzu und im Folgenden Beaussier/Cabane 2020), S.817 ff.). Ziel dieses Beschlusses war es, die Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen den Mitgliedstaaten mit Unterstützung der Kommission zu fördern, um die Verhütung und die Kontrolle von übertragbaren Krankheiten in der Gemeinschaft zu verbessern. Konkret wurde u. a. die Einrichtung des Frühwarn- und Reaktionssystems (»Early Warning and Response System« – EWRS) beschlossen, welches nach wie vor als Hauptinstrument der Pandemieüberwachung zum Monitoring von Bedrohungen der öffentlichen Gesundheit in der Europäischen Union eingesetzt wird. Zudem wurde eine ständige Verbindung zwischen den national zuständigen Gesundheitsbehörden geschaffen, wobei die Europäische Kommission für die Koordinierung des Netzes in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten sorgt. Mit der Verordnung 851/2004/EG¹⁴ wurde 2004 die Errichtung des Europäischen Zentrums für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (European Center for Disease Prevention and Control – ECDC) beschlossen. Ausdrücklich schreibt die Kommission dem ECDC das Mandat für die Überwachung, den Nachweis und die Risikobewertung von Gefahren für die menschliche Gesundheit durch übertragbare Krankheiten und Ausbrüche unbekannter Ursprünge zu und überträgt die Zuständigkeit für den Betrieb des EWRS an das ECDC.

¹³ Entscheidung Nr. 2119/98/EG über die Schaffung eines Netzes für die epidemiologische Überwachung und die Kontrolle übertragbarer Krankheiten in der Gemeinschaft

¹⁴ Verordnung (EG) Nr. 851/2004 zur Errichtung eines Europäischen Zentrums für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten

2013 wurde die Entscheidung Nr. 2119/98/EG durch den Beschluss Nr. 1082/2013/EU¹⁵ ersetzt. Dieser stellt aktuell das primäre Werkzeug der EU dar, um auf diese Gefahren zu reagieren. Dazu werden die Verfahren der geplanten Zusammenarbeit und Koordinierung zwischen den unterschiedlichen Akteuren auf Unionsebene präzisiert. Die Europäische Kommission bzw. das durch den Beschluss gestärkte Health Security Committee (HSC) übernimmt hierbei hauptsächlich die koordinierende Rolle zwischen den in den Mitgliedstaaten jeweils zuständigen Behörden, veröffentlicht Leitlinien und sorgt dafür, dass alle relevanten verfügbaren Informationen bereitgestellt werden. Darüber hinaus gewährt sie allen zuständigen Behörden und Akteuren den Zugang zum EWRS.

Die EU betreibt mehrere Plattformen für die Frühwarnung, um Daten der Mitgliedstaaten zu aggregieren. Dazu zählt die internetbasierte Kommunikationsplattform »The European Surveillance System« (TESSy), die vom ECDC und den EU-Mitgliedstaaten dazu genutzt wird, um Informationen zur Prävention von übertragbaren Krankheiten untereinander auszutauschen und den schnellen und effektiven Austausch von epidemiologischen Überwachungsdaten zwischen den EU-Mitgliedstaaten sicherzustellen (Aminova et al. 2022, S. 41; Goujon et al. 2021, S. 3). Das »Epidemic Intelligence Information System« (EPIS) ist ebenfalls eine internetbasierte Kommunikationsplattform, die dem rechtzeitigen und transparenten Informationsaustausch zwischen den teilnehmenden nationalen Gesundheitsbehörden zur Identifizierung von verschiedenen Bedrohungen der öffentlichen Gesundheit dient. Es soll die Kommunikation und Koordinierung der Reaktion auf die Bedrohung zwischen den Mitgliedern gemäß Beschluss 1082/2013/EU vereinfachen, um potenzielle Risiken bereits in der Entstehungsphase erkennen zu können. Der Zugriff ist nicht auf EU-Mitgliedstaaten beschränkt, der Informationsaustausch findet je nach Subplattform auch über EU-Grenzen hinweg statt. Das »Threat Tracking Tool« (TTT) stellt eine vertrauliche Datenbank dar, die vom ECDC genutzt wird, um verifizierte Ereignisse mit möglichem Einfluss auf die öffentliche Gesundheit zu verfolgen. Das soll dazu beitragen, ECDC-Aktivitäten durch die Meldung, Dokumentation und Überwachung von Bedrohungen zu ergänzen (Semenza et al. 2016, S. 74).

Seit 2021 werden die Funktionen von TTT, TESSy und EPIS sukzessive zusammengefasst und in das neue Portal »European surveillance portal for infectious diseases« (EPIpulse) eingegliedert und zusammengeführt mit dem Ziel, nahtlose Zugriff auf alle Daten innerhalb einer Plattform zu bündeln (ECDC 2021). Ein weiteres, allerdings öffentlich zugängliches, automatisiertes Früherkennungstool ist »epitweetr«, welches die Social-Media-Plattform X (ehemals Twitter) auf ungewöhnliche Aktivitäten hin untersucht. Dies sind in der Regel ungewöhnliche Häufungen an Nachrichten bezüglich eines Vorkommnisses. Das Werkzeug soll dabei helfen, schwache Signale von Infektionskrankheiten früh zu erkennen und somit Gesundheitsexpertinnen und -experten bei ihrer Arbeit zu unterstützen. Durch die Anpassung des Algorithmus kann die Arbeitsweise auch auf andere Bedrohungslagen ausgeweitet werden (Espinosa et al. 2021).

Kasten 4.1 Privatwirtschaftliche Frühwarnsysteme

Nicht zuletzt arbeiten auch Unternehmen an neuen Frühwarnsystemen, die mithilfe neuartiger Technologien und innovativer Modelle bei der Bereitstellung zeitkritischer Informationen unterstützend wirken können (Aminova et al. 2022). So hat die deutsche Firma BioNTech gemeinsam mit dem mittlerweile von BioNTech übernommenen britischen Unternehmen InstaDeep ein Frühwarnsystem auf der Grundlage von KI-basierten Verfahren entwickelt, das weltweit verfügbare Sequenzdaten nutzt, um die Vorhersage gefährlicher Virusvarianten deutlich zu verbessern und zu beschleunigen. Nach Aussage BioNTechs (Biontech 2022) ist das System in der Lage, Hochrisikovarianten des Sars-CoV-2-Virus 2 Monate früher zu identifizieren als herkömmliche Verfahren.

Das kanadische Unternehmen BlueDot ist ein weiterer privater Akteur im Umfeld der internationalen Landschaft der Frühwarnsysteme. Zum Anfang der Coronakrise alarmierte BlueDot seine Kund/innen bereits am 31. Dezember 2019 über die ungewöhnlichen Ausbruchssignale. Grundsätzlich lagen der WHO erste Informationen zum Infektionsgeschehen zum gleichen Zeitpunkt vor, BlueDot konnte diese Erkenntnisse aber viel schneller kommunizieren. Basierend auf Big Data und Methoden der künstlichen Intelligenz, Webcrawling und Webscraping sowie Natural Language Processing (NLP), ist die im Unternehmen BlueDot entwickelte Software in der Lage, 30.000 verschiedene Informationsquellen automatisch auszuwerten. Dies entspricht in etwa 300.000 Artikeln pro Tag, aus denen die Software etwa 1.000 Artikel hoher Qualität herausfiltert. Ein

¹⁵ Beschluss Nr. 1082/2013/EU zu schwerwiegenden grenzüberschreitenden Gesundheitsgefahren und zur Aufhebung der Entscheidung Nr. 2119/98/EG

Expertenteam kuratiert und bewertet diese Informationen anschließend, wodurch auf täglicher Basis ein kohärentes Bild der epidemiologischen Situation entsteht. Boden- und luftbasierte Verbreitungsmodelle sind anschließend in der Lage, prognostische Abschätzungen über mögliche Infektionsverläufe zu treffen. Der Ansatz von BlueDot besteht dementsprechend aus einer Mischform zwischen weitgehend automatisiertem Technologieeinsatz und menschlicher Expertise.

4.3 Bewertung des deutschen Frühwarnsystems

Angesichts der weit verbreiteten Selbsteinschätzung vor der Pandemie, dass Deutschland gut organisiert und für unerwartete Herausforderungen gerüstet sei, hat das Frühwarn- und Meldesystem schlechter abgeschnitten als erwartet. Ein zentrales Ergebnis ist, dass Probleme vor allem im Bereich der Datenqualität, der zeitnahen Datenverfügbarkeit und -nutzung, der Implementierung entwickelter digitaler Lösungen, aber auch bei einer insgesamt defizitären Modellierung liegen. Hierdurch wird eine datenbasierte politische Entscheidungsvorbereitung beeinträchtigt.

Die im Rahmen des Meldesystems verwendeten deskriptiven Indikatoren waren mit Messfehlern und Zeitverzügen behaftet, da die gemeldeten Infektionszahlen nicht mit der tatsächlichen Anzahl von Infektionen gleichgesetzt werden konnten. Die schwankende Testintensität prägte die Inzidenzwerte maßgeblich, während die Dunkelziffer in den Zahlen nicht berücksichtigt wurde. Ein statistisches Instrumentarium auf nationaler Ebene könnte helfen, diese Mängel zu beheben. Denkbar wäre eine nationale Teststrategie wie in England, wo vom Office for National Statistics (ONS/nationales Statistikamt) gezielt repräsentative Stichproben aus der Bevölkerung gezogen und getestet werden (Rendtel et al. 2021). Zudem kann die Erweiterung der Frühwarnung auf abwasserbasierte Systeme helfen, um sowohl bekannte als auch neue Virusvarianten unabhängig von der Durchführung von Humantests frühzeitig zu identifizieren. Die EU-Kommission hat den Mitgliedstaaten bereits 2021 empfohlen, ein Monitoring von SARS-CoV-2 im Abwasser zu etablieren, um die Verbreitung von Coronaviren frühzeitiger zu erkennen. Mittlerweile werden Abwasserüberwachungssysteme bereits in der Pandemiefrühwarnung in Deutschland gemäß der Empfehlung eingesetzt.¹⁶ Bei der Bewertung des Frühwarnsystems in Deutschland muss zudem berücksichtigt werden, dass die während der COVID-19-Pandemie im Meldesystem verankerten Indikatoren keine ziel- und maßnahmenorientierten Indikatoren berücksichtigt haben. Beispiel für einen Indikator dieser Art könnte der Anteil der Zielbevölkerung sein, der alle vorgesehenen bzw. intendierten Impfungen erhalten hat oder der Anteil der Gesundheitseinrichtungen mit einem jeweils definierten Kernbestand an unentbehrlichen Arzneimitteln. Indikatoren zur Beschreibung von Aktivitäten und Instrumenten, die benötigt werden, um politisch gewünschte Ziele zu erreichen, wurden während der Pandemie damit nicht gemessen (Wagner 2022).

Angesichts enormer, heterogener Datenmengen sind traditionelle statistische Methoden und Indikatorensysteme zur Frühwarnung in Zeiten einer Pandemie nicht ausreichend, um sowohl wiederkehrende als auch unerwartete Strukturen zu erkennen. Zur Einschätzung des Infektionsgeschehens sowie der Gesundheitsversorgung der Bevölkerung sind prognostische Modellierungen sinnvoll. Beispielsweise können dynamische Schätzungen von intensivmedizinisch zu betreuenden Patient/innen helfen, etwaige Kapazitätsengpässe frühzeitig zu erkennen und entsprechende datenbasierte Änderungen in der Versorgungssteuerung zu berücksichtigen. Trotzdem werden präventiv bzw. auf die Vorausschau ausgerichtete Systeme und Strategien bislang nur begrenzt umgesetzt. Im Meldesystem für Infektionskrankheiten sind prognostische Abschätzungen bislang nicht verankert. Die im Rahmen des Meldesystems verwendeten Indikatoren waren für die politische Steuerung damit insgesamt nur bedingt geeignet, hier besteht Optimierungsbedarf.

Auch der passive Charakter des deutschen Meldesystems birgt Schwächen. Die Weitergabe der Meldung im Zuge des IfSG-basierten Meldesystems von einer Ebene zur nächsthöheren Ebene, also von den meldepflichtigen Einrichtungen über lokale Gesundheitsämter, Landesämter bis hin zum RKI, kann jeweils bis zu 24 Stunden dauern. Bis also ein Verdachtsfall tatsächlich zum offiziellen, den Frühwarnprozess in Gang setzenden Ernstfall wird, können insgesamt bis zu 72 Stunden vergehen. Dieser Umstand in Verbindung mit einer oft defizitären Personalausstattung der beteiligten Organisationen hat auch dazu geführt, dass manche Akteure der Meldekette erst aus

¹⁶ So wird etwa mit dem Vorhaben »Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung« die dauerhafte Überwachung der SARS-CoV-Viruslast im Abwasser angestrebt (RKI o. J.a).

den publizistischen Medien von dem neuartigen Coronavirus erfahren haben und nicht von offizieller Stelle (Denecke et al. 2022). Das Zeitproblem wurde dadurch verstärkt, dass insbesondere zu Beginn der COVID-19-Pandemie eine noch lückenhafte Digitalisierung der Meldewege bestand.

Bevor der gesetzlich geregelte Übergang von der Früherkennung zur Frühwarnung durch das RKI erfolgt, muss sich das RKI darauf verlassen, dass entsprechende Fälle von Krankheitserregern durch die meldepflichtigen Einrichtungen, wie Arztpraxen, Krankenhäuser und Labore, gemeldet werden. Das kann insbesondere dann ein Problem sein, wenn es sich um neu auftretende Viren handelt, die noch nicht als meldepflichtig eingestuft werden. Im Fall neu auftretender Krankheitserreger müssen erst einmal Nachweise entwickelt werden, der Umgang mit den Nachweisen muss erlernt werden und es müssen genügend Tests in den meldepflichtigen Einrichtungen vorhanden sein. Erst wenn die Meldung dieser Einrichtungen über die lokalen und regionalen Gesundheitsbehörden an das RKI gelangt und dieses einen entsprechenden Warnhinweis ausgibt, ändert sich der Status von Früherkennung zur Frühwarnung und das Meldesystem geht von der Passivität in die aktive Nachverfolgung über (Denecke et al. 2022).

Um eine effektive politische Frühwarnung in Deutschland zu gewährleisten, sollten auch internationale, nichtstaatliche und ereignisbasierte Frühwarnsysteme wie das auf Big-Data-Analysen basierende »Program for Monitoring Emerging Diseases-mail« (ProMED-mail) oder »BioCaster«, »HealthMap« und »Medical Information System« (MedISys) verstärkt in die staatliche Frühwarnung integriert werden. Diese Systeme nutzen primär frei zugängliche Nachrichtenartikel und Berichte als Informationsquellen und suchen aktiv nach Hinweisen. Obwohl sie bereits vom Europäischen Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (European Centre for Disease Prevention and Control – ECDC) und der WHO verwendet werden, könnten sie stärker in die staatliche Frühwarnung einbezogen werden.

Trotz einiger Fortschritte bei der Frühwarnung lässt sich bislang kein systematischer Zusammenhang zwischen Vorausschau und politischer Krisenreaktion erkennen. Daher ist die zentrale Frage, wie eine verantwortliche Vorbeugung gestaltet werden muss, die sich systematisch mit den strukturellen Ursachen von Krisen auseinandersetzt. COVID-19 ist nicht die erste Pandemie, die durch eine Zoonose ausgelöst wurde, also einer Infektionskrankheit, die auf natürlichem Wege wechselseitig zwischen Menschen und Tieren übertragen wird.¹⁷ In den vergangenen Jahren gab es immer wieder Krankheitswellen, die eng mit Erregern aus dem Tierreich verbunden waren. Beispiele hierfür sind die Lungenkrankheit SARS (2002/2003), die Schweinegrippe H1N1 (2009), die Lungenkrankheit MERS (2012) und das Ebolafieber (2014). Auch zukünftig werden Zoonosen durch präventive Frühwarnsysteme nicht ausgeschlossen werden können. Laut dem Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES 2020) werden etwa 1,7 Mio. unentdeckte Virenarten in Säugetieren und Vögeln angenommen und das bislang vermutlich weniger als 0,1 % des potenziellen zoonotischen viralen Risikos entdeckt bzw. charakterisiert wurde (Anthony et al. 2013; IPBES 2020).¹⁸ Der wissenschaftliche Diskurs verweist insgesamt sehr deutlich darauf, dass das Risiko für Pandemien, vor allem durch vom Menschen ausgehende Einflüsse, weiterhin stark zunimmt. Ursachen dafür sind die weltweite Vernetzung durch Handel, globale Mobilität, Bevölkerungswachstum und -wanderung und eine weltweit oft chaotisch verlaufende Verstädterung. Hinzu kommt, dass exotische Tiere, gemeinsam mit ihren Erregern, zunehmend in globalem Maßstab als Nahrung, Heilmittel oder Haustiere dienen und global transportiert werden (Tappe et al. 2019). Aber auch die exzessive Tiernutzung und der voranschreitende Klimawandel gelten als wichtige Quellen für das Einwandern neuartiger Erreger.

Das Ziel im Umgang mit möglichen zukünftigen pandemischen Lagen besteht darin, das Risiko von Zoonosen zu minimieren und durch präventive Ansätze eine verbesserten Frühwarnung zu erreichen. Die multidisziplinären Konzepte One Health und Planetary Health bieten mögliche Zielsetzungen für die weitere gesellschaftliche Entwicklung, indem sie die Gesundheit des Menschen in einen größeren Zusammenhang stellen. Im Mittelpunkt von One Health steht die Erkenntnis, dass die Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt eng miteinander verbunden sind und ein Verlust der Biodiversität beispielsweise das Entstehen von Pandemien fördert (BMZ 2022).

¹⁷ Neben der Theorie des Ursprungs der COVID-19-Pandemie durch eine Zoonose wird auch ein Labor in Wuhan als mögliche Quelle des SARS-CoV-2-Virus diskutiert, siehe hierzu auch Kosfeld (2023).

¹⁸ Aktuell werden zur Beobachtung von Entwicklungen im Bereich der Zoonosen in Deutschland im Rahmen des Zoonosenmonitorings zwischen Bund und Ländern abgestimmte Stichprobenpläne erstellt und umgesetzt. Die Entwicklung dieser Pläne sowie die Einschätzungen von Krankheitserregern erfolgt unter der Leitung des Bundesamtes für Risikobewertung (BfR). Die Ergebnisse werden jährlich vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) in einem Zoonosenmonitoring-Bericht veröffentlicht (BVL 2021). Zudem fließen die Ergebnisse aus dem Monitoringprozess auch in den jährlich vom BfR herausgegebenen Bericht »Erreger von Zoonosen in Deutschland« ein, der aktuelle Erkenntnisse zur epidemiologischen Situation in der Lebensmittelkette enthält (BfR 2020).

Mit Planetary Health wird die Gesundheit zudem über nationalstaatliche Grenzen hinweg im Zusammenhang mit ökologischen, sozialen und politischen Systemen betrachtet und dabei die veränderten globalen Verhältnisse für Prävention, Krankheit, Therapie und Epidemiologie in den Blick gerückt (Müller et al. 2018).

Als Reaktion auf die COVID-19-Pandemie hat die Bundesregierung ihren Fokus auf die Pandemievorsorge und globale Gesundheit erweitert und im Juli 2022 die Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen beschlossen. Diese Strategie verfolgt den ganzheitlichen One-Health-Ansatz, der die Zusammenhänge zwischen der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt sowie die stabile Versorgung im WASH-Sektor (Wasser, Sanitärversorgung und Hygiene) berücksichtigt (BMI 2022a). Die Erarbeitung von verbesserten Wissensbeständen ist dabei von zentraler Bedeutung, um die Zusammenhänge als Grundlage für die Gestaltung von Gesundheit in all ihren Bezügen und Implikationen vorausschauend zu verstehen.

5 Zukünftige systemische Risiken

5.1 Systemische Risiken: Eigenschaften und Einordnung

Mit welchen Gefährdungen, die ein hohes Krisenpotenzial haben, gerechnet wird, kann Risikoanalysen wie etwa der fortlaufenden Risikoberichterstattung der BBK und des Schweizer Bundesamt für Bevölkerungsschutz (zuletzt mit dem Risikobericht 2020) entnommen werden (BBK 2023; BABS 2020a). Bisher haben sich die Analysen überwiegend mit Risiken befasst, die relativ bekannt, gut beschreibbar und als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß quantifizierbar sind. Dazu zählen etwa der Ausfall technischer Systeme oder Starkwetterereignisse. Im Folgenden richtet sich hingegen der Blick auf systemische Risiken, die generell durch fünf Eigenschaften gekennzeichnet werden können (hier und im Folgenden (Renn et al. 2020; Schweizer/Renn 2019; Renn 2019)):

1. Systemische Risiken sind durch ein *hohes Maß an Komplexität* charakterisiert und kausale Zusammenhänge sind für systemische Risiken nur schwer zu identifizieren. Die etablierten Methoden der Wissenschaft stehen vor großen Herausforderungen, die Eintrittswahrscheinlichkeit oder das Ausmaß des Schadens genau zu bestimmen. Die vielfältigen Interdependenzen zwischen systemischen Risiken und komplexen Systemen, in denen sie entstehen, stellen konventionelle, auf analytischer Trennung und disziplinärer Spezialisierung basierende Ansätze der Risikoanalyse und des Risikomanagements auf die Probe.
2. Systemische Risiken zeichnen sich zudem durch *Grenzüberschreitung* aus. Obwohl ihre Ursprünge auf ein bestimmtes System und/oder ein Ereignis zurückgeführt werden können, breiten sie sich über Kaskadeneffekte auch auf andere Systeme aus, in denen sie dann mehr oder weniger starke Auswirkungen verursachen. Diese Ausbreitung kann geographisch (über Landesgrenzen hinweg), sektoral oder auch sozial erfolgen.
3. Systemische Risiken sind das Resultat *stochastischer Wirkungsketten*. Die Ergebnisse stochastischer Prozesse lassen sich nicht deterministisch bestimmen. Sie sind aber auch nicht beliebig. Nur eine endliche Menge von Ereignissen ist innerhalb einer Wahrscheinlichkeitsverteilung möglich. Obwohl Ursache-Wirkungs-Beziehungen systemischer Risiken nicht deterministisch definiert werden können, lassen sich zumindest für Teileffekte kausale Parameter und ein Spektrum möglicher intervenierender Faktoren und Modifikatoren identifizieren.
4. Systemische Risiken sind zudem häufig durch *Kipppunkte* gekennzeichnet. Komplexe Systeme können für eine unbestimmte Zeit stabil bleiben. Ist ein Kippunkt erreicht, verändern komplexe Systeme in kürzester Zeit ihre Existenzbedingungen (Scheffer 2010). Diese Veränderungen können sogar einen vollständigen Zusammenbruch des Systems bewirken. Systeme durchlaufen oft eine Reihe von Übergängen von einem Zustand zum nächsten, nachdem sie Phasen des (zumindest teilweisen) Zusammenbruchs und der Reorganisation durchlaufen haben.
5. Häufig kommt es im Zusammenhang mit systemischen Risiken zu *verzögerter Risikowahrnehmung und Regulierung*. Einige systemische Risiken, wie z. B. der Klimawandel, haben viel öffentliche Aufmerksamkeit erhalten, doch die Maßnahmen, um das Problem an der Wurzel zu packen, werden als bruchstückhaft und inkohärent wahrgenommen (BMU/UBA 2019). Andere systemische Risiken, wie z. B. unausgewogene biogeochemische Flüsse von Stickstoff und Phosphor in die Biosphäre und in die Ozeane, erhalten im Vergleich zu ihrem potenziellen Schadensausmaß immer noch verhältnismäßig wenig Aufmerksamkeit im öffentlichen Diskurs.

Analytische Schwerpunkte dieser Perspektive sind die Zusammenhänge zwischen Systemen und den Elementen innerhalb von Systemen sowie die Wechselwirkungen zwischen Agenten (Energie, Substanz, Biota, Information, Geld, Gewalt) und risikoabsorbierenden Systemen (z. B. Menschen, Gesellschaften oder Ökosysteme). Diese systemische Risikoperspektive ermöglicht eine detaillierte Analyse der verschiedenen interagierenden Prozesse, die durch soziales Verhalten auf der Mikroebene, technologische Transitionen auf der Mesoebene sowie Governancearrangements und Transformationsprozesse auf der Makroebene (Globalisierung, Digitalisierung und Nachhaltigkeitentwicklung) beeinflusst werden.

Komplexität führt zu einer Verflechtung intervenierender Faktoren, die miteinander interagieren. Identische Ursachen können je nach der Ausgangssituation eines systemischen Risikos zu einer Palette von unterschiedlichen Auswirkungen führen. Darüber hinaus besteht bei systemischen Risiken eine große Unsicherheit sowohl hinsichtlich des Ausmaßes als auch der Wahrscheinlichkeit zu erwartenden negativen Auswirkungen. Wahrscheinlichkeiten und Verteilungen von Ereignissen ändern sich oft schnell, was es schwierig macht, von vergangenen Erfahrungen auf zukünftige Ereignisse zu schließen.

Wie zuvor in der Liste der Eigenschaften systemischer Risiken beschrieben, können Kaskadeneffekte systemischer Risiken sowohl nationale als auch sektorale Grenzen überschreiten, wo sie aufgrund unterschiedlicher lokaler Kontexte größere oder geringere Auswirkungen haben können. Somit können auch Grenzen der Rechtsprechung, der Nationalität oder der sektoralen Zuständigkeit überschritten werden, weshalb sie oftmals einen Multi-Level-Governanceansatz (Hooghe/Marks 2001, 2003) und internationale Zusammenarbeit erfordern. Die COVID-19-Pandemie veranschaulicht diese grenzüberschreitenden Auswirkungen systemischer Risiken offenkundig.

5.2 Kipppunkte

Wie unter Punkt 4 der Liste der Eigenschaften systemischer Risiken aufgeführt, haben systemische Risiken das Potenzial, zu ökonomischen, ökologischen oder sozialen Kipppunkten zu führen (z. B. Abnahme der Ausdehnung und Vernetzung von Lebensräumen, was zum Artensterben führen kann, oder Anstieg der Lebensmittelpreise, was zu sozialen Spannungen und Veränderungen führen kann). Dies bedeutet, dass ein System sich unumkehrbar verändert, sobald ein solcher Kipppunkt erreicht ist, oder sogar vollständig zusammenbricht (Lenton et al. 2008). Entwicklungen, welche zu einem Kipppunkt führen, vollziehen sich schrittweise und bleiben daher oft solange unbemerkt, bis die Veränderung des Systems einen unumkehrbaren Zustand erreicht hat.

Die Forschung zu Kipppunkten komplexer Systeme ist bisher noch ein sehr junges Themen- und Forschungsgebiet. Aus diesem Grunde existiert hier noch kein ausgereiftes und auf die Fragestellungen der Resilienz komplexer Systeme zugeschnittenes Theorierepertoire, auf das sich zurückgreifen ließe. Gleichwohl besteht eine Vielzahl von Analyse- und Erklärungsmodellen (auf Basis von Systemmodellierungen, Simulationen und Szenarien), die sich mit Wandlungsprozessen in Wirtschaft und Gesellschaft beschäftigen und die für die spezifischen Fragestellungen von Resilienzstrategien genutzt werden können. In der Klimaforschung wurde das Konzept der Kipppunkte bereits 2000 eingebracht (Armstrong McKay et al. 2022). So reagiert das Klimasystem bei bestimmten Größenordnungen des Temperaturanstiegs mit starken Veränderungen im System, wie etwa abrupten Klimaänderungen, langfristig starken Klimaänderungen und irreversiblen Prozessen. Es besteht die Gefahr, dass abrupte, drastische Klimaänderungen die Anpassungsfähigkeit der menschlichen Gesellschaft sehr stark fordern oder auch übersteigen.

Über den Klimawandel hinaus wurden solche Kipppunkte auch für weitere Bereiche des globalen Wandels identifiziert. Johan Rockström vom Stockholm Resilience Centre formulierte »planetare Belastbarkeitsgrenzen« für neun natürliche Systeme und Prozesse. Demzufolge sind sechs von neun planetaren Grenzen durch den Einfluss des Menschen bereits überschritten: Klimawandel, Biodiversität, Landnutzung, biogeochemische Kreisläufe, Süßwasserverbrauch und Verschmutzung durch neuartige Chemikalien (Richardson et al. 2023). Bei Kipppunkten in ökonomischen und sozialen Systemen steht die Forschung noch am Anfang. Allerdings existiert ein relativ neuer Forschungszweig zur Identifikation von Kipppunkten, der als Complexity Economics bezeichnet wird und einen neuen Zugang zur Beschreibung der Wirtschaft aufzeigt. Dabei werden mathematische und netzwerkbasierte Methoden genutzt, um Risiken im Wirtschaftssystem sichtbar zu machen (Thurner 2020).

Die Wahrnehmung von Kipppunkten und der Umgang damit werden maßgeblich von Prozessen der Risikowahrnehmung beeinflusst. Risikowahrnehmung wiederum wird bestimmt durch Faktoren wie wahrgenommene Schrecklichkeit, Ausmaß, Vertrautheit oder mangelnde Kontrollierbarkeit von Risiken (Breakwell 2014; Renn et al. 1992; Siegrist/Árvai 2020; Slovic 1987). Während jedoch herkömmliche Risiken je nach den wahrgenommenen Risikomerkmale manchmal sozial verstärkt und manchmal abgeschwächt werden, werden systemische in der Risikowahrnehmung systematisch abgeschwächt. Ein Grund für ersteres ist, dass Personen auf kulturelle Erinnerungen hinsichtlich von Gefahren und Risiken zurückgreifen, denen frühere Generationen bereits ausgesetzt waren und die im kollektiven Gedächtnis, z. B. durch Pegelstände früherer Flutkatastrophen, verfügbar sind. Das heißt, dass viele der Faktoren, die sich auf die Wahrnehmung konventioneller Risiken auswirken, bereits von Menschen erfahren und erlernt wurden, wie etwa Überschwemmungen, Dürren oder Brände (Ewald 1999).

Systemische Risiken hingegen beziehen sich auf mögliche Ereignisse in der Zukunft. Menschen erleben die Auswirkungen dieser Risiken möglicherweise erst nach dem Überschreiten eines Kipppunkts und selbst dann geht es bei der Erfahrung vermutlich in erster Linie um die konkret erlebten Auswirkungen und nicht um die systemischen Zusammenhänge, welche sie herbeigeführt haben. Vor einem Kipppunkt erscheinen die Risiken dem Einzelnen weiter entfernt und weniger gefährlich (Optimismus-Bias) als viele konventionelle Risiken. Insbesondere sind die Kausalbeziehungen, die zu systemischen Risiken führen, weniger leicht nachvollziehbar (Nahari et al. 2010). Einige der Hauptmerkmale von systemischen Risiken, wie Komplexität oder Nichtlinearität, führen zu einem Gefühl der Handlungsunfähigkeit (Smith/Mayer 2018). Auch wenn systemische Risiken die Funktionsfähigkeit von essenziellen Gesellschaftssystemen bedrohen können, sieht daher der oder die Einzelne häufig keine große Dringlichkeit, das eigene Verhalten zu ändern oder strengere Regulierungsmaßnahmen zu akzeptieren (Schweizer et al. 2022).

5.3 Mit welchen systemischen Risiken zukünftig zu rechnen ist

Zur Frage, mit welchen systemischen Risiken zukünftig zu rechnen ist, liegen verschiedene Risikoanalysen vor. So ist etwa der Bund laut Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz (ZSKG)¹⁹ verpflichtet, in Zusammenarbeit mit den Bundesländern eine Risikoanalyse für den Zivilschutz zu erstellen, über deren Ergebnisse das Bundesministerium des Innern (BMI) den Deutschen Bundestag jährlich zu unterrichten hat (hierzu und im Folgenden Bundesregierung 2011). Mit dieser »Methode Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz« wurde laut BMI ein Instrument geschaffen, das einen systematischen Überblick über mögliche bundesrelevante Gefahren, ihre Eintrittswahrscheinlichkeit und die zu erwartenden Auswirkungen auf die Bevölkerung, ihre Lebensgrundlagen und die öffentliche Sicherheit und Ordnung in Deutschland bietet. Zudem soll die Risikoanalyse Entscheidungsträger/innen auf Bundesebene dabei unterstützen, Maßnahmen zur Optimierung des staatlichen Notfallvorsorgesystems und des Bevölkerungsschutzes besser planen zu können.

Die Risikoanalyse des Bundes definiert als Gefahrenarten mit potenzieller Bundesrelevanz Ereignisse, »bei deren Bewältigung der Bund in besonderer Weise gefordert sein kann, z. B. durch den Einsatz von Mitteln/Fähigkeiten sowie durch Hilfeleistung des Bundes für die Länder gemäß Artikel 35 Grundgesetz, ZSKG, THW-Gesetz oder aber aufgrund besonderer Lagen im Rahmen der Vorsorge- und Sicherstellungsgesetze« (Bundesregierung 2011). Dazu zählen insbesondere solche Ereignisse, die aufgrund ihres großen räumlichen Ausmaßes mehrere Bundesländer gleichzeitig betreffen und den Einsatz umfangreicher Ressourcen des Bundes verlangen. Auch der Verteidigungsfall zählt dazu. Darüber hinaus können aber auch lokale Ereignisse potenzielle Bundesrelevanz aufweisen, wenn sie aufgrund ihrer politischen Brisanz nationale Krisen hervorrufen oder hervorrufen können, wie beispielsweise Terroranschläge, ein großflächiger und lange anhaltender Ausfall kritischer Infrastrukturen oder Epidemien und Pandemien. Aber auch Ereignisse, die ihren Ursprung im Ausland und Auswirkungen in Deutschland haben, können potenziell bundesrelevant sein, wenn sie eine entsprechende Komplexität aufweisen und zu politischen Verwerfungen auch in Deutschland führen können (Bundesregierung 2011).

Durch diese Charakterisierung ergibt sich ein direkter Bezug der Risikoanalyse des Bundes zum Konzept der systemischen Risiken, das insbesondere Kaskadeneffekte von Risikophänomenen in den Blick nimmt. Diese Kaskadeneffekte können auf Risiken und Gefahren zurückzuführen sein, die ihren Ursprung auf lokaler, regionaler, nationaler oder globaler Ebene haben (Hochrainer-Stigler et al. 2020). Systemische Risiken sind demnach von Bundesrelevanz und werden in Deutschland analysiert. Das breite Spektrum an systemischen Risiken, das in der Analyse betrachtet wird, umfasst beispielsweise Naturgefahren, die in meteorologische (z. B. Stürme, Sturmfluten, Starkniederschläge, Kälte- und Hitzeperioden), hydrologische (z. B. Hochwasser, Niedrigwasser und Wasserknappheit), geophysikalische (z. B. Erdbeben, Bergstürze, Meteoriteneinschläge) und biologische (z. B. Infektionskrankheiten, Tierseuchen) untergliedert werden können, ebenso wie Gefahren, die durch menschliches oder technisches Versagen sowie durch kriminelle oder terroristische Handlungen in Form von Freisetzung biologischer, chemischer und radioaktiver Stoffe entstehen können.

Eine globale Perspektive auf mögliche Risiken nimmt das Weltwirtschaftsforum (World Economic Forum – WEF) ein. Mehr als 750 Expert/innen und Entscheidungsträger/innen bewerten dafür Risiken aus den Bereichen Wirtschaft, Politik, Technologie, Umwelt und Gesellschaft, um auf dieser Basis eine Einschätzung zu den größten Gefahren für die Welt abzugeben. 2023 sind die zehn größten globalen Risiken laut Einschätzung des WEF (2022)

¹⁹ Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz vom 25.3.1997, zuletzt am 19.6.2020 geändert

Extremwetter, Krisen der Lebenshaltung, mangelnde Aktivität gegen den Klimawandel, die Erosion des sozialen Zusammenhalts, ansteckende Krankheiten, die Verschlechterung der geistigen Gesundheit, Cybersecurityversagen, Schuldenkrisen, digitale Ungleichheit und das Platzen von Spekulationsblasen. Das WEF (2022) bewertete Risiken zum ersten Mal auch danach, wann sie nach Ansicht der Befragten eine kritische Bedrohung für die Welt darstellen. Eindeutige und aktuelle Gefahren (Zeithorizont 0 bis 2 Jahre) sind mit der Sorge um Leben und Lebensunterhalt verbunden. Dazu zählen etwa Infektionskrankheiten, Beschäftigungskrisen und die digitale Ungleichheit. Mittelfristig (Zeithorizont 3 bis 5 Jahre) sehen die Befragten die Welt von wirtschaftlichen und technologischen Folgerisiken bedroht, wie das Platzen von Spekulationsblasen, der Zusammenbruch der IT-Infrastruktur, Preisinstabilität und Schuldenkrisen. Zu existenziellen Bedrohungen mit einem Zeithorizont von 5 bis 10 Jahren zählen laut WEF (2022) etwa Massenvernichtungswaffen, Staatszerfall oder der Verlust der biologischen Vielfalt.

Neben den genannten Risikoanalysen der Bundesregierung und des WEF existiert eine Reihe weiterer Veröffentlichungen von Einrichtungen, die sich mit der Antizipation potenzieller systemischer Risiken befassen. Zu diesen Einrichtungen zählen das International Risk Governance Council (IRGC/Internationaler Risikorat), die Stiftung Wissenschaft und Politik, die Internationale Sicherheitskonferenz in München oder das Versicherungsunternehmen FM Global, das regelmäßig den Global Resilience Index veröffentlicht (FM Global 2023).

Eine Zusammenfassung potenzieller systemischer Risiken, die nach derzeitigem Wissensstand ein hohes Krisenpotenzial haben, zeigt die Auflistung in Tabelle 5.1.

Tab. 5.1 Systemische Risiken

Umwelt	Wirtschaft	Gesellschaft	Technik	Geopolitik
Wetterextreme Versagen beim Klimaschutz	Verschuldungs-, Finanz- und Wirtschaftskrise	Epi- und Pandemien	technisch- industrielle Katastrophen	geoökonomische Konflikte
Naturkatastrophen Biodiversitätsverlust	Versorgungsengpässe bei Energie, kritischen Rohstoffen und Lieferketten	soziale Spaltung der Gesellschaft	Blackout: Stromausfälle	kriegerische Konflikte und Kriege
	Cyberangriffe auf kritische Infrastrukturen			

Zusammenstellung basierend auf BABS 2020a u. 2020b; BBK 2023; WEF 2022

Die Risiken wurden in fünf Hauptkategorien eingeordnet und werden nachfolgend kurz skizziert (BABS 2020a, 2020b; BBK 2023; WEF 2022). Diese fünf Kategorien sind nicht trennscharf voneinander abzugrenzen, sondern überlappen sich teilweise. So können Cyberangriffe, die hier unter wirtschaftliche Risiken gefasst sind, genauso als technologische bzw. gesellschaftliche Risiken gesehen werden. Die Kategorien dienen lediglich einer groben Einteilung zum Zweck eines besseren Überblicks.

Umwelt

Klimaschutz gehört zu den großen Herausforderungen unserer Zeit. Eines der größten Risiken für die Umwelt wie für die Gesellschaft insgesamt stellt eine zu langsame Umsetzung notwendiger Maßnahmen beim Klimaschutz dar. Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, weisen einige Teilsysteme des Klimasystems kritische Schwellenwerte auf, bei deren Überschreiten es zu starken und teils unaufhaltsamen und unumkehrbaren Veränderungen kommen kann. Solche Kipppunkte sind beispielsweise das Schmelzen des grönländischen Eisschildes, die Instabilität des westantarktischen Eisschildes, die Abnahme der Albedo in der Arktis oder das Auftauen des Permafrostbodens unter Freisetzung von Methan und Kohlendioxid. Bereits in diesem Jahrhundert könnte ein Kipppunkt erreicht werden, der zum Abschmelzen des westantarktischen Eisschildes führt. Damit verbunden wäre wahrscheinlich ein sehr schneller Anstieg des Meeresspiegels um mehr als 1 m pro Jahrhundert. Falls das Abschmelzen

des grönländischen Eisschildes sich beschleunigt, ist mit einem weiteren Anstieg des Meeresspiegels von bis zu 7 m zu rechnen. Ein derartiger Meeresspiegelanstieg wäre wiederum mit äußerst gravierenden Auswirkungen für küstennahe Gebiete verbunden (Rahmstorf et al. 2019).

Auch extreme Wetterereignisse, wie beispielsweise Hitzewellen und Trockenheit bzw. Wasserknappheit, Kältewellen, Kältespitzen und Eisregen, Starkwind und Stürme, werden im Zuge des Klimawandels immer wahrscheinlicher. Kritische Witterungsentwicklungen, die in der Vergangenheit selten aufgetreten sind, ereignen sich in immer kürzeren Abständen und mit größerer Wucht. Starkwetterereignisse haben tendenziell eher einen akuten Charakter, können allerdings in der Folge weitere kritische Ereignisse nach sich ziehen, wie etwa eine Übersterblichkeit in älteren Bevölkerungsgruppen bei Hitzewellen oder Katastrophen wie Erdbeben bei Dauerregen oder Lawinenabgänge bei Vielschnee. Naturkatastrophen haben ebenso wie extreme Wetterereignisse einen vorwiegend akuten Charakter. Zu ihnen zählen z. B. Vulkanausbrüche, Erdbeben, Tsunamis, Überflutungen, Muren- und Geröllabgänge oder Meteoriteneinschläge. Naturkatastrophen sind ebenso erwartbar, aber bislang noch weniger vorhersagbar als Starkwetterereignisse. Allerdings arbeiten Geowissenschaften und Astrophysik intensiv an Instrumenten der Fern- und Frühaufklärung beispielsweise in Bezug auf Vulkanausbrüche oder Meteoriteneinschläge.

Der Verlust der Biodiversität gehört laut der Risikoanalyse des Weltwirtschaftsforums aktuell zu den größten globalen Risiken (WEF 2022). Die Vielfalt der Tier- und Pflanzenwelt ist in vielen Bereichen von hoher Bedeutung für Ernährung und Gesundheit. Beispielsweise stellt die Agrobiodiversität eine wesentliche Voraussetzung für die Produktivität und Ressourceneffizienz entlang der Wertschöpfungskette Boden–Pflanze–Tier–Nahrung dar. Dabei hat etwa die Tatsache, dass immer mehr Lebensmittel mit immer weniger Pflanzen- und Tierarten produziert wird, zur Folge, dass immer mehr Nutztierassen und Pflanzensorten vom Aussterben bedroht sind. Ebenso wird durch Landverbrauch für Gebäude und Infrastruktur, durch Umweltverschmutzung und Rodung von (Ur-)Wäldern die Zusammensetzung der Tier- und Pflanzenwelt kontinuierlich verändert und führt zu einem Rückgang der Artenvielfalt (Braun 2017). Dies verstärkt das Risiko, dass die Pflanzen- und Tierzucht und damit die landwirtschaftlichen Produktionssysteme beeinträchtigt werden. Der Verlust natürlicher Lebensräume erhöht außerdem das Risiko für zukünftige Gesundheitskrisen, wie etwa zoonotische Infektionsausbrüche.

Wirtschaft

Finanz- oder Wirtschaftskrisen haben in der Regel ebenfalls systemischen Charakter mit negativen Auswirkungen auf unterschiedlichste Gesellschaftsbereiche. Insbesondere wenig regulierte Finanzmärkte sind großen Schwankungen ausgesetzt, die sich aufgrund der globalen finanzwirtschaftlichen Vernetzung und der KI-basierten und extrem schnellen Transaktionen heute sehr schnell zu globalen Krisen ausbreiten können. So war die Finanzkrise 2008 im Kern ein in den US-Immobilienmärkten hausgemachtes Problem, welches im weiteren Verlauf zur Krise in Europa und insbesondere Griechenland geführt hatte. Geraten Wirtschaftssysteme unter Stress, kann sich dies durchaus sehr langfristig auswirken. So sind beispielsweise die Kapital- und die Machtkonzentration in der US-Digitalwirtschaft auch ein Ergebnis bislang geringer staatlicher Regulierungsbemühungen. Heute zeigen sich in der Folge sowohl politische als auch wirtschaftliche Abhängigkeiten und eine soziale Manipulationsmacht der großen Digitalunternehmen.

Cyberangriffe können die Funktionsfähigkeit von kritischen Infrastrukturen massiv beeinträchtigen, und die Wahrscheinlichkeit, dass kritische Dienstleistungen aufgrund von Cybergefahren ausfallen, steigt an. In den letzten Jahren waren bereits Krankenhäuser betroffen, die sich aufgrund einer Cyberattacke von der Notfallversorgung abmelden mussten; es ereigneten sich Stromausfälle, die auf Cybersabotage zurückgeführt werden konnten; aber auch fehlerhafte Software-Updates oder Konfigurationsfehler verursachten unerwartete Ausfälle kritischer Dienstleistungen (BBK o. J.b). Das WEF (2022) zählt die Schwächung der Cybersicherheit in Europa zu den fünf Risiken, die sich seit Beginn der Coronakrise am meisten vergrößert haben. In Kombination mit der Tatsache, dass digitale Währungen einer immer breiteren Öffentlichkeit zugänglich sind, führe dies zu einer explosiven Situation (WEF 2022). Als Resultat der rasanten digitalen Transformation werden Cyberattacken auf hochtechnisierte Systeme (Krankenhäuser, Banken, Börsen, Verkehrssysteme, Verwaltungsstrukturen etc.) zukünftig vermutlich stark zunehmen.

Aufgrund der Konzentration auf nur wenige Unternehmen oder Länder besteht ein Risiko von kurz- und mittelfristigen Versorgungsengpässen mit Energieträgern und Rohstoffen. Insbesondere bei Erdöl und Gas sowie den Rohstoffen für die Metallverarbeitung und bei zahlreichen Industriemineralien ist Deutschland stark von Importen abhängig. Der Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine hat in besonderer Weise die Abhängigkeit und

Verwundbarkeit Deutschlands von russischen Energieträgern deutlich gemacht. Die Krisenanfälligkeit zeigt sich insbesondere beim Anstieg der Gaspreise (bpb 2022). Neben Öl und Gas, die als strategisch krisenanfällig eingestuft werden, weist die EU bereits seit einigen Jahren kritische Rohstoffe aus, die sie für die eigene Wirtschaft als strategisch relevant bewertet. Hier wird die Vulnerabilität mit dem Begriff der Kritikalität von Rohstoffen zum Ausdruck gebracht. Diese wird dadurch bestimmt, wie wichtig ein Rohstoff für die industrielle Endverwertung in der EU ist, ob potenzielle Versorgungsrisiken bestehen (etwa durch eine Konzentration von Zulieferregionen, ein hohes Maß an Importabhängigkeit, mögliche Handelsbeschränkungen etc.), sowie, ob der Rohstoff recycelt und substituiert werden kann. Für einige Rohstoffe zeichnen sich bereits seit längerem geologische, geopolitische, sozioökonomische und ökologische Versorgungsrisiken ab (Rudloff 2022). Dabei könnten Engpässe bei der Versorgung mit diesen Rohstoffen beispielsweise die Umsetzung der Energie- und der Mobilitätswende sowie der Digitalisierungsziele ausbremsen.

Gesellschaft

Epidemien und Pandemien sind seit jeher Bestandteil der menschlichen Zivilisationsgeschichte. Allerdings steigt die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens zunehmend aufgrund eines Ursachengeflechts von sehr dynamischem Bevölkerungswachstum und rasantem Biodiversitätsverlust, zunehmender verdichteter Lebensräume, geänderter Ernährungsstile und der eng damit verbundenen Massenproduktion von (tierischen) Nahrungsmitteln. Zudem erhöht sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Viren und Bakterien aufgrund einer zunehmenden Mobilität. Während Epidemien sich räumlich begrenzt ausbreiten, haben Pandemien per Definition eine globale Reichweite und eine gewisse Dauerhaftigkeit. An der COVID-19-Pandemie lässt sich zudem die folgenreiche Tatsache ablesen, dass der Charakter eines Virus (Gefährlichkeit, Übertragbarkeit) über die gesellschaftliche Risikowahrnehmung und dadurch über seine politische Regulierbarkeit mitentscheidet. Angenommen, COVID-19 wäre noch deutlich virulenter und mit höherer Wahrscheinlichkeit tödlich gewesen, überdies auch für jüngere Generationen, dann hätte dies sicher eine deutlich andere sozial-psychologische Ausgangslage öffentlich-kommunikativer und politisch-regulativer Bewältigungsstrategien zur Folge gehabt. An dem Beispiel dieser Pandemie zeigt sich deutlich, dass die soziale Risikowahrnehmung immer auch auf einem Prozess gesellschaftlicher Risikokonstruktion basiert, den es für die Gesamtbetrachtung politischer Resilienzkonzepte zu beachten gilt.

Ein weiteres Risiko mit systemischem Potenzial besteht in der sozialen Spaltung der Gesellschaft, deren Ursachen und Wirkungen vielfältig und hoch interdependent sind. So nennt das WEF (2022) Existenzkrisen als eines der potenziell schwerwiegendsten Risiken im nächsten Jahrzehnt. Einkommens- sowie Bildungsunterschiede bewirken demnach eine zunehmende Polarisierung sowie Ressentiments innerhalb der Gesellschaft, während misslungene Integration einer zunehmenden Zahl an Migranten die soziale Spaltung der Gesellschaft noch verstärken könnte. Auch der politische Populismus stellt eine Gefahr und potenzielle Ursache für eine weitgehende Destabilisierung demokratischer politischer Systeme in der Zukunft dar (Rudloff/Schmiege 2016).

Technik

Zu den technisch-industriellen Katastrophen zählen beispielsweise Unfälle in Atomanlagen, Staudämmen, Raffinerien, Chemieanlagen und anderen großindustriellen Anlagen, in denen mit risikobehafteten Materialien und Verfahrensweisen operiert wird. Auslöser können gezielte Manipulationen, etwa bei Terroranschlägen, sein, menschliches Versagen durch nicht regel- und systemkonformes Verhalten sowie Irrtümer und Fehlinterpretationen, Materialermüdung, Baumängel, Fehlprogrammierungen und schließlich endogene Risiken und Organisationsmängel, die aus dem spezifischen Aufbau, der Interdependenz und engen internen Kopplung der Systemkomponenten resultieren. Systemische Großrisiken dieser Art werden in der Risiko- und Katastrophensoziologie und Technikfolgenforschung bereits seit Jahrzehnten umfassend untersucht (Perrow 1984). Resilienzsteigernde Gestaltungsprinzipien wie Vielfalt, Redundanz und systematisches Monitoring resultieren aus dieser Forschung und werden im Systemdesign dieser Anlagen bereits eingesetzt. Allerdings zeigen Ergebnisse dieser Forschungen auch, dass ein Eintreten von Katastrophen ab einem bestimmten Komplexitätsniveau nicht ausgeschlossen werden kann.

Mehrere Stromausfälle in Europa und Nordamerika in den letzten Jahren, die massive Funktions- und Versorgungsstörungen, Gefährdungen der öffentlichen Ordnung sowie Schäden in Milliardenhöhe verursachten, haben die Verletzbarkeit von modernen und hochtechnisierten Gesellschaften deutlich werden lassen (NDR 2022).

Die Folgen eines langandauernden und großflächigen Stromausfalls auf die Gesellschaft und ihre kritischen Infrastrukturen in Deutschland wurden in einem TAB-Bericht von 2010 analysiert (TAB 2010). Mittels umfassender Folgenanalysen zeigte die Studie, dass bereits nach wenigen Tagen in betroffenen Gebieten die bedarfsgerechte Versorgung der Bevölkerung mit (lebens)notwendigen Gütern und Dienstleistungen nicht mehr sicherzustellen ist. Auch wurde deutlich gemacht, dass erhebliche Anstrengungen erforderlich sind, um die Durchhaltefähigkeit kritischer Infrastrukturen zu erhöhen sowie die Kapazitäten des nationalen Systems des Katastrophenmanagements weiter zu optimieren.

Geopolitik

Ein fortschreitender Wandel der geopolitischen Lage birgt neue systemische Risiken durch gewalttätige Konflikte und kriegerische Auseinandersetzungen. Der Ukraine-Krieg etwa stellt Grundannahmen deutscher und europäischer Russland- und Osteuropapolitik infrage und erweist sich als Treiber für eine Neuausrichtung sowohl der europäischen Sicherheitsarchitektur als auch der europäischen Energiepolitik (SWP 2022). Eine militärische Auseinandersetzung zwischen den USA und China im Taiwan-Konflikt hätte massive Auswirkungen auf die globale Wirtschaft und internationale Machtverhältnisse. Auch Fluchtbewegungen aufgrund von ethnischen Konflikten und Bürgerkriegen können eine Destabilisierung von Staaten und Gesellschaften befördern.

Mit geopolitischen Konflikten eng verknüpft sind geoökonomische Konflikte. Eine zentrale Frage für die deutsche Wirtschaft wird zunehmend sein, wie sich zwischenstaatliche Konfrontationen auf die enge wirtschaftliche Verflechtung mit anderen Ländern auswirken und was dies für die internationale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen bedeutet. Risikorelevant sind etwa starke Abhängigkeiten beim Handel mit China, sowohl import- als auch exportseitig. So sind etwa Seltene Erden, von denen 95 % in China gewonnen werden, für Zukunftstechnologien von immenser Bedeutung, u. a. für die Elektromobilität, Windenergie, Katalysatoren, Informations- und Kommunikationstechnologien. Exportseitig ist die Abhängigkeit im Automarkt besonders groß (Degreif et al. 2017; Reisch 2022).

Multiple Krisen bzw. Polykrisen

Konflikte bzw. Bedrohungslagen können in ihrem Zusammenwirken im Rahmen der gesellschaftlichen und ökonomischen Entwicklungspfade zu neuen Gefährdungslagen führen. Diskutiert wird, dass systemische Risiken zunehmend mit anderen Risiken konvergieren und zu multiplen Risiko- bzw. Gefährdungslagen führen, die schließlich in Polykrisen resultieren können (Homer-Dixon et al. 2022). So hingen Finanz-, Wirtschafts- und die Schuldenkrise, die ab 2010 in der Eurozone mehrere Mitgliedstaaten der EU erfasst haben, zusammen. Klimaerwärmung, Pandemien und Migrationswellen sind Herausforderungen der jüngeren Geschichte, die ineinandergreifen und sich gegenseitig verstärken. Dies zeigt auch der Krieg in der Ukraine, der weitere Krisen befeuert: Energiekrise, Lebensmittelkrise und Inflation (und darüber indirekt auch die Klimakrise). Ebenso führte der Angriff der Hamas auf Israel am 7. Oktober 2023 zu einem Aufflammen des Nahostkonflikts, da er eine Eskalation der Gewalt auslöste, geopolitische Spannungen verschärfte und den Antisemitismus sowohl innerhalb des Nahen Ostens als auch international förderte. Dabei geht es weniger um ein zufälliges Zusammentreffen voneinander unabhängiger Krisen, sondern vielmehr um ein zeitgleiches Stattfinden von Krisen als Folge gleicher bestehender Kontextbedingungen globaler Wirtschaft und nicht nachhaltiger Lebensformen, wie Homer-Dixon et al. (2022) anmerken. Die Autor/innen weisen auf zwei Trends hin, die zu einer Risikobeschleunigung und -verstärkung sich überlappenden Krisen beitragen: zum einen der wachsende Ressourcenverbrauch und der zunehmende Schadstoffausstoß, welcher über die Grenzen der planetarischen Resilienz hinausgeht, und zum anderen die immer stärkere Vernetzung menschlicher Systeme bei gleichzeitig hoher Geschwindigkeit der Material-, Energie- und Informationsflüsse. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Teilen sind noch weitgehend unbekannt und die Mechanismen noch zu wenig erforscht, um sicher sagen zu können, wie sich die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den globalen Systemen auf Umwelt und Gesellschaft auswirken (Homer-Dixon et al. 2022).

6 Exemplarische Resilienzanalysen: Gesundheits- und Mobilitätssystem

In diesem Kapitel werden exemplarisch zwei Resilienzanalysen durchgeführt: Während im ersten Fallbeispiel das Gesundheitssystem untersucht wird, geht es beim zweiten Fallbeispiel um die Analyse der Resilienz des Verkehrssystems mit dem Fokus auf die beiden Verkehrsträger Straße und Schiene. Beide Systeme gehören zu den kritischen Infrastrukturen, die eine wichtige Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen haben und bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen zu erwarten wären.²⁰ Im Fokus beider Fallbeispiele steht der Klimawandel als ein besonders eindrückliches und viel diskutiertes Beispiel für systemische Risiken, die wegen ihrer globalen und vernetzten Wechselwirkungen zu multiplen kaskadenartigen Folgen führen sowie wirtschaftliche und sozialen Krisen hervorrufen (Kap. 5). Das Durchspielen potenzieller Bedrohungslagen und damit verbundener möglicher Auswirkungen soll eine Betrachtung ermöglichen, mit welchen Ansätzen die Resilienz der betrachteten Systeme erhöht werden kann.

Der Prozess der hier durchgeführten Resilienzanalysen umfasst drei Schritte: Als erstes erfolgt eine Beschreibung der Bedrohungslagen, die sich aus dem Klimawandel für das Gesundheits- bzw. Verkehrssystem ergeben können. Im zweiten Schritt werden mögliche Folgen für die betrachteten Systeme analysiert. Hier spielt die Betrachtung der Vulnerabilität dieser Systeme eine zentrale Rolle. Im dritten Schritt wird untersucht, mit welchen Ansätzen die Resilienz der Systeme erhöht werden kann. Den Rahmen dafür liefern die in Kapitel 2.2 beschriebenen Handlungsfelder »Risiken und Schwachstellen identifizieren«, »Vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse«, »Auffangen und Abmildern von bereits eingetretenen Schäden« und »Schaffung von anpassungsfähigen Strukturen«.

6.1 Fallstudie Gesundheit

6.1.1 Problemstellung und Systembild

Das Gesundheitswesen ist systemischen Risiken ausgesetzt, die die Funktionalität des Systems auf grundlegende Art und Weise bedrohen können. Zu den systemischen Risiken zählen nicht nur Pandemien und Terrorismus, sondern auch der Klimawandel (Kap. 5). Gemäß der Talinn-Charta der WHO wird das Gesundheitssystem dabei als Gesamtheit aller öffentlichen und privaten Organisationen, Einrichtungen und Ressourcen definiert, die unter den jeweils gegebenen politischen und institutionellen Rahmenbedingungen darauf abzielen, die Gesundheit zu verbessern, zu erhalten oder wiederherzustellen. Das Gesundheitssystem umfasst sowohl die individuelle als auch die bevölkerungsbezogene Gesundheitsversorgung sowie Maßnahmen, um andere Politikbereiche dazu zu bewegen, in ihrer Arbeit an den sozialen, umweltbedingten und ökonomischen Determinanten von Gesundheit anzusetzen (WHO 2020; WHO/Regionalbüro für Europa 2008).²¹

Kennzeichnend für das deutsche Gesundheitssystem, aber auch für viele andere moderne Gesundheitssysteme, ist die wechselseitige Beziehung zwischen verschiedenen Akteursgruppen. Im Mittelpunkt stehen die Patient/innen als Leistungsempfänger, die von den Leistungserbringenden wie Ärzt/innen, Apotheker/innen, Pflegekräften und sonstige Heilberufen versorgt werden. Hinzu kommen die Leistungsfinanzierenden (Versicherte, Arbeitgeber/innen und Selbstzahler/innen), die Leistungsträger (Kranken-, Unfall-, Pflege- und Rentenversicherung, Beihilfestellen und die Kassenärztlichen Vereinigungen) sowie letztlich der Staat und die jeweiligen Interessenverbände bzw. Lobbygruppen (Friesendorf/Lüttschwager 2021). Das Bundesministerium für Gesundheit (BMG) definiert zentrale Funktionen des Gesundheitssystems, die zur optimalen Versorgung der Bürger/innen gewährleistet werden müssen: Prävention und Gesundheitsförderung sowie die gesundheitliche und pflegerische

²⁰ Weitere Ausführungen zu kritischen Infrastrukturen in Deutschland (BBK o.J.b)

²¹ Im Original: »Health Systems for Health and Wealth: Within the political and institutional framework of each country, a health system is the ensemble of all public and private organizations, institutions and resources mandated to improve, maintain or restore health. Health systems encompass both personal and population services, as well as activities to influence the policies and actions of other sectors to address the social, environmental and economic determinants of health.« (WHO/Regionalbüro für Europa 2008).

Versorgung, Information und Beratung, Forschung und Ausbildung, Versicherer und Kostenträger sowie Arzneimittel, Impfstoffe und medizinische Produkte (BMG 2022).

Im Folgenden werden das systemische Risiko Klimawandel und die damit verbundenen Bedrohungslagen, die Auswirkungen auf die Funktionalität des Gesundheitssystems dargestellt und resilienzorientierte Handlungsfelder erläutert, die als mögliche Ansatzpunkte zur Stärkung der Widerstandskraft und Robustheit des Gesundheitssystems beitragen können.

6.1.2 Systemisches Risiko Klimawandel

Bedrohungslagen

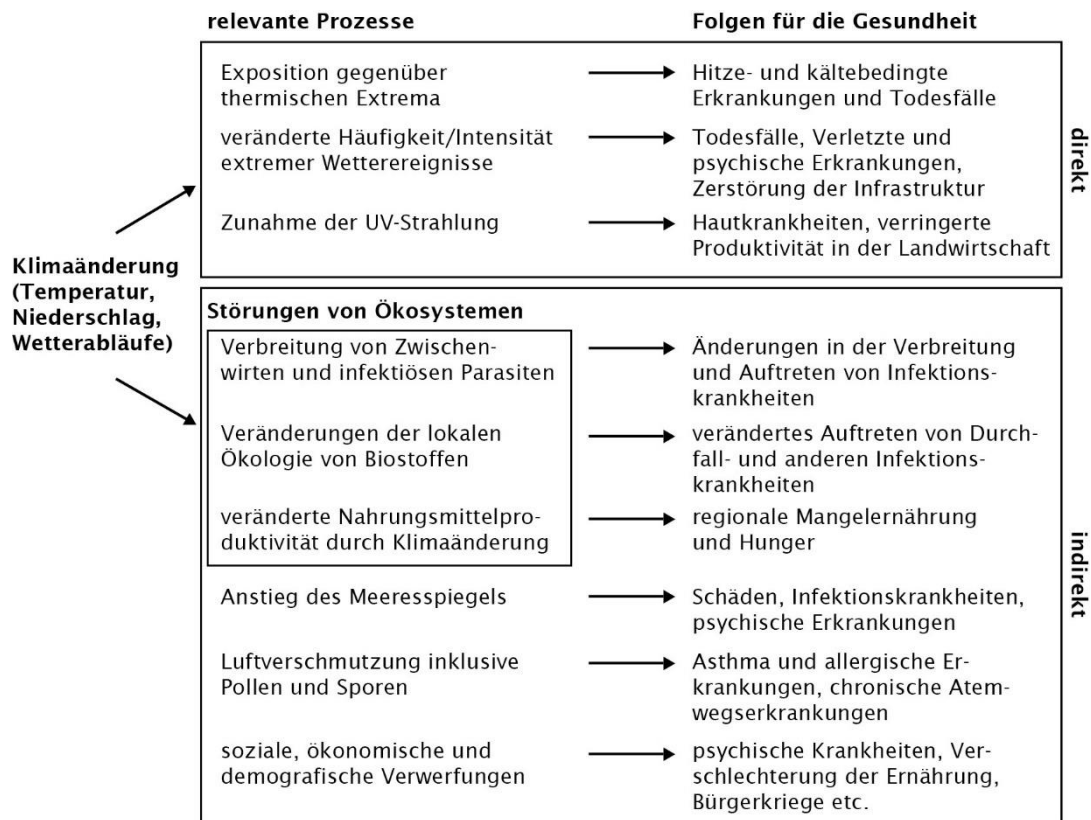
Der Klimawandel gilt als eines der größten Risiken für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen im 21. Jahrhundert (Eichinger/Herrmann 2020, S. 10 ff.; Wieler 2022). Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit und das Gesundheitssystem können, grundsätzlich direkter oder indirekter Natur sein (Abb. 6.1).

Zu den direkten Auswirkungen des Klimawandels zählen Effekte, die unmittelbar mit den klimatischen Veränderungen zusammenhängen und negative Auswirkungen auf den menschlichen Körper haben können. Dazu gehören thermische Extrema wie Hitze und Kälte, extreme Wetterereignisse und die Abnahme der Ozonschicht. Spätestens seit den Hitzewellen²² von 2003, 2006, 2013 und 2018 steht im Zusammenhang mit thermischen Belastungen auch in Deutschland die Wärmebelastung im Fokus. Das RKI schätzt, dass von 2018 bis 2020 etwa 20.000 zusätzliche Todesfälle durch hohe Sommertemperaturen verursacht wurden. Damit wurde erstmalig in 3 aufeinanderfolgenden Jahren ein signifikantes Ansteigen hitzebedingter Sterbefälle aufgezeigt (Winklmayr et al. 2022).

Auch die zunehmende Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen, wie Überschwemmungen, Stürme oder langanhaltende Dürrephasen, haben direkte Auswirkungen auf die Gesundheit. Sie können einerseits zu einem direkten, erheblichen Verlust an Menschenleben führen (Durani 2023). Andererseits dürfen auch die psychischen Schäden, die sie in einer Bevölkerung verursachen und die das Gesundheitssystem überlasten können, nicht unterschätzt werden. Zudem besteht die Gefahr, dass Extremwetterereignisse die bestehende Gesundheitsinfrastruktur beschädigen oder zerstören (Jendritzky 2009). Das Beispiel der Flutkatastrophe im Ahrtal verdeutlicht, dass auch in Deutschland die Wetterereignisse extremer werden.

²² Hitzewellen werden als Phasen mit mindestens 3 aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur größer dem 95 % Perzentil definiert (Zacharias/Koppe 2015).

Abb. 6.1 Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Gesundheit (I)



Eigene Darstellung basierend auf Jendritzky 2009; WHO et al. 1996

Die steigende ultraviolette (UV) Strahlung kann aufgrund ihrer strahlungsphysikalischen Eigenschaften ebenfalls direkte Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Dabei ist die UVB-Strahlung als Hauptrisikofaktor für die Entstehung von Hautkrebserkrankungen für die menschliche Gesundheit von besonderer Bedeutung (Greinert et al. 2008). Zusätzlich zu einer klimatisch bedingten Veränderung bzw. Intensivierung der UV-Strahlung an sich ist davon auszugehen, dass klimatische Veränderungen auch das menschliche Expositionsverhalten beeinflussen. So kommt es an sonnenreichen Tagen mit Temperaturen im thermischen Komfortbereich zu einer deutlich erhöhten UV-Exposition, wenn Menschen z. B. mehr im Garten arbeiten oder sich im Schwimmbad aufhalten. Auch tragen Menschen bei wärmeren Temperaturen oft weniger Kleidung und ihre Haut ist vermehrt der UV-Strahlung ausgesetzt. Auch dies beeinflusst das Auftreten von Hautkrebs, der gerade bei der hellhäutigen Bevölkerung zunimmt (Durani 2023).

Neben direkten Folgen des Klimawandels wirken sich auch indirekte Effekte negativ auf die Gesundheit aus. In der Forschung besteht Konsens darüber, dass im Zuge des Klimawandels vor allem die Störung von Ökosystemen zu indirekten Gesundheitsrisiken führt. So können Veränderungen des Klimas dazu führen, dass sich die Verteilung, das Vorkommen und die Übertragung von infektiösen Parasiten und Zwischenwirten verändern. Insbesondere vektorübertragene, also durch Tiere auf den Menschen übertragene Krankheiten, sowie Zoonosen, also Krankheiten, bei denen eine Übertragung vom Tier auf den Menschen und umgekehrt möglich ist, werden durch ein verändertes Klima beeinflusst (Grunert 2015). So kann der Klimawandel den Untergang des natürlichen Habitats für Wildtiere bei gleichzeitig räumlicher Ausbreitung der Menschen und in der Folge verstärkte bzw. neue Kontakte zwischen Mensch und Tier beeinflussen (SVR 2023). Auch die Veränderungen der Vegetationsmuster können dazu führen, dass bestimmte Krankheitserreger durch veränderte Bedingungen begünstigt werden. Eine deutschlandspezifische Perspektive auf die Auswirkungen des Klimawandels auf Infektionskrankheiten ist nicht ausreichend, da eine erhöhte globale Mobilität und Migration, aber auch ein weiterhin steigender globaler Waren- und Tiertransport dazu führen, dass sich Krankheitserreger leicht über Ländergrenzen hinweg ausbreiten (Augustin et al. 2021). Die höheren Durchschnittstemperaturen in Kontinentaleuropa und die daraus resultierenden bes-

seren Überlebenschancen für Parasiten und Zwischenwirte verstärken die Annahme, dass neue Infektionskrankheiten aufgrund des Klimawandels auch nach Deutschland kommen werden (Vogel/Schaub 2021; Prüfer-Krämer/Krämer 2013). So gab es z. B. 2019 in Deutschland den ersten Fall des West-Nil-Fiebers, einer in verschiedenen Regionen der Welt durch Mücken verursachten endemisch vorkommenden Zoonose (RKI 2022b). Der Grund liegt u. a. in Extremwetterereignissen, die eine schnelle Ausbreitung von Stechmücken begünstigen. Seit einigen Jahren lebt beispielsweise die asiatische Tigermücke auch in Deutschland, etwa im Oberrheingebiet oder in Berlin (Ärzte.de 2020).

Des Weiteren treten im Zuge des Klimawandels vermehrt durch Wasser und Nahrungsmittel übertragene Infektionen auf, da sich durch die Erderwärmung Gleichgewichte in lokalen ökologischen Systemen verschieben und die Überlebenschancen für tierische Zwischenwirte und Überträger von Krankheitserregern günstiger geworden sind (WHO et al. 1996). Aktuell sind in Deutschland noch keine dramatischen Verschlechterungen der Trinkwasserhygiene im Sinne der Bewahrung einwandfreier Trinkwasserbeschaffenheit bekannt. Nichtsdestotrotz besteht ein Risiko, dass Starkniederschlagsereignisse und längere Trockenperioden zu Krankheitsausbrüchen führen können, die dann über das Trinkwasser übertragen werden (Karthe 2015). Nicht zuletzt begünstigt der Klimawandel auch Infektionserkrankungen, die durch Nahrungsmittel übertragen werden. Zu den am häufigsten durch Nahrungsmittel übertragenen Erregern zählen *Campylobacter* und *Salmonella Typhi*. Beide lösen zumeist eine schwere Magen-Darm-Infektion bei den Betroffenen aus. Aktuell zeigen die bekannten Zahlen noch kein besorgniserregendes Bild, jedoch werden steigende Temperaturen in der Zukunft zu mehr Ansteckungen führen und das deutsche Gesundheitssystem weiter belasten (Augustin et al. 2017).

Neben der Störung von Ökosystemen gibt es weitere Gesundheitsrisiken, die indirekt durch den Klimawandel ausgelöst werden. So führt der Anstieg des Meeresspiegels nicht nur zur Zerstörung von Infrastruktur, wie Wohnhäuser oder sanitäre Einrichtungen, sondern auch zu einer Verdrängung der Bevölkerung. Durch den Verlust von Landfläche sehen sich die betroffenen Menschen gezwungen zu migrieren (Sachverständigenrat für Integration und Migration 2023). Die Wanderungsbewegungen, aber auch die dadurch entstehende Überbevölkerung an anderen Orten und die Verseuchung des Trinkwassers tragen dazu bei, dass sich Infektionskrankheiten zunehmend ausbreiten (Jendritzky 2009). In Deutschland stellt der Anstieg des Meeresspiegels für die an der Nord- und Ostsee lebenden Menschen eine Gefahrenlage dar. Das Funktionieren des deutschen Gesundheitssystems wurde bisher noch nicht durch diese Entwicklung beeinträchtigt, jedoch schließen plausible Zukunftsszenarien eine zukünftige Beschädigung der kritischen Infrastruktur durch den Anstieg des Meeresspiegels nicht aus (Rasquin 2021; Meinke 2021).

Auch die indirekt mit dem Klimawandel in Zusammenhang stehende Luftverunreinigung zählt zu den Risikofaktoren für die Gesundheit. Die Wirkung von Luftschadstoffen auf die Gesundheit begründet sich vor allem in der chemischen Zusammensetzung ihrer Einzelstoffe und deren Eigenschaften (z. B. Toxizität), der Höhe der Emissionen sowie der Partikelgröße. Dabei treten Luftschadstoffe in der Regel entsprechend ihrer Quelle, wie dem Straßenverkehr, als Gemisch verschiedener Einzelsubstanzen (z. B. Feinstaub PM, Ozon O₃ und Stickstoffdioxid NO₂) auf und wirken auf die Gesundheit ein (Augustin 2019). Luftverunreinigungen wirken sich besonders auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und die dadurch bedingte Sterblichkeit, z. B. aufgrund von Herzinfarkten, aus. Sie können aber auch zu Atemwegserkrankungen wie Asthma und Lungenentzündungen oder einer verringerten körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit führen (Augustin et al. 2017). An Tagen mit erhöhten Werten an NO₂ in der Luft ist das Risiko einer Krankenhauseinweisung für Menschen mit bestimmten Erkrankungen wie Asthma oder der chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) erhöht (Hoffmann et al. 2022).

Des Weiteren haben die veränderten Klimabedingungen Einfluss auf die Vegetation bzw. die saisonale Entwicklung von Pflanzen und damit auf die Veränderung von Pollensaison, -menge und -allergenität sowie die Verbreitung invasiver Arten mit allergenem Potenzial (Fehr/Augustin 2022). Durch die klimawandelbedingte Ausbreitung von neuartigen Pflanzen, wie z. B. Ambrosia, kommt es zu erhöhten Pollenvorkommen, die die Allergenexposition für Allergiker/innen erhöhen. Zusätzlich fördert das wärmere Klima in Kombination mit der Luftverschmutzung und einem erhöhten CO₂-Gehalt die Produktion und Allergenität von Pollen (Luschkova et al. 2022).

Ergänzend zu den genannten Auswirkungen besteht ein diffuses Spektrum an sozialen, demografischen und ökonomischen Verwerfungen, die in Zusammenhang mit der Klimaveränderung stehen und die Gesundheit der Menschen gefährden. Klimawandelbedingte Migration findet sich bereits überall auf der Welt, zumeist innerhalb der Länder und zwischen direkt benachbarten Ländern. Schätzungen der Beobachtungsstelle für Binnenvertreibung (IDMC) gingen 2021 bei insgesamt rund 38 Mio. innerstaatlichen Vertreibungen von 22,3 Mio. Vertreibungen durch Extremwetterereignisse wie Stürme oder Überschwemmungen aus (Sachverständigenrat für Integration

und Migration 2023). Laut Internal Displacement Monitoring Center (IDMC) wurden in Deutschland zwischen 2008 und 2022 etwa 74.000 Menschen aufgrund von Ereignissen wie Stürmen, Überschwemmungen und Waldbränden innerhalb des Landes vertrieben. Der Großteil entfiel auf das Hochwasser in Mitteleuropa 2013 (53.000 Vertriebene) und die Hochwasser sowie Überschwemmungen im Juli 2021 (16.000 Vertriebene), bei denen über 180 Menschen ihr Leben verloren. Deutschland ist zudem das erklärte Ziel vieler Menschen, die aufgrund des Klimawandels und den sich verschlechternden Umweltbedingungen in ihrer Heimat die Entscheidung getroffen haben, zu emigrieren. Allen relevanten Untersuchungen zufolge wird sich diese Entwicklung in den nächsten Jahren weiter zuspitzen. Das deutsche Gesundheitssystem sieht sich schon heute einem erhöhten Stress ausgesetzt und könnte bei immer größeren Fluchtbewegungen nach Deutschland an seine Belastungsgrenzen gebracht werden (Formella/Giesing 2022; Künzel/Wirsching 2017; Müller et al. 2012).

Nicht zu unterschätzen sind die mit dem Klimawandel einhergehenden psychischen Gesundheitsrisiken für Menschen. Einerseits kann es im Rahmen von Naturkatastrophen und der Veränderung des Lebensraums durch den Klimawandel zu Traumaereignissen wie der posttraumatischen Belastungsstörung kommen. Diese Krankheiten treten nicht nur bei direkt betroffenen Personen auf, sondern auch bei vermeintlich unbeteiligten Menschen aufgrund der Omnipräsenz der Problematik im alltäglichen Leben (Bunz/Mücke 2017; Reese/Menzel 2020). Andererseits können Anpassungsstörungen im Rahmen von einschneidenden Lebensereignissen auftreten, wie z. B. dem Tod von Angehörigen etwa durch Hitzeschlag. Es wird befürchtet, dass der Anstieg des Bedarfs an trauma- und psychotherapeutischer Versorgung immer fragileren Gesellschafts- und Versorgungsstrukturen gegenüberstehen wird, die immer weniger in der Lage sein werden, eine adäquate therapeutische Unterstützung vorzuhalten (Nikendei 2022).

Es kann festgehalten werden, dass der Klimawandel enorme gesundheitliche Risiken mit sich bringt. In besonders betroffenen Regionen ist eine Kombination aus sich einander verstärkenden direkten und indirekten gesundheitlichen Auswirkungen zu beobachten. Bei einer weiteren Temperaturerhöhung muss auch mit einem Zusammenbruch der bisher bekannten Struktur und Funktionsweise der Gesundheitsversorgungssysteme gerechnet werden (Nikendei 2022). Inwiefern das deutsche Gesundheitssystem bereits kurz- und mittelfristig durch den Klimawandel bedroht wird, soll im nächsten Kapitel exemplarisch für das Thema Hitze behandelt werden.

Folgen der Bedrohungslagen für das Gesundheitssystem

Es gilt als wissenschaftlich gesichert, dass in Europa seit den 1950er Jahren die Anzahl warmer Tage und Nächte zugenommen hat und die Perioden anhaltender Hitze zunehmen. Dabei kam es in den letzten Jahrzehnten in den meisten Regionen Europas zu überproportional vielen Hitzewellen (Hartmann et al. 2013; Muthers/Matzarakis 2018). Die Auswirkungen von Hitze auf das Gesundheitssystem erhalten daher sowohl in wissenschaftlichen Analysen als auch in politischen Entscheidungen immer mehr Beachtung. Der DWD gibt jeweils für den aktuellen und den Folgetag amtliche Hitzewarnungen aus, wenn es zu einer gefühlten Temperatur²³ von etwa 32 °C bei unzureichender Nachtabkühlung kommt. Im Folgenden werden die Folgen von Hitze für die Gesundheit der Bevölkerung sowie die entstehenden Herausforderungen für die Versorgungsfunktionen des Gesundheitssystems beschrieben. Dabei ist zu bedenken, dass in der Literatur keine einheitliche Operationalisierung des Begriffs Hitze zu finden ist. Während viele Studien sich auf die Lufttemperatur konzentrieren, beziehen einige auch die Luftfeuchtigkeit mit ein.

Hitze: Folgen für die Bevölkerung

Untersuchungen zeigen, dass klima- und hitzebedingte Krankheiten grundsätzlich jeden Menschen betreffen können. Bei anhaltend hohen Temperaturen steigt die Krankheitslast dramatisch an, insbesondere im Zusammenhang mit Lungen- und Herzkreislauferkrankungen (Burkart et al. 2013; Michelozzi et al. 2009). Ist die Luftmasse zudem noch sehr feucht, wird die Wärmebelastung dadurch weiter verstärkt (Matzarakis 2023). Hitze kann zur Überforderung der Thermoregulation führen, aber auch zu Hitzeerschöpfung, Hitzekrämpfen, Kreislaufkollaps bis hin zu Multiorganversagen und zum Tod. Eine Analyse der Daten zwölf europäischer Länder ergab mehr als

23 Die gefühlte Temperatur ist eine künstliche Größe, die das Temperaturempfinden eines Menschen beschreibt. Zur Berechnung setzt der DWD das Klima-Michel-Modell ein, das den Wärmehaushalt eines Modellmenschen (Klima-Michel) bewertet. Die gefühlte Temperatur steigt unter sommerlichen Bedingungen viel schneller als die Lufttemperatur an. Ist es jedoch kühl bei schwachem bis mäßigem Wind, kann sie auch unter die Lufttemperatur absinken (DWD o. J.).

70.000 Tote durch Hitzewellen für 2003 (Robine et al. 2008). Hitze ist dabei nicht nur mit Belastungen für die physische Gesundheit verbunden, sondern auch mit psychischen Auswirkungen (hierzu und zum Folgenden Walinski et al. 2023). Psychische Erkrankungen gehören zudem zu den bedeutendsten Risikofaktoren für hitzebedingte Todesfälle und erhöhen das Mortalitätsrisiko in Hitzewellen um das 3-Fache. Unter extremen Hitzebedingungen steigt auch das Mortalitätsrisiko im Zusammenhang mit Alkohol-, Medikamenten- und Drogenkonsum an. Es ist medizinisch evident, dass eine positive Verbindung zwischen höheren Temperaturen und Suizidalität besteht. In der Woche nach moderater und extremer Hitze ist das kumulative Suizidrisiko etwa doppelt so hoch (Casas et al. 2022). In Bezug auf Kinder und Jugendliche gibt es vergleichsweise wenige Untersuchungen. Es wurde jedoch gezeigt, dass sich ihre psychische Gesundheit bei steigenden Temperaturen verschlechtert und Notaufnahmekontakte aufgrund psychischer Erkrankungen zunehmen (Walinski et al. 2023).

Das UBA weist auf zwölf verschiedene, teilweise überlappende Risikogruppen im Zusammenhang mit Hitze hin. Die erste Gruppe besteht aus älteren Menschen, die aufgrund von alterungsbedingten Einschränkungen und sozialer Isolation besonders anfällig sind. Pflegebedürftige Menschen, Personen mit starkem Übergewicht, chronischen oder akut fieberhaften Erkrankungen gehören ebenfalls zu den Risikogruppen. Menschen mit Demenz, die keine ausreichende Flüssigkeitsaufnahme gewährleisten können, sowie Personen, die bestimmte Medikamente einnehmen, die bei hohen Temperaturen Wechselwirkungen haben können, benötigen besondere Aufmerksamkeit. Auch Menschen mit thermophysiologischen Anpassungsproblemen, Säuglinge und Kleinkinder, Personen, die im Freien arbeiten, und obdachlose Menschen sind erhöhten gesundheitlichen Risiken bei Hitze ausgesetzt (Straff/Mücke 2017). Aber auch Menschen mit geringen sozioökonomischen Status zählen zu den Risikogruppen (Hess 2023). Daneben sind auch Kinder und Jugendliche eine vulnerable Gruppe, da sie insbesondere physiologischen Besonderheiten unterliegen, die es ihnen erschweren, angemessen auf Umwelteinflüsse wie Hitze zu reagieren. Zudem hängt ihr Wohlergehen oft von Bezugspersonen ab. Nicht zuletzt sind Kinder und Jugendliche am längsten von den Auswirkungen des Klimawandels und verstärkter Hitze betroffen und werden in ihrem Leben eine viel größere Zahl von Hitzewellen und Wetterextremen erleben als die heutigen Erwachsenen (Schoierer et al. 2022).

Auf dem 125. Deutschen Ärztetag 2021 wurde intensiv über die Auswirkungen des Klimawandels, insbesondere der zunehmenden Hitze, auf das Gesundheitssystem diskutiert. Es wurde festgestellt, dass vulnerable Personen derzeit nicht ausreichend geschützt sind. Daher forderte der Ärztetag eine Umstrukturierung aller Gesundheitseinrichtungen, um Vorsorge gegenüber Hitze und Hitzewellen zu gewährleisten (Bundesärztekammer 2021a). Auch der Bericht des Lancet Countdown on Health and Climate Change (2021) stellt Defizite im deutschen Gesundheitssystem fest und verweist auf eine zwar im Vergleich zum Vorjahr gestiegene Sensibilisierung für die Notwendigkeit schnellen Handelns unter den Akteuren im Gesundheitswesen, gleichzeitig aber auf eine fehlende Umsetzung der Handlungsempfehlungen der Wissenschaft (The Lancet Countdown on Health and Climate Change 2021). Nicht zuletzt summiert das Gutachten des Sachverständigenrates Gesundheit & Pflege, dass das Gesundheitssystem in Deutschland bislang nicht ausreichend auf die Folgen des Klimawandels vorbereitet ist (SVR 2023).

Hitze: Folgen für die gesundheitliche Versorgung

Hitze kann verschiedene Auswirkungen auf die Gesundheitsversorgung haben. Insbesondere während extremer Hitzewellen ist mit einem Anstieg von hitzebedingten Krankheitsfällen und damit einer höheren Anzahl von Patient/innen zu rechnen, die stationär oder ambulant behandelt werden müssen. Dies bedeutet jeweils eine grundlegende zusätzliche Belastung für die Kapazitäten der Versorgungseinrichtungen. Zudem kann Hitze bei bestimmten chronischen Erkrankungen, wie Atemwegserkrankungen, Diabetes oder Nierenproblemen, zu einer Verschlechterung der Symptome führen. Dies wiederum kann zu einer Zunahme von Patient/innen führen, die stationär wegen bestehender Erkrankungen oder verschlechtertem Gesundheitszustand behandelt werden müssen. Bei steigenden Temperaturen und Hitzewellen kann es zudem notwendig sein, die psychosoziale Betreuung von Menschen mit psychischen Erkrankungen zu intensivieren und präventive Aufklärungsmaßnahmen zu verstärken (Nikendei et al. 2023).

Das Gesundheitsamt Frankfurt/Main analysierte in diesem Zusammenhang Daten des webbasierten IVENA-Systems (Interdisziplinärer Versorgungsnachweis), das Krankenhauseinweisungen mit Angabe der Einweisungsdiagnose über den Rettungsdienst erfasst (hierzu und zum Folgenden Steul et al. 2018). Die Analysen konzentrierten sich auf die Einweisungen im Stadtgebiet von Frankfurt in den Monaten Juni bis August von 2014 bis 2016.

In diesem Zeitraum gab es eine Hitzewelle im Juli 2015, bei der die Temperaturen für mindestens 5 aufeinanderfolgende Tage über 32 °C lagen. Es stellte sich heraus, dass an den Tagen der Hitzewelle eine Zunahme der Krankenhauseinweisungen, auch als exzessive Morbidität bezeichnet, um 22 % zu verzeichnen war. Die Analyse weiterer hitzebedingter Erkrankungen wie Dehydratation, Ohnmacht, unklare Fieberzustände und Hitzeerschöpfung zeigte eine Zunahme von über 300 %. Hinzu kommt, dass auch außerhalb der Hitzewelle eine Korrelation zwischen den Einweisungen und den Temperaturen festgestellt wurde. Wasem et al. (2019) unterstrichen in ihrer Studie den Einfluss von Hitze auf die Morbidität auf der Grundlage einer AOK-Population²⁴ von ca. 1,35 Mio. Personen, die aus verschiedenen Regionen Deutschlands stammten. Während der untersuchten Hitzeperiode wurden in einigen Regionen eine erhöhte Inanspruchnahme von Krankentransportwagen, Notarzt- und Rettungswagen sowie eine signifikant höhere Zahl der Krankenhausaufnahmen im Vergleich zum Referenzzeitraum festgestellt. Wasem et al. (2019) identifizierten auch relevante Unterschiede in den Hauptdiagnosen. Der Volumenmangel²⁵, der durch Hitze verstärkt wird, rückte in der Rangliste der häufigsten Diagnosen von Platz 39 im Referenzzeitraum auf Platz 4 während der Hitzeperiode (Wasem et al. 2019).

Die Bund/Länder-Ad-hoc-Arbeitsgruppe »Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels« stellte 2018 mit Bezug auf den ambulanten Versorgungssektor heraus, dass die Versorgung älterer und alleinstehender Menschen, insbesondere solcher mit kognitiven Problemen, ein besonders problematischer Aufgabenbereich ist. Diese Personen werden häufig von Hausärzt/innen, ambulanten Pflegekräften oder informellen Netzwerken (Familie, Nachbarn) betreut. Die Arbeitsgruppe erkannte, dass die effektive Prävention hitzebedingter Risiken bei diesen Menschen zwar von den formellen Versorger/innen, wie ambulante Pflege und Hausärzt/innen, erwartet wird, aber aus verschiedenen Gründen nicht ausreichend gewährleistet werden kann. Ein Hauptproblem besteht darin, dass die erforderlichen präventiven Maßnahmen überwiegend hauswirtschaftlicher Natur sind, wie regelmäßiges Lüften, Schattieren und ausreichende Flüssigkeitszufuhr. Zudem ist die Verfügbarkeit von Pflegekräften begrenzt, wodurch die erforderlichen Maßnahmen nicht täglich durchgeführt werden können. Ein weiteres Problem liegt in den relativ kurzen Vorwarnzeiten von nur 3 bis 4 Tagen bei Hitzewellen. Gleichzeitig sind viele pflegebedürftige ältere Menschen bei ihren alltäglichen Aktivitäten auf Unterstützung angewiesen. Während einer Hitzewelle sind die Pflegedienste oft nicht in der Lage, eine signifikante Steigerung der Hausbesuche zu bewältigen. Selbst bei optimaler Organisation und Planung reichen die vorhandenen personellen Ressourcen nicht aus. Dies wird besonders herausfordernd, da Hitzeperioden oft in Zeiten auftreten, in denen Ärzt/innen und Pflegekräfte aufgrund von Urlaub bereits knapper verfügbar sind (Becker et al. 2019).

Zwischen Oktober 2020 und Februar 2021 wurden ambulant tätige Ärzt/innen deutschlandweit zu einer Umfrage eingeladen. Hierin wurden Daten zum aktuellen Zustand, zur Bereitschaft, zu Hindernissen und zu Wünschen in Bezug auf den Klimaschutz in Arztpraxen erhoben. Die Ergebnisse zeigen, dass 83 % der Teilnehmenden den Klimawandel als dringendes Problem ansahen, das sofortiges Handeln erfordert. Eine Mehrheit berichtete von klimawandelbedingten Auswirkungen auf die Gesundheit ihrer Patient/innen. Die meisten Teilnehmenden fühlten sich für den Klimaschutz in ihren Praxen verantwortlich und zeigten eine große Bereitschaft, klimafreundliche Maßnahmen umzusetzen. Als Hindernisse wurden fehlende Informationen und Unterstützung durch Berufsverbände sowie finanzielle Mehrkosten genannt. Die Mehrheit forderte die Entwicklung von klimafreundlichen Strategien durch Politik und Institutionen. Basierend auf den nationalen Klimazielen und der Bereitschaft der ambulant tätigen Ärzt/innen zum Klimaschutz in Praxen wird eine berufspolitische Unterstützung durch Maßnahmenempfehlungen und finanzielle Förderungen zur klimafreundlichen Transformation des Gesundheitswesens im Einklang mit Planetary Health als notwendig erachtet (Mezger et al. 2021).

Neben der Gefahr einer Überlastung der ambulanten und stationären Versorgung durch Hitze und Hitzewellen bestehen erhöhte Risiken für die in den Versorgungseinrichtungen befindlichen Patient/innen sowie für das dort arbeitende medizinische und pflegerische Fachpersonal durch hohe Temperaturen in den Einrichtungen. Im aktuellen Versorgungs-Report Klima und Gesundheit (Günster et al. 2021) wird z. B. auf die mit Hitze verbundenen Dehydratationsrisiken in Einrichtungen der stationären Versorgung sowie des gesamten öffentlichen Gesundheitsdienstes hingewiesen. Besonders problematisch ist, dass überwiegend vulnerable Gruppen temporär oder langfristig in Krankenhäusern und Pflegeheimen untergebracht und durch die steigenden Temperaturen einem

²⁴ Routinedaten von Krankenkassen haben sich mittlerweile als verlässliche Datenquelle etabliert. Dennoch bestehen Fragen zur Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse, insbesondere hinsichtlich der Repräsentativität der Versichertenpopulation. Es ist zu beachten, dass die Studie ggf. nicht alle soziodemografischen Merkmale der Gesamtbevölkerung berücksichtigt.

²⁵ Ein Volumenmangel tritt als Folge des Verlustes der Gesamtkörpermenge von Natrium auf. Die Gründe sind Erbrechen, exzessives Schwitzen, Diarrhoe, Verbrennungen, Diuretikatherapie und Nierenversagen. Die klinischen Zeichen sind verminderter Hautturgor, trockene Schleimhäute, Tachykardien und orthostatische Hypotension. Die Diagnose wird klinisch gestellt (Lewis 2022).

zusätzlichen erhöhten Gesundheitsrisiko ausgesetzt sind. Der Versorgungs-Report erkennt insbesondere bei Hitzewellen ein gestiegenes Dehydrationsrisiko in Krankenhäusern und Pflegeheimen für Risikogruppen, da die stationäre Versorgung bislang nicht ausreichend an die sich verändernden klimatischen Bedingungen angepasst wird (Krebs et al. 2021). In diesem Zusammenhang hat das Deutsche Krankenhausinstitut im Auftrag der Deutschen Krankenhausgesellschaft alle deutschen Krankenhäuser befragt, inwieweit Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Hitzeregulation verfolgt werden (siehe nachfolgend Filser/Levsen 2022). Die Ergebnisse zeigen, dass fast die Hälfte der Krankenhäuser Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Hitzeregulation wenig oder überhaupt nicht umgesetzt haben.

Nicht zuletzt kann Hitze auch zu Infrastrukturausfällen führen, wie beispielsweise Stromausfällen oder Überlastung der Klimaanlage in den Gesundheitseinrichtungen. Diese Ausfälle können die Betriebsfähigkeit von stationären Einrichtungen beeinträchtigen und die Versorgung der Patient/innen erschweren (Straff/Mücke 2017).

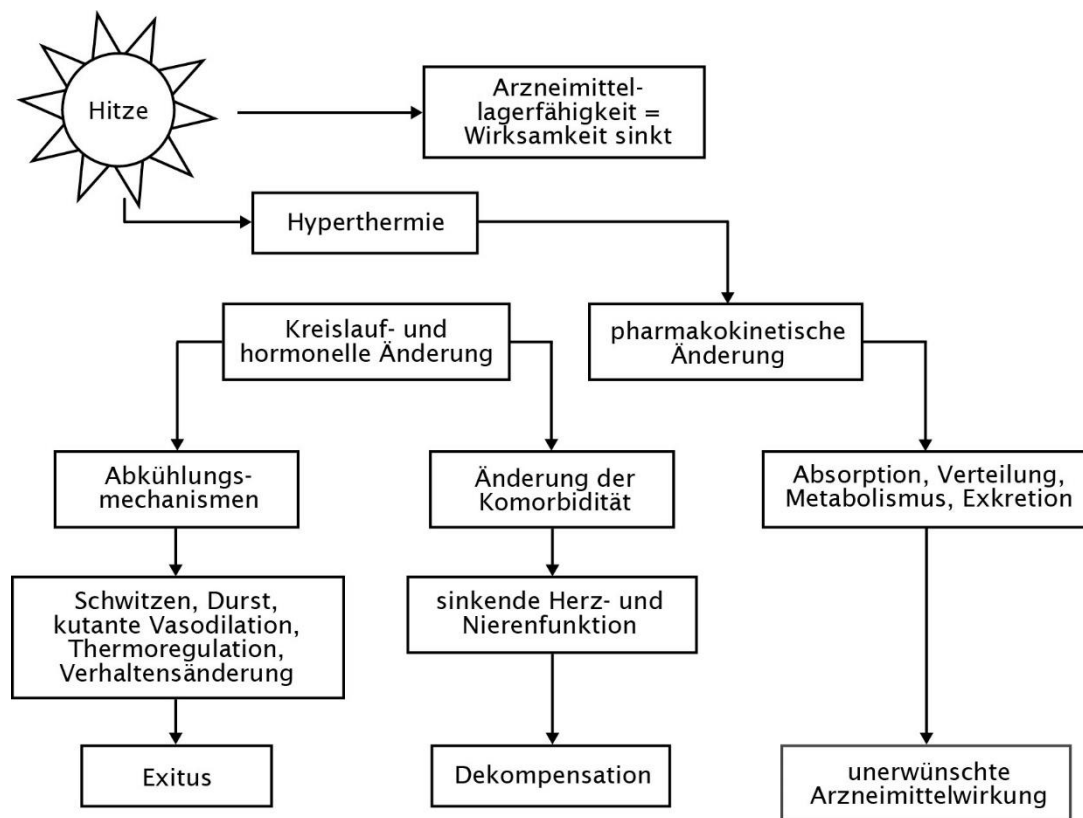
Folgen für die Wirkung von Arzneimitteln

Hitze beeinflusst auch die Wirksamkeit von Arzneimitteln, Impfstoffen und medizinischen Produkten. Wie in Abbildung 6.2 veranschaulicht, werden insgesamt vier verschiedene Arten von Einflussmöglichkeiten von Hitze auf die Arzneimitteltherapie unterschieden (Czock/Haefeli 2023).

Hitze kann unmittelbaren Einfluss auf die Stabilität der Arzneimittel sowie ihre Lagerfähigkeit haben. Sie kann auch die Absorption von Wirkstoffen im Körper beeinflussen, was zu abgeschwächten oder verstärkten Wirkungen führen kann. Besonders halbfeste Darreichungsformen, wie Salben und Emulsionen, können durch Hitze physikalisch beschädigt werden (Czock/Haefeli 2023). Auch Zäpfchen aus Hartfett gelten als physikalisch instabil und können bereits bei kurzzeitiger Erhöhung der Temperatur, z. B. während des Transports, schmelzen. Kühlpflichtige Arzneimittel sind definitionsgemäß anfällig für Hitze, ohne dass eine Schädigung äußerlich erkennbar sein muss. Hierzu zählen insbesondere biotechnologisch aus lebenden Zellen gewonnene Arzneimittel, Impfstoffe sowie Insuline und GLP-1-Rezeptor-Agonisten²⁶ (Schmitz et al. 2019). Aber auch die Funktionsweise bestimmter Darreichungsformen kann durch Hitze beeinträchtigt werden, wie z. B. transportable Inhalatoren (Dosierraerosole). Diese ermöglichen eine kontrollierte Aufnahme von Medikamenten durch Einatmen und finden beispielsweise Anwendung als Asthmasprays. Studien zeigen, dass bei einigen dieser Sprays, die wenige Stunden bei 30°C gelagert wurden, die Dosierung auf 80 % des vorgesehenen Werts gesunken war (Schmitz et al. 2019).

²⁶ Zu den GLP-1-Rezeptoragonisten oder auch GLP-1-Analoga gehören die Wirkstoffe Dulaglutid, Exenatid, Semaglutid, Liraglutid und Lixisentid (letzteres nur als Kombinationspräparat mit Insulin glargin). Die Abkürzung GLP-1 steht für Glucagon-like Peptide-1. Es handelt sich um eines der Darmhormone, das als Reaktion auf die Nahrungsaufnahme ausgeschüttet wird. GLP-1 ist an der Steuerung des Glukosestoffwechsels mitbeteiligt, indem es die Abgabe von Insulin aus der Bauchspeicheldrüse fördert und gleichzeitig das Hormon Glukagon, einen Gegenspieler vom Insulin, hemmt. Außerdem trägt GLP-1 dazu bei, dass das Sättigungsgefühl früher einsetzt. Die GLP-1-Rezeptoragonisten ahmen die Wirkung des Darmhormons GLP-1 nach (Deutsche Diabetes Hilfe o. J.).

Abb. 6.2 Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Gesundheit (II)



Quelle: Czock/Haefeli 2023

Es existieren auch Berichte über Beeinträchtigungen bei Insulinpumpen, nachdem das Infusionssystem extremer Hitze ausgesetzt wurde (Pryce 2009). Nicht zuletzt ist es im Zusammenhang mit Hitze von Bedeutung, dass die individuellen Lagerungsanforderungen von Arzneimitteln variieren können. Die Fachinformationen und Packungsbeilagen zugelassener Arzneimittel enthalten jeweils Informationen zu den getesteten Lagerungsbedingungen gemäß den Vorgaben der Europäischen Zulassungsbehörde. Neben der Wahrung der optimalen Temperatur innerhalb der herkömmlichen Vertriebskette – vom Hersteller über den Großhandel bis zur Apotheke – ist es ebenfalls essenziell zu berücksichtigen, dass Arzneimittel während des Transports von der Apotheke zu den Patient/innen oder bei der Aufbewahrung zu Hause durch Hitze Schaden nehmen können.

Des Weiteren besteht die Vermutung, wie in Abbildung 6.2 dargestellt, dass Arzneimittel die Morbidität und Mortalität bei Hitzeeinwirkung erhöhen können (Czock/Haefeli 2023). Hierbei treten Störungen bei der Regulierung der Körpertemperatur auf, die sich in einer Erhöhung auf über 37 °C äußern (Hyperthermie). Diese Unregelmäßigkeiten können einerseits die Prozesse beeinflussen, denen Arzneistoffe im Körper unterliegen (pharmakokinetische Veränderungen), also die Aufnahme und Verteilung, den biochemischen Um- und Abbau sowie die Ausscheidung der Substanzen. Andererseits können sich Kreislaufveränderungen oder hormonelle Anpassungen ergeben. Arzneimittel können dabei zum einen die körpereigenen Schutzmechanismen stören, indem z.B. durch antimuskarinerge Stoffe wie trizyklische Antidepressiva eine abnorm verminderte Schweißsekretion ausgelöst wird. Sie können zum anderen zu unerwünschten Arzneimittelwirkungen führen beim Vorhandensein einer oder mehrerer Krankheiten (Komorbiditäten). So können beispielsweise Einschränkungen der Organfunktion infolge ungenügender Hydrierung die Ausscheidung von Arzneimitteln vermindern, weshalb ggf. eine Dosisanpassung erforderlich ist. (Czock/Haefeli 2023)

6.1.3 Ansätze für Resilienz

Handlungsfeld »Risiken und Schwachstellen identifizieren«

Frühwarnsysteme

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit werden Präventionsmaßnahmen auf verschiedenen Ebenen initiiert. Hierzu zählen im Zusammenhang mit Hitze verschiedene Frühwarnsysteme, um rechtzeitig aufzuklären und zu warnen. Frühwarnsysteme sind insofern von großer Bedeutung, als sie dazu beitragen, das Gesundheitssystem und die hierin tätigen Akteure, aber auch die breite Bevölkerung sowie spezifische Bevölkerungsgruppen vor klimabedingten Risiken zu warnen, auf mögliche Schutzmaßnahmen zu verweisen und Zeit für Vorbereitungen im weiteren Umgang mit den Gefahren zu schaffen. Die Bedeutung von Frühwarnsystemen wächst vor dem Hintergrund der beschriebenen Risiken nicht nur auf individueller Ebene, sondern auch im Hinblick auf zahlreiche gesundheitsbezogene Institutionen und Settings wie Kommunen, Pflegeheime, Betriebe, Schulen etc.

Auf nationaler Ebene werden in Deutschland verschiedene, jeweils spezifische Frühwarnsysteme eingesetzt. Seit 2004 wird ein Hitze Frühwarnsystem des DWD (o. J.b) zur Information und Sensibilisierung in den Gesundheitssystemen aller Bundesländer betrieben. Das Ziel besteht darin, durch eine frühzeitige Warnung vor Wärmebelastung vor allem Einrichtungen des öffentlichen Gesundheitswesens zu befähigen, geeignete Präventionsmaßnahmen zu ergreifen (Capellaro et al. 2015). Das System arbeitet auf Basis der gefühlten Temperatur und warnt mit zwei unterschiedlichen Hitzewarnstufen.²⁷ Die Warnungen sowie die u. a. durch das RKI und UBA bereitgestellten Informationen sind über die Website, über die Wetter-Apps oder den Newsletter des DWD zugänglich (Matzarakis/Fröhlich 2020). Des Weiteren werden Frühwarnsysteme für Pollen- und Ozonwarnungen (DWD, UBA) sowie der UV-Index des BfS in Zusammenarbeit mit dem UBA, dem DWD und weiteren assoziierten Institutionen eingesetzt. Die allgemeine Bevölkerung kann die Warnungen und Informationen über publizistische Medien, Websites, Newsletter und Apps erhalten. Zum Teil gibt es bei den Frühwarnsystemen auch institutionalisierte Kommunikationswege, bei denen die Warnungen z. B. über die Gesundheitsministerien der Länder an Einrichtungen des Gesundheitswesens (vor allem stationäre Pflegeeinrichtungen) weitergeleitet werden (Capellaro et al. 2015).

Obwohl Frühwarnsysteme wichtige Instrumente zur Minimierung von klimabedingten Gesundheitsrisiken sind, bestehen einige Schwachstellen. Defizite sind die fehlende Kombination der Frühwarnsysteme sowie die begrenzte Einbettung in den institutionellen Alltag der mit den Frühwarnsystemen anvisierten Einrichtungen sowie der Bevölkerung. Viele Gesundheitseinrichtungen haben nicht die notwendigen Ressourcen und Fähigkeiten, um angemessen auf Frühwarnungen zu reagieren. Weitere Defizite sind die begrenzte Berücksichtigung der sozialen und kulturellen Kontexte sowie die fehlende zielgruppenorientierte Ausrichtung der Kommunikation. Dazu ist es wichtig, die jeweils vulnerablen Gruppen zu identifizieren und angemessene Kommunikationswege mit ihnen zu finden. Beispielsweise können bestimmte Bevölkerungsgruppen, wie chronisch kranke, pflegebedürftige oder ältere Menschen, Kinder, Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen oder wohnungslose Menschen, von hitzebedingten Gesundheitsrisiken stärker betroffen sein als andere. Wenn Frühwarnsysteme diese Gruppen oder auch Menschen mit geringen deutschen Sprachkenntnissen nicht angemessen berücksichtigen, kann dies zu negativen Folgen für die Gesundheit der Bevölkerung sowie zur Überbeanspruchung des Gesundheitssystems führen. Bislang werden Informationen über klima- und hitzebedingte Gesundheitsrisiken nicht konsequent an die Risikogruppen gerichtet, was zu einer geringeren Reaktionsfähigkeit der Bevölkerung führen kann. Auch gibt es keine Bevölkerungsschutz-Apps, die speziell auf gesundheitsrelevante Settings wie Pflegeheime zugeschnitten sind, um die Bedürfnisse besonders vulnerabler Bevölkerungsgruppen zu adressieren (Scherenberg 2022).

Zukünftig sollte bei der Ausgestaltung von Frühwarnsystemen den vulnerablen Gruppen eine erhöhte Aufmerksamkeit zukommen sowohl bei der Kommunikation mit der Allgemeinbevölkerung als auch bei institutionalisierten Kommunikationswegen mit den Akteuren der professionellen medizinischen und pflegerischen Versorgung. Die Berücksichtigung der Allgemeinbevölkerung ist insofern wichtig, als alle Bürger/innen Teil des

²⁷ Das System unterscheidet zwei Warnstufen: Hitzewarnstufe I: starke Wärmebelastung (gefühlte Temperatur, d. h. die wahrgenommene Umgebungstemperatur unter Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit, der Luftfeuchtigkeit und der Strahlungstemperatur, an 2 Tagen in Folge über 32 °C, zusätzlich nur geringe nächtliche Abkühlung); Hitzewarnstufe II: extreme Wärmebelastung (gefühlte Temperatur über 38 °C am frühen Nachmittag) (DWD o. J.a).

sozialen Umfelds von vulnerablen Personen sind und daher ggf. selbst Schutzmaßnahmen durchführen bzw. solche unterstützen oder in Zukunft selbst vulnerable Personen werden. Dabei sollten die Informationen nicht nur auf Deutsch, sondern auch in anderen Sprachen zur Verfügung gestellt werden. Besonders im Sommer gibt es viele Tourist/innen, die die örtlichen Gegebenheiten wie die Funktionsweise des Gesundheitssystems in Deutschland nicht kennen und möglicherweise eine ungenügende Akklimatisierung haben, da sie aus kälteren Regionen kommen. Für die weitere Gestaltung von Frühwarnsystemen wird die Integration von Individualisierungsmöglichkeiten (leichte Sprache, bevorzugte Sprache etc.) in die Systeme empfohlen, um die Heterogenität in den Risiko- und Zielgruppen zu berücksichtigen. Im Sinne effizienter Kommunikation sowohl mit der Allgemeinbevölkerung als auch mit Einrichtungen des Gesundheitswesens ist es wichtig, dass die Inhalte von Frühwarnsystemen schnell verständlich sind und visuelle Unterstützung, beispielsweise als Flussdiagramme, bieten. Die Frühwarnsysteme sollten sich nicht nur auf Warnungen beschränken, sondern gezielt auch die Stärkung von Wissen und relevanten Kompetenzen im Vorfeld einbeziehen (Scherenberg 2022). Hierzu gehören beispielsweise relevante Diagnosen im Zusammenhang mit Hitze, aber mit Blick auf Gesundheitseinrichtungen beispielsweise auch Kompetenzen für die Erstellung von hitzeangepassten Essensplänen.

Hitzeszenarien für das Gesundheitssystem

Die Entwicklung und Anwendung von Hitzeszenarien sind für die Gestaltung einer vorausschauenden Gesundheitspolitik von großer Bedeutung. Dabei können jeweils sozialraum- und quartiersbezogene Daten helfen, Gebiete mit einem hohen Anteil von Risikogruppen oder die Lage von Gesundheitseinrichtungen wie Pflegeheimen und Krankenhäusern zu identifizieren (Deutscher Städtetag 2023). Hitzeszenarien ermöglichen es, frühzeitig auf bevorstehende Hitzewellen aufmerksam zu werden. Dadurch können rechtzeitig Schutzmaßnahmen ergriffen werden, um die Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung zu schützen. Mit Hilfe von Hitzeszenarien können Gesundheitsbehörden die potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzewellen besser einschätzen. Dies ermöglicht eine gezielte Planung und Ressourcenallokation zur Bewältigung der Hitzebelastung. Hitzeszenarien bieten eine Grundlage für die Entwicklung von zielgerichteten Maßnahmen und Hitzeaktionsplänen (siehe nachfolgend). Diese können spezifische Schutz- und Anpassungsstrategien enthalten, die auf die Bedürfnisse der Bevölkerung und besonders gefährdeter Gruppen abgestimmt sind. Die Verwendung von Hitzeszenarien kann das Bewusstsein für die gesundheitlichen Risiken von Hitzewellen erhöhen, sowohl in der Bevölkerung als auch bei den Gesundheitsfachkräften. Dies trägt dazu bei, dass Menschen besser auf Hitzeereignisse vorbereitet sind und angemessen reagieren können. Hitzeszenarien, die auf Klimadaten basieren, können als Grundlage von Lernübungen dazu beitragen, sowohl die Klima- als auch Gesundheitsrisiken besser zu verstehen und in Bezug auf ihre Größenordnungen einzuschätzen.

Forschung

Um ein besseres Verständnis der gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels zu erlangen, sind gezielte Forschungsanstrengungen von entscheidender Bedeutung. Insbesondere sollten interdisziplinäre Leitfragen im Zusammenhang mit Hitze und Hitzewellen in den Fokus gerückt werden. Es stellt sich die Aufgabe, Erkrankungen, Todesfälle und die Inanspruchnahme ärztlicher Leistungen im Zusammenhang mit Hitzewellen weiter und genauer zu analysieren. Hierbei können beispielsweise Wetterdaten mit Informationen zu Diagnosen, Todesfällen und der Inanspruchnahme von medizinischen Leistungen verknüpft werden. Das Ziel besteht darin, kausale Zusammenhänge zu erkennen und eine langfristig ausgerichtete Einschätzung von Präventionsstrategien vorzunehmen. Eine vielversprechende Methode besteht darin, vorhandene Daten zu nutzen, um diese Fragen zu beantworten. Das aktuelle Gutachten des Sachverständigenrats (SVR 2023) betont als Erfolgsfaktor einer effektiven Forschung auf diesem Gebiet einen standardisierten digitalen Zugang zu den Daten. Eine umfassende Erfassung und Zusammenführung von Daten würde es Forschenden ermöglichen, aussagekräftige Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Hitze und Gesundheit zu gewinnen.

Auch die Etablierung von Hitzeaktionsplänen wirft viele unbeantwortete Fragen auf (siehe hierzu und im Folgenden Janson et al. 2023). Zum einen fehlt es an Grundlagenwissen über die pathophysiologischen Prozesse bei Hitzeexposition. Zum anderen gibt es noch wenig Erkenntnisse über die sozioökonomischen Risikokonstellationen in Deutschland in Bezug auf Hitzeeinwirkung. Schließlich besteht auch ein Mangel an Forschungsergebnissen über die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen oder von Hitzeaktionsplänen im Allgemeinen. Diese offenen

Fragen zeigen, dass es wichtig ist, weitere Forschung und Studien durchzuführen, um die Effektivität und Effizienz von Hitzeaktionsplänen besser zu verstehen und ihre Umsetzung zu optimieren. Weitere Anknüpfungspunkte bieten aktuelle Arbeiten einiger Bundesländer und des RKI zum Monitoring des hitzeassoziierten Sterbe geschehens. Frankreich könnte als Vorbild dienen, da dort ein effektives Surveillance-System für hitzebedingte Notfallbehandlungen in Krankenhaus-Notaufnahmen etabliert wurde. Durch die Auswertung von etwa 80% aller Notfallkontakte französischer Krankenhäuser und täglich etwa 40.000 Notfalldaten in nahezu Echtzeit kann das aktuelle Krankheitsgeschehen genau erfasst und nach Regionen, soziodemografischen Daten und Diagnosen ausgewertet werden, sodass Maßnahmen zeitnah angepasst werden können (Fouillet et al. 2015). Eine Anwendung dieses Konzepts in Deutschland unter Einbeziehung deutscher Krankenhäuser erscheint sinnvoll, um die Resilienz zu verbessern. Die technischen Voraussetzungen für eine zeitnahe Übertragung von Notfalldaten an eine auswertende Stelle sind prinzipiell vorhanden. Eine Pilotierung zur täglichen Übertragung von Notfalldaten und Wetterdaten an die zuständige Stelle einer Kommune könnte weitere Impulse in Richtung einer Surveillance der hitzebedingten Krankheitslast geben (Janson et al. 2023).

Prognostische Abschätzungen und Echtzeitüberwachungs- bzw. Monitoringaktivitäten könnten auch zur Verbesserung und Kopplung der Ressourcenplanung (Personal, Rettungsmittel etc.) an Hitzetagen verwendet werden (SVR 2023; WHO 2009). Um die Prävention im Gesundheits- und Sozialwesen zu stärken, sollten beispielsweise auch Maßnahmen bei der Berechnung der Personalschlüssel berücksichtigt werden. Dies wäre insbesondere im Rahmen der Entwicklungsprozesse für die Personalbemessungsinstrumente gemäß § 113c des Sozialgesetzbuchs XI von großer Bedeutung (Kaeding 2023).

Handlungsfeld »Vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse«

Hitzeaktionspläne

Hitzeaktionspläne (HAP) zählen zu den vorausschauenden Präventionsmaßnahmen, um den klimabedingten Gesundheitsrisiken entgegenzuwirken. Dabei verfolgen HAP einen umfassenden Ansatz, der kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit in einem gemeinsamen Rahmen vereint. Diese Maßnahmen sollen dazu beitragen, die negativen Auswirkungen von Hitzeereignissen auf die Gesundheit zu minimieren (Ziello/Matzarakis 2018). In der 2008 durch die Bundesregierung beschlossenen Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) sind HAP ein wichtiges Instrument (Bundesregierung 2008). Die Kernelemente eines HAP sind (Kemen et al. 2020; Matthies et al. 2008; Nikendei et al. 2023; Straff/Mücke 2017):

- › zentrale Koordinierung und interdisziplinäre Zusammenarbeit,
- › Nutzung eines Hitzewarnsystems,
- › Verbreitung und Information und Kommunikation,
- › Reduzierung von Hitze in Innenräumen,
- › besondere Beachtung von Risikogruppen,
- › Vorbereitung der Gesundheits- und Sozialsysteme,
- › langfristige Stadtplanung und weitsichtiges Bauwesen,
- › Monitoring und Evaluation der Maßnahmen.

HAP können von Ländern und Kommunen mit jeweils konkretem Bezug auf die örtlichen bzw. regionalen Gegebenheiten, aber auch in Gesundheitseinrichtungen entwickelt und eingesetzt werden. Im September 2020 beschäftigte sich die 93. Gesundheitsministerkonferenz mit dem Thema »Klimawandel – eine Herausforderung für das deutsche Gesundheitswesen«. In ihrem Beschluss wurde die Erstellung von HAP innerhalb eines 5-Jahres-Zeitraums gefordert (Gesundheitsministerkonferenz 2020). Bisher verfügt Deutschland dennoch lediglich über einzelne Hitzeaktionspläne in einigen Städten und Kommunen, darunter Ludwigsburg und Mannheim (Baden-Württemberg), Offenbach (Hessen) und Würzburg (Bayern). Darüber hinaus existiert seit 2017 eine Handlungsempfehlung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zur Erstellung von HAP zum Schutz der menschlichen Gesundheit (Straff/Mücke 2017), die sich an die Bundesländer richtet und sie

dazu ermutigen soll, auf kommunaler Ebene die Entwicklung von an die jeweilige Region angepassten HAP voranzutreiben. In einigen Bundesländern wie Berlin und Hessen existieren spezifische HAP für besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen, wie ältere Menschen, Menschen mit chronischen Erkrankungen oder Obdachlose. Im Hinblick auf den demografischen Wandel legte das Projekt »Hitzeaktionsplan für Menschen im Alter für die Stadt Köln« beispielsweise einen besonderen Fokus auf über 65-jährige Menschen (Stadt Köln o. J.; Wiczorrek et al. 2022).

Ein weiteres Defizit in Deutschland ist die unzureichende Überwachung der HAP und ihrer Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit. Erforderlich ist aus Sicht des Deutschen Ärztetages eine deutliche Stärkung des ÖGD (Zürner 2021). HAP erfordern außerdem wie die Frühwarnsysteme eine spezifische Berücksichtigung vulnerabler Gruppen (Kazmierczak 2022; SVR 2023). Bei der Kommunikation kann beispielsweise der Aufbau von Schnittstellen zum Sozialsystem unterstützen: Kindergärten und Schulen eignen sich, um Kinder und deren Eltern zu erreichen und Tipps zum Hitzeschutz zu verbreiten. Die meisten HAP basieren auf einer Zusammenarbeit zwischen dem ÖGD und den meteorologischen Diensten. Allerdings zeigen Untersuchungen, dass es derzeit keine einheitliche, klar definierte Rolle für den ÖGD bei der Umsetzung von HAP gibt (Geffert et al. 2017). Neben den HAP sollten gleichzeitig flächendeckend verpflichtende Hitzemaßnahmenpläne in Einrichtungen des Gesundheitswesens für den Umgang mit übermäßiger Hitzebelastung entwickelt und implementiert werden. Für Berlin hat ein neues Hitzeschutzbündnis bestehend aus der Ärztekammer Berlin, Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit e. V. (KLUG) sowie der Senatsverwaltung für Wissenschaft, Gesundheit und Pflege (2022) gemeinsam mit Berliner Expert/innen Musterhitzeschutzpläne für verschiedene Gesundheitssektoren und Einrichtungsarten entwickelt, z. B. für Krankenhäuser und ambulante Praxen sowie die stationäre und ambulante Pflege (hitze.info o. J.). Die Ergebnisse betonen für das reibungslose Funktionieren eines Hitzeaktionsplans den Aufbau von lokalen Hitzeschutzbündnissen, in denen wichtige Akteure kooperieren. Dazu gehören jeweils Kliniken, Pflegeheime und ambulante Pflegedienste, niedergelassene Ärzt/innen, der ÖGD (Gesundheitsämter), Apotheken und Rettungsdienste sowie der Katastrophenschutz. Neben diesen Gesundheitsakteuren spielen auch zivilgesellschaftliche Gruppen, Vereine und Nachbarschaftsinitiativen eine bedeutende Rolle. Sie sind entscheidend für die Aufklärung, Prävention und auch für die gezielte Ansprache von Risikogruppen während eines Hitzeereignisses.

In Deutschland bestehen neben der fehlenden Anwendung auch Defizite in der Konzeption von HAP. Beispielsweise fehlt eine einheitliche nationale Strategie für HAP, was zu Unterschieden in der Anwendung und Wirksamkeit führen kann. Im Juni 2023 kündigte der Bundesgesundheitsminister die Entwicklung eines Hitzeschutzplans für Deutschland an, der sich am Vorbild des nationalen Hitzeplans in Frankreich orientieren soll (Tagesschau.de 2023). Der »Plan National Canicule« wird seit 2004 jährlich angepasst und überarbeitet; er fordert regionale Verantwortungen ein und soll somit durch kommunale Hitzeaktionspläne ergänzt werden (Tagesschau.de 2023). Auch die Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz empfiehlt die Einführung von HAP sowohl in Kommunen als auch in Gesundheitseinrichtungen wie Krankenhäusern, Pflegeeinrichtungen und Rehabilitationseinrichtungen (BMI 2022a).

Sensibilisierung und Bildung

Die im Gesundheitssystem tätigen Fachkräfte spielen eine entscheidende Rolle bei der Kommunikation, Prävention und Nachsorge der Auswirkungen des Klimawandels einschließlich der Hitze. Der Lancet Countdown Health and Climate Change Report von 2021 unterstreicht die Notwendigkeit, den Planetary-Health-Ansatz im Bildungssystem zu verankern, indem komplexe Verbindungen zwischen Gesundheit, Klimakrise und Umweltkrise in die Ausbildung, Fortbildung und Weiterbildung von Gesundheitsfachkräften integriert werden (Romanello et al. 2021). Dennoch kommt dem Themenkomplex der planetaren Gesundheit an den medizinischen Fakultäten in Deutschland bislang eine untergeordnete Bedeutung zu (Bugaj et al. 2023).

Der demografische Wandel führt dazu, dass zukünftig noch mehr Menschen in die Risikogruppen fallen und verstärkt das stationäre und ambulante Versorgungssystem beansprucht werden. Dadurch wird sich der Versorgungsauftrag entsprechend verändern. Es ist entscheidend, dass medizinisch relevante Anzeichen rechtzeitig von allen Beteiligten erkannt werden, damit spezifische Maßnahmen eingeleitet und deren Wirksamkeit überprüft werden können. Es ist wichtig, die Aspekte hitzeassoziiierter Gesundheitsprobleme sowie die Sensibilisierung hierfür sowohl in der Ausbildung als auch in der Fort- und Weiterbildung der Gesundheits- und Pflegeberufe angemessen zu berücksichtigen. Dies wurde nicht zuletzt auch auf dem 125. Deutschen Ärztetag betont (Bundesärztekammer 2021a). Die Inhalte sollten integraler Bestandteil des gesamten Lehrplans sein und nicht auf optionale Fächer beschränkt bleiben (Traidl-Hoffmann 2020). Bisher erhalten hitzeassoziierte Erkrankungen noch

keine ausreichende Berücksichtigung in der ärztlichen Aus-, Fort- und Weiterbildung (Bundesärztekammer 2023), obwohl sie angesichts des Klimawandels und der steigenden Hitzebelastung immer relevanter werden. Eine entsprechende Stärkung der Aus-, Weiter- und Fortbildung in den Gesundheitsberufen mit angepassten Formaten könnte dazu beitragen, eine verbesserte Risikowahrnehmung und ein besseres Risikomanagement in den Einrichtungen des Gesundheitswesens zu erreichen. Eine gezielte Sensibilisierung und Bildungsangebote für medizinische Fachangestellte, Pflegekräfte und auch nichtmedizinisches Personal könnten einen weiteren Beitrag zum Hitzeschutz in Deutschland leisten. Pflegefachkräfte sollten sich ihrer Rolle als Multiplikatoren bewusst sein und ihre Fähigkeiten zur gezielten Aufklärung weiterentwickeln. Dies umfasst beispielsweise den Aufbau von Netzwerken mit lokalen Akteuren, wie niedergelassenen Ärzten und Gesundheitsämtern, sowie die Bereitstellung von Informationsmaterialien über hitzebedingte Risiken für pflegebedürftige Personen und ihr soziales Umfeld (Matzarakis 2023). Die Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit e. V. (KLUG o. J.) erkennt das Potenzial der Gesundheitsfachberufe und hat es sich zum Ziel gesetzt, die Akteur/innen des Gesundheitswesens über die erheblichen gesundheitlichen Auswirkungen der Klimakrise aufzuklären und zu sensibilisieren und damit den gesundheitsbezogenen Hitzeschutz in Deutschland zu verbessern. Zur Unterstützung bei der Umsetzung von Hitzeschutzmaßnahmen wurde bereits ein Aktivierungs- und Informationsportal²⁸ für Gesundheitsberufe und kommunale Gesundheitsakteur/innen ins Leben gerufen. Hier finden sich Informationen zu Gesundheitsfolgen von Hitze und Maßnahmen für einen wirksamen Hitzeschutz.

Nicht zuletzt sollte auch die Bevölkerung auf einen eigenverantwortlichen Umgang mit Hitze vorbereitet werden. Angebote können in verschiedenen Bereichen des täglichen Lebens gemacht werden, z. B. in Kindergärten, Schulen, am Arbeitsplatz oder an Volkshochschulen. Teilnehmende können lernen, wie sie sich selbst und andere vor Hitze schützen, Erste Hilfe leisten und effektiv kommunizieren können. Die kontinuierliche Sensibilisierung für hitzebedingte Gesundheitsschäden ist zudem auch für politische und kommunale Entscheidungsträger essenziell. Oftmals besteht bei ihnen eine geringe Risikowahrnehmung, was dazu führen kann, dass die Umsetzung von Maßnahmen zum Gesundheitsschutz während Hitzeextremen verzögert oder sogar verhindert wird. Die Sensibilisierung für die gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze ist insgesamt eine fortlaufende Aufgabe, deren Dringlichkeit aufgrund der zunehmenden Häufigkeit von Hitzeereignissen weiter steigt (Janson et al. 2023).

Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit

Hitzebedingte Risiken können zu einer ernsthaften Bedrohung für die Gesundheit der Mitarbeiter/innen führen, die im Gesundheitswesen arbeiten. Die Arbeitssicherheit im Gesundheitswesen muss daher angemessene Maßnahmen ergreifen, um die Mitarbeiter/innen vor den Auswirkungen von Hitze am Arbeitsplatz zu schützen. Hierbei gilt es, verstärkt Schulungen anzubieten, um die Mitarbeiter/innen über die Auswirkungen von Hitze auf den Körper und die Symptome von hitzebedingten Erkrankungen aufzuklären und zu sensibilisieren. Die Wechselwirkung zwischen zunehmender Hitzeexposition, unzureichender Vorbereitung und der derzeitigen Personalsituation in der stationären Langzeitpflege steigert nicht nur das gesundheitliche Risiko von Menschen, die in der (stationären) Langzeitpflege betreut werden, sondern auch für die Mitarbeiter/innen selbst, die für eine kontinuierliche, professionelle pflegerische Versorgung verantwortlich sind (Olfermann et al. 2023). Die Arbeitsumgebung im Gesundheits- und Pflegewesen sollte so klimatisiert sein, dass die Mitarbeiter/innen vor übermäßiger Hitze und Luftfeuchtigkeit geschützt sind. Die Schutzkleidung sollte zudem so gewählt werden, dass sie den Körpertemperaturanstieg minimiert und für ausreichende Belüftung sorgt (Blättner et al. 2021; Olfermann et al. 2023).

Handlungsfeld »Auffangen oder Abmildern von bereits eingetretenen Schäden«

Aufbau einer krisenfesten Infrastruktur

Die Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz empfiehlt den Aufbau einer krisenfesten Infrastruktur im Gesundheitsbereich. Dies beinhaltet auch organisatorische, logistische und bauliche Maßnahmen, um den Herausforderungen von Hitzeereignissen gewachsen zu sein (BMI 2022a). Das Auffangen oder Abmildern von bereits eingetretenen Schäden des Klimawandels und des Temperaturanstiegs beinhaltet auf institutioneller Ebene daher

²⁸ <https://hitze.info/> (4.6.2024)

auch den Schutz von Gesundheitseinrichtungen durch verschiedene bauliche Maßnahmen vor Hitze, wie es auch unter Punkt Sieben im Hitzeaktionsplan grundsätzlich vorgesehen ist. Diese Aufgabe wird bislang dadurch erschwert, dass z. B. Krankenhäuser vielfach in alten, schlecht gedämmten Gebäuden untergebracht sind, aber auch durch fehlende Finanzierungsgrundlagen der Gesundheitseinrichtungen. In den Anträgen forderten die Delegierten des 127. Deutschen Ärztetages, dass zur Finanzierung der energetischen Umbaumaßnahmen in Praxen wie in Kliniken ein sektorübergreifender »Bundesfonds Klimagerechtes Gesundheitswesen« eingerichtet wird. Auch die Länder sollten entsprechende Förderprogramme auflegen. Bei der geplanten Krankenhausreform sowie in den Versorgungsgesetzen sollte dies berücksichtigt werden (Beerheide 2023).

Mögliche Maßnahmen sind die effektive Wärmedämmung der Gebäudehülle, um das Aufheizen der Innenräume zu reduzieren. Isolierende Materialien an Dach, Wänden und Fenstern können die Wärmeübertragung von außen nach innen verringern. Auch die Installation von Sonnenschutzsystemen, wie Jalousien, Markisen, Sonnensegeln oder beschichteten Fenstern, kann den Eintrag von Sonnenstrahlung und die Erwärmung der Räume in Gesundheitseinrichtungen reduzieren. Gründächer und Fassadenbegrünungen sind eine weitere Möglichkeit, um Gesundheitseinrichtungen besser zu kühlen, indem sie die Oberflächentemperatur des Gebäudes senken und Verdunstungseffekte ermöglichen. Die Optimierung der Lüftungssysteme, einschließlich der Installation von effizienten Belüftungssystemen und Wärmerückgewinnungssystemen, kann den Luftaustausch und die Temperaturregulierung verbessern. Zudem kann die Implementierung von Wassersystemen wie Sprinkleranlagen, Nebelduschen oder Kühlgeräten dazu beitragen, die Raumtemperatur zu senken und das Raumklima angenehmer zu gestalten (Straff/Mücke 2017). Nicht zuletzt ist eine hitzeresistente Notstromversorgung essenziell, um den Betrieb lebenswichtiger medizinischer Einrichtungen auch bei sehr hohen und ggf. langanhaltenden Temperaturen aufrechtzuerhalten.

Handlungsfeld »Schaffung von adaptiven Systemen und Strukturen«

Hitzeresiliente Städte

Städte nehmen bei der Betrachtung der gesundheitlichen Hitzeauswirkungen auf Menschen eine besondere Stellung ein. Da Städte ganzjährig wärmer als das Umland sind (Krug/Mücke 2018), kann argumentiert werden, dass die Bewohner/innen von Städten dem Klimawandel und Hitze sowie deren Auswirkungen auf die Gesundheit besonders stark ausgesetzt sind. Im Rahmen der transformativen Resilienz ist es daher von Bedeutung, das städtische System sowohl auf die zunehmende Durchschnittstemperatur als auch auf temporäre Hitzeschocks vorzubereiten. Städte sollten durch verschiedene Maßnahmen zu robusten adaptiven Städten transformiert werden, um besser mit Hitze umgehen zu können. Die Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz untermauert das Ziel, mit langfristig belastbaren Strategien die negativen Auswirkungen von Hitze- und Dürreperioden durch klimangepasste Freiraumentwicklung sowie baulich angepasste Strukturen zu begrenzen und einen maßgeblichen Beitrag zur Schaffung resilianter Strukturen in Städten, aber auch in dörflichen Gemeinden zu leisten (BMI 2022a).

Auch wenn die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor und bei Hitze im Bewusstsein vieler Akteure angekommen ist (Janson et al. 2023), finden sich in Deutschland und Europa bislang nur wenige Städte, die sich in systematischer und integrierter Art und Weise mit dem Thema der hitzeresilienten Stadtgestaltung beschäftigen. Mit dem Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen des UBA (Buth et al. 2017) sowie der DIN EN ISO 14092 »Anpassung an die Folgen des Klimawandels – Anforderungen und Leitlinien zur Anpassungsplanung für kommunale Verwaltungen und Gemeinden« wurden bereits grundsätzliche Verfahren zur Klimarisikobewertung beschrieben. Bislang sind die konkreten Produkte, wie etwa Daten- und Kartendienste, die von Bund, Ländern und Kommunen bereitgestellt werden, häufig jedoch sehr unterschiedlich und schwer miteinander vergleichbar. Insbesondere im Hinblick auf Hitzebelastungen fehlt es an einer etablierten guten Praxis in städtischen Gebieten (Haße et al. 2021).

Bislang verfügen nur wenige Länder und Kommunen über konkrete Hitzeanpassungskonzepte. Das im Juli 2023 beschlossene Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KANg)²⁹ sieht als verbindlicher Rahmen für Bund, Länder und Kommunen vor, dass innerhalb der nächsten Jahre alle Länder und Kommunen Klimaanpassungskonzepte erstellen müssen, um sich auf die Bedrohungen des Klimawandels, wie Hitzewellen oder Starkregen, vorzubereiten. Damit sollen auf Landes- und kommunaler Ebene konkrete Aktionspläne erstellt werden, die auf die spezifi-

²⁹ Bundes-Klimaanpassungsgesetz vom 20.12.2023

schen Gegebenheiten und Bedürfnisse vor Ort abgestimmt sind. Diese Aktionspläne sollten Maßnahmen enthalten, wie z. B. die Einrichtung von Hitzewarnsystemen, die Förderung von Hitzeschutzmaßnahmen in Schulen, Kindergärten sowie in Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen, die Bereitstellung von öffentlichen Trinkwasserquellen, aber auch die Sensibilisierung der Bevölkerung für den Hitzeschutz.

Die Bundesregierung verpflichtet sich mit dem KAnG dazu, eine vorsorgende Klimaanpassungsstrategie mit messbaren Zielen vorzulegen, regelmäßig zu aktualisieren und fortlaufend umsetzen. Hier gilt es, das Erreichen dieser Ziele regelmäßig zu überprüfen und den Effekt sowohl bereits bestehender als auch neu implementierter Maßnahmen zu evaluieren, um den Hitzeschutz in Deutschland im Sinne lernfähiger, adaptiver Systeme und Strukturen auszubauen. Der Bund könnte aktiv die Entwicklung einer guten Praxis für die Bewertung von Hitze Risiken vorantreiben, z. B. durch Modellprojekte und Dialoginitiativen.³⁰ Außerdem sollten die Erkenntnisse aus Studien der öffentlichen Gesundheit und den sozialwissenschaftlichen Umweltwissenschaften verstärkt in die Kommunalpolitik und Verwaltung integriert und die Zusammenhänge zwischen Umweltfaktoren, Gesundheit und Sozialraum im Sinne einer gesundheitsfördernden und hitzeresilienten Stadtentwicklung berücksichtigt werden (Bolte et al. 2018). Bislang ist die kommunale Praxis der räumlichen und umweltbezogenen Planung weder inhaltlich noch verfahrensbezogen geübt, die Vulnerabilität der Bevölkerung im Sinne des Zusammenhangs von sozialer Lage, Umwelt und Gesundheit für eine gesundheitsfördernde Stadtentwicklung wahrzunehmen (Köckler et al. 2020).

Ressort- und politikfeldübergreifende Ansätze

Der Sachverständigenrat (SVR 2023) kritisiert, dass das deutsche Gesundheitswesen unzureichend auf Krisen wie Hitze vorbereitet ist. Als besonders problematisch wird die mangelnde Koordination zwischen den verschiedenen politischen Ebenen, also Bund, Länder und Kommunen, benannt. Auch sollte Gesundheit als gesamtgesellschaftliche Aufgabe verstanden werden. Für eine zukünftige Politikgestaltung einer klima- und hitzebezogenen Gesundheitspolitik in diesem Sinne sind ressort- und politikfeldübergreifende Ansätze erforderlich, die die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Politikbereichen und Sektoren in den Mittelpunkt stellen (Evers-Wölk et al. 2023). Auf internationaler Ebene wird bereits länger eine Gesundheitspolitik gefordert, die Gesundheit in Verknüpfung mit anderen Politikbereichen sieht (Health in All Policies). In Deutschland steht das Konzept »Gesundheit in allen Politikfeldern« erst am Anfang und wird insbesondere auf kommunaler Ebene und mit den Möglichkeiten des Präventionsgesetzes verfolgt. Es ist notwendig, zukünftig übergreifende Strukturen für die Umsetzung vorsorgender Politiken zu entwickeln und durchzusetzen. Dazu zählen u. a. interministerielle Gremien, intersektorale Arbeitsgruppen, gemeinsame Budgets sowie sektorübergreifende Informations- und Frühwarnsysteme.

Divestment der ärztlichen Versorgungswerke

Zahlreiche internationale medizinische Organisationen haben dazu aufgerufen, Kapital von gesundheitsgefährdenden Industrien abzuziehen. Dieser Prozess, bekannt als Divestment, fordert dazu auf, Investitionen aus Branchen zurückzuziehen, die maßgeblich zur Verschlechterung der Ökosysteme und zur Klimakrise beitragen (Lehmkuhl 2023). In Deutschland verantworten Ärzt/innen über Landesärztekammern und Versorgungswerke Kapitalanlagestrategien für einen Gesamtbetrag von etwa 110 Mrd. Euro (Schmiemann et al. 2021). 2019 rief der 122. Deutschen Ärztetag 2019 die Landesärztekammern und ärztlichen Versorgungswerke auf, Investitionen ausschließlich im Einklang mit den ESG-Kriterien (Environmental, Social, Governance) zu tätigen. Das bedeutet, dass nur Projekte und Unternehmen unterstützt werden sollten, die sich Umwelt- und sozialen Standards sowie einer guten Unternehmensführung verpflichtet fühlen. Trotz dieses Aufrufs bleibt die Debatte über Divestment und nachhaltige Investitionen innerhalb der Versorgungswerke kontrovers (Schmiemann et al. 2021). Angesichts der stetig und rasch veränderlichen Rahmenbedingungen ist es von hoher Dringlichkeit, die Diskussion über eine mögliche Neuausrichtung der Kapitalanlagen der ärztlichen Versorgungswerke weiter zu forcieren und offene Fragen, wie beispielsweise die Klärung der Risikobelastung von nachhaltigen Investments, zu klären.

³⁰ Dies ist im Rahmen des Förderprogramms der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) insofern geplant, als dass das BMUV (2023) voraussichtlich im Herbst 2023 neue Förderfenster zum »Einstieg in das kommunale Anpassungsmanagement« und zu »Innovativen Modellprojekten« öffnen möchte.

Transformation zu einem klimaneutralen Gesundheitssystem

Nicht zuletzt sollte das Gesundheitssystem selbst in Richtung Nachhaltigkeit umsteuern, um dem Klimawandel und der zunehmenden Hitze entgegenzuwirken. Laut Karliner et al. (2019) trägt der Gesundheitssektor mit 4,4% zu den globalen Nettoemissionen bei, was etwa 2 Gt CO₂-Äquivalent pro Jahr entspricht. Damit liegt der Klimafußabdruck des Gesundheitssektors vor dem Flugverkehr und der Schifffahrt. Es ist jedoch zu beachten, dass der Anteil an den nationalen Emissionen der einzelnen Länder stark variiert, wobei er in Deutschland z.B. bei 5,2% liegt. Dieser Anteil steht oft in direktem Zusammenhang mit den Ausgaben für die Gesundheitsversorgung. Es ist zu erwarten, dass diese Ausgaben, einschließlich der damit verbundenen Emissionen aufgrund des Klimawandels, weiter steigen werden (Schilling 2022). Der Klimaschutz wurde im Gesundheitswesen lange Zeit nicht adressiert, entsprechende Diskussionen und Maßnahmen gewinnen aber an Bedeutung. Der 125. Deutsche Ärztetag richtete im November 2021 einen dringenden Appell an alle Entscheidungsträger im Gesundheitswesen, die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um bis 2030 eine Klimaneutralität im deutschen Gesundheitswesen zu erreichen. Als erster Schritt wird die Einführung der notwendigen rechtlichen Rahmenbedingungen, die Ernennung von Klimabeauftragten und die Umsetzung von Klimaschutzplänen in allen Einrichtungen des Gesundheits- und Sozialwesens betont (Gießelmann/Osterloh 2021).

Auch Ärzt/innen sollen künftig eine zentrale Rolle in der Prävention und Behandlung von hitzebedingten Gesundheitsschäden einnehmen. Deshalb hat die Bundesärztekammer im Februar 2023 ein Positionspapier zum Hitzeschutz verabschiedet (Bundesärztekammer 2023). Die Entwicklung lernfähiger, adaptiver Systeme und Strukturen im Gesundheitswesen erfordert zunächst die Erfassung von Treibhausgasemissionen und die Identifikation von prioritären Bereichen für gezielte Klimaschutzmaßnahmen. Mögliche Maßnahmen liegen in den Bereichen der Reduzierung von CO₂-Emissionen aus Gebäuden und Liegenschaften von Gesundheitseinrichtungen (z.B. durch eine nachhaltige Verpflegungs- und Energiebewirtschaftung), einem ressourcensparenden Umgang mit Gebrauchsmaterialien sowie Arzneimitteln entlang des gesamten Prozesses (von der Herstellung über den Transport, die Distribution, Verwendung bis hin zur Entsorgung) sowie in der Substitution hoch klimaschädlicher Narkosegase und Asthmainhalatoren durch umweltfreundlichere Alternativen und einem nachhaltigen Mobilitätsmanagement für Mitarbeiter/innen und Patient/innen bzw. zu Pflegenden (Nikendei et al. 2023).

6.2 Fallstudie Verkehr

6.2.1 Problemstellung und Systembild

Ein resilientes Verkehrssystem, dessen Verkehrsinfrastruktur und -dienstleistungen weniger anfällig gegenüber Störereignissen sind, trägt zur Risikominimierung im Fall auftretender Notlagen bei und kann Folgeschäden in anderen Sektoren begrenzen (BMI 2022a). Der Sektor Transport und Verkehr gehört zu den kritischen Infrastrukturen. Kritische Dienstleistungen im Sinne des § 10 Abs. 1 Satz 1 des BSI-Gesetzes sind der Personen- und Güterverkehr, die verkehrsträgerübergreifend erbracht werden (§ 8 BSI-Kritisverordnung – BSI-KritisV31). Dabei ist der Verkehrssektor einer der Sektoren, die im besonderen Maße von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sind. Beschädigungen der Verkehrsinfrastruktur können infolge von Extremwetterereignissen zu Unterbrechungen der Verkehrsabläufe und zu hohen Instandhaltungskosten führen sowie die Verkehrssicherheit beeinträchtigen. Die Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Verkehrssektors durch Klimarisiken kann potenziell weitreichende Auswirkungen auf andere gesellschaftliche und wirtschaftliche Funktionen haben (Voß et al. 2021). Naturkatastrophen, wie z.B. Überflutungen, können durchaus ähnliche Folgen wie Extremwetterereignisse haben oder sich gar aus diesen entwickeln (Rammler et al. 2021). So kostete die Flutkatastrophe im Juli 2021 in NRW und Rheinland-Pfalz mehr als 180 Personen das Leben, die Kosten für den Wiederaufbau wurden auf ca. 30 Mrd. Euro beziffert (BMI 2022a).

Mit der digitalen Transformation steigt außerdem das Risiko von Cyberattacken, da die digitale Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel mit umfassenden Eingriffen in die IT-Infrastruktur der Verkehrsunternehmen einhergeht und sich dadurch die Anzahl möglicher Angriffspunkte bezüglich der Ausfallsicherheit des Betriebs wie auch der Nutzerdaten (Datenschutz und Datensicherheit) erhöht (Schelewsky/Canzler 2017). Auch technisch-industrielle Katastrophen wie Unfälle in großindustriellen Anlagen können durch bewusste Manipulationen oder

³¹ BSI-Kritisverordnung vom 22.4.2016, zuletzt am 29.11.2023 geändert

aufgrund von nicht regel- bzw. systemkonformen Verhaltens zu Beeinträchtigungen und Unterbrechungen führen. Schließlich hat die COVID-19-Pandemie gezeigt, wie verletzlich das Verkehrs- und Mobilitätssystem ist. Zahlreiche empirische Studien haben belegt, wie die Pandemie zur Restabilisierung des Individualverkehrs und zur Destabilisierung des Kollektivverkehrs beigetragen hat. Auslöser von temporären Überlastungen oder Betriebseinschränkungen können auch Kontrollverfahren, wie beispielsweise der Grenzsicherung und Grenzkontrollen sein, die aus gesellschaftlichen, ethnischen oder auch anderen kulturell-religiösen Konfliktlinien oder sozialen Krisen resultieren (Rammler et al. 2021). Sowohl die Verkehrsinfrastruktur als auch Mobilitätsdienstleistungen sind für die Funktionsfähigkeit der Gesellschaft unabdingbar. In der Regel sind beide Elemente bei auftretenden Schadensereignissen direkt oder indirekt betroffen. Dies macht deutlich, dass die resiliente Gestaltung des Verkehrssystems und damit die vorausschauende Planung der gebauten und der unterhaltenden Verkehrsinfrastruktur notwendig ist, um auf mögliche Schadensereignisse vorbereitet zu sein (BMI 2022a).

Nicht nur in politischen Debatten, sondern auch im wissenschaftlichen Diskurs werden die Begriffe Verkehr und Mobilität oft synonym verwendet und nicht eindeutig voneinander abgegrenzt. Dabei bezieht sich der Begriff Mobilität auf die subjektiven Möglichkeitsräume der Ortsveränderung, während der Begriff Verkehr die konkrete (physische) Bewegung im Raum meint (Schwedde et al. 2018). Folglich kann Mobilität als »Bewegung in möglichen Räumen« und Verkehr als »Bewegung in konkreten Räumen« definiert werden (Canzler/Knie 1998; Schwedde et al. 2018). Demzufolge können Mobilität und Verkehr als Spiegelbilder der Gesellschaft bezeichnet werden (Claessens 1966; Rammler/Schwedde 2019) und bilden eine Grundvoraussetzung für eine arbeitsteilige Ökonomie (Bratzel 2008).

Für das System Verkehr lassen sich drei Elemente identifizieren, die in ihrer Gesamtheit alle denkbaren Systemzustände bzw. Variationen des Verkehrssystems abbilden. Während die *Struktur* als räumliches Verbindungselement die Basis des Systems bildet und zeitunabhängig ist, beschreibt der *Prozess* als Bewegungselement die zeitliche Komponente des Verkehrs und ist von der zugrundeliegenden Struktur abhängig und zeitlich differenzierbar. Das (Verkehrs-)*Objekt* stellt das dritte Element des Systems dar, welches sowohl einen unmittelbaren Einfluss auf die Struktur als auch auf die Entstehung von Prozessen hat. Die objektspezifischen Anforderungen setzen wiederum die Rahmenbedingungen für den Prozess und die erforderliche Struktur. Aus den systemrelevanten Funktionen lassen sich die drei grundlegende Gestaltungsdimensionen Infrastruktur (Verkehrsverbindungen), *Verkehr* (Verkehrsbewegungen) und *Mobilität* (Verkehrsverhalten) ableiten (Schwedde et al. 2018). Das Verkehrssystem kann in seiner Gesamtheit als ein soziotechnischer Zusammenhang verstanden werden, welcher hinsichtlich seiner Verletzlichkeit (Vulnerabilität) in seinen einzelnen Komponenten und Schnittstellen analysiert werden kann (direkte Vulnerabilität). Außerdem können die Folgen von Beeinträchtigungen von Störereignissen in den Blick genommen werden (indirekte Vulnerabilität) (Rammler et al. 2021).

Mit Blick auf die Herausforderungen des Verkehrssystems sind bei der Ableitung von Handlungsoptionen grundlegende Gestaltungsparadoxien zu berücksichtigen. Mit der zunehmenden Komplexität, Feingliedrigkeit und Interdependenz des Verkehrssystems, die eigentlich darauf abzielt, das Verkehrssystem leistungsfähiger zu machen, erhöht sich das Risiko, dass sich Störereignisse wie z. B. Bahnbetriebsstörungen im gesamten System fortsetzen können. Störungen im Schienennetz können Sperrungen einzelner Abschnitte zur Folge haben, die wiederum zeitliche und räumliche Abweichungen nach sich ziehen, sodass sich auf diese Weise Schadenswirkungen akkumulieren (Interdependenzparadox). Auch wenn die Digitalisierung des Verkehrs neue Möglichkeiten in der Gestaltung der Mobilität schafft, führt sie gleichzeitig dazu, dass die Vulnerabilität des Verkehrssystems gegenüber möglichen Cyberattacken steigt (Digitalisierungsparadox). Gleichmaßen kann eine erhöhte Vulnerabilität aber auch in anderen Bereichen im Zuge von Anpassungsmaßnahmen auf mögliche Stressereignisse ausgelöst werden (Adaptionsparadox). Als ein Beispiel hierfür kann die rasante Expansion von E-Commerce und Lieferlogistik infolge der Coronamaßnahmen und die damit einhergehende vermehrte Nutzung digitaler Angebote angeführt werden, welche wiederum die Vulnerabilität gegenüber möglichen Cyberattacken erhöht hat (Rammler et al. 2021). So ist die Bandbreite an möglichen Tatgelegenheiten laut dem BKA (2020) im Zuge der Coronamaßnahmen größer geworden.

6.2.2 Systemisches Risiko Klimawandel

Bedrohungslagen

Der globale Klimawandel ist mit großen Herausforderungen für die Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft verbunden. Auch im Verkehrssystem muss den unvermeidbaren Klimafolgen mit Anpassungsmaßnahmen begegnet werden, was insbesondere für langlebige Verkehrsinfrastrukturen gilt (Hänsel et al. 2020a). Hierzulande zählen vor allem die hydrometeorologischen Gefahren zu den bedeutendsten Naturgefahren, wie z. B. Hochwasser, Starkniederschläge oder auch Stürme, Hitzewellen und Dürren. Hinzu kommen geologische Gefahren wie etwa Hangrutschungen (BMI 2022a). Der aktuelle Umweltbericht der OECD stellt fest, dass Deutschland zunehmend von den Auswirkungen des Klimawandels durch Extremwetterereignisse betroffen ist und zwischen 2005 und 2021 im Vergleich zu den anderen OECD-Ländern die größten Schäden zu verzeichnen hatte. Dabei stellen Hochwasserereignisse ein besonders großes Klimarisiko dar. Allein 2020 und 2021 sind infolge von Hochwasserereignissen deutschlandweit Schäden von insgesamt 71 Mrd. Euro entstanden und haben 230 Todesopfer gefordert (OECD 2023).

Als ein wesentlicher Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen muss der Verkehrssektor diese drastisch mindern, um das Ziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG)³² nicht zu verfehlen (Prognos et al. 2021). Konkret heißt das, dass bis 2030 die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor auf 84 Mio. t CO₂-Äquivalent gesenkt werden müssen. Dies entspricht im Vergleich zu 2019 einer Minderung der Treibhausgasemissionen von 49 % (UBA 2023b). 2021 machte der Verkehrssektor rund 19,4 % der deutschen Treibhausgasemissionen aus, mit dem Straßenverkehr als Hauptemissionsquelle. Fast zwei Fünftel (37 %) aller Emissionen von Stickstoffoxiden in der Luft und fast die Hälfte (49 %) aller Partikelemissionen wurden 2021 durch den Verkehr verursacht. Auch wenn heute im Schnitt die vom Pkw pro km ausgestoßenen Emissionen an Luftschadstoffen und des Treibhausgases CO₂ gegenüber 1995 aufgrund von stufenweisen Abgasvorschriften und verbesserten Kraftstoffen gesunken sind, haben die CO₂-Emissionen insgesamt zugenommen. Der wesentliche Grund hierfür ist die gestiegene Fahrleistung der Pkw, die von 1995 bis 2019 um 21 % angewachsen ist (UBA 2023a).

Obwohl bedingt durch die COVID-19-Pandemie 2020 und 2021 stärkere Rückgänge zu verzeichnen waren, konnte 2021 erstmals das Klimaziel des Bundes-Klimaschutzgesetzes nicht erreicht werden (BMDV 2023). Hieraus lässt sich ableiten, dass die Umwelt- und Klimaentlastung im Personenverkehr nicht ausschließlich durch technische Verbesserungen am Fahrzeug oder alternative Antriebe erreicht werden kann, sondern ein breites Spektrum an verschiedenen Maßnahmen erforderlich ist. Hierzu gehören z. B. die Verbesserung der Verkehrseffizienz und/oder die Veränderung der Verkehrsmittelwahl. Auch die Fahrleistung der Lkw ist von 1995 bis 2021 um mehr als ein Drittel auf insgesamt 64,3 Mrd. km gestiegen, sodass auch hier die absoluten CO₂-Emissionen trotz technisch bedingter Emissionsrückgänge pro km um 23 % gestiegen sind (UBA 2023a).

Im Verkehrssektor sind überdies verschiedene Entwicklungen zu beobachten, die unmittelbar mit den Funktionen der Verkehrsinfrastruktur zusammenhängen. Während der Schienenverkehr in den kommenden Jahren sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr an Bedeutung gewinnen wird, wird im Straßenverkehr die Elektromobilität eine tragende Rolle spielen und mit der Elektrifizierung der Ausbau der Ladeinfrastruktur weiter zunehmen. Neben der fortschreitenden Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung im Straßen-, Schienen- und Wasserstraßenverkehr ist insbesondere die kombinierte Nutzung verschiedener Verkehrsträger zu nennen (Voß et al. 2021).

Bereits in den vergangenen Jahren haben Extremereignisse, wie beispielsweise Hitzeperioden, Überschwemmungen, Niedrigwassersituationen oder auch Stürme, die Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems beeinträchtigt. Besonders schwerwiegend sind derartige Ereignisse, wenn sie einen langanhaltenden Charakter haben und mehrere Verkehrsträger gleichzeitig betreffen. Grundsätzlich ist es notwendig, die Resilienz des Verkehrssystems zu erhöhen, um die negativen Folgen des Klimawandels sowie der bereits auftretenden Extremwetterereignisse zu minimieren. Vor diesem Hintergrund verfolgt das 2016 gegründete BMVI-Expertennetzwerk »Wissen – Können – Handeln« das Ziel, das Verkehrssystem resilienter und umweltgerechter zu gestalten.³³ In dem verkehrsträ-

³² Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12.12.2019, zuletzt geändert am 18.8.2021

³³ Das BMVI-Expertennetzwerk wurde Ende 2021 mit der Umbenennung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) in das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) in das BMDV-Expertennetzwerk umbenannt.

gerübergreifenden Expertennetzwerk arbeiten unter der Federführung des Bundesministeriums sieben Bundesoberbehörden mit Expert/innen zusammen. Der Praxisbezug wird durch die kontinuierliche Einbeziehung entsprechender Stakeholder (z. B. Deutsche Bahn AG) sichergestellt. Im Kontext der erarbeiteten Forschungsstrategie mit dem Zeithorizont 2030 wurden für die erste Forschungsphase 2016–2019 insgesamt sechs Themenfelder identifiziert. Im Themenfeld »Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen« wurden die Klimawirkungen auf das Verkehrssystem untersucht. Dabei wurde zunächst der Schwerpunkt auf die Bereiche Hochwasser (Rauthe et al. 2020), Stürme (Bott et al. 2020), Hangrutschungen (Lohrengel et al. 2020) sowie Schiffbarkeit (z. B. Niedrigwasser) und Wasserbeschaffenheit (Nilson et al. 2014) gelegt. In den Studien wurde neben der räumlichen Betroffenheit des Verkehrssystems (Exposition) dessen Anfälligkeit aufgrund seiner Eigenschaften (Sensitivität) sowie auch die verkehrliche (und ökologische³⁴) Bedeutung der Streckenabschnitte und Infrastrukturelemente (Kritikalität) analysiert. Eine besondere Herausforderung bleibt die Berücksichtigung der Unsicherheit der zukünftigen Klimaentwicklung bezüglich Geschwindigkeit und Intensität (Hänsel et al. 2020a).

Gemäß Klimaprojektionen wird es in Deutschland künftig zu einer weiter ansteigenden mittleren Lufttemperatur, einer deutlichen Zunahme von Hitzewellen und dem Auftreten extrem hoher Temperaturen kommen. Frostereignisse werden hingegen aller Voraussicht nach seltener auftreten. Während im Sommer mit abnehmenden Niederschlagssummen zu rechnen ist, werden diese aller Voraussicht nach im Winter und Frühjahr zunehmen. Es ist häufiger mit Starkniederschlägen zu rechnen, wobei besonders seltene Extremwetterereignisse ebenfalls zunehmen dürften. Starke Winterregen in Flussregionen können zu winterlichen Hochwasserereignissen beitragen, während die Häufigkeit von Niedrigwasserereignissen dort steigt, wo sie bereits heute im Sommer und Herbst zu beobachten sind. Insgesamt muss davon ausgegangen werden, dass es bei einem weiteren Ansteigen der klimaschädlichen Emissionen zu einer Zunahme derartiger Gefährdungen kommen wird (Hänsel et al. 2020a). Allerdings fallen die Auswirkungen des Klimawandels auf das Verkehrssystem regional wie auch zeitlich sehr unterschiedlich aus (Hänsel et al. 2020b).

Folgen der Bedrohungslagen für das Verkehrssystem

Die geschilderten Klimaänderungen zeigen, wie wichtig es ist, die möglichen Auswirkungen von Hochwasserereignissen, Stürmen und Hangrutschungen auf die Verkehrsinfrastruktur sowie den Verkehr zu analysieren und zu bewerten, um das Verkehrssystem sicher, nachhaltig und leistungsfähiger zu gestalten (Hänsel et al. 2020a). Auch wenn es in der Literatur vielfach Hinweise auf eine zukünftige klimawandelbedingte Zunahme von *Hochwasserereignissen* gibt, ist derzeit eine bundesweite Analyse zu möglichen Beeinträchtigungen mit verschiedenen Problemen behaftet. Zum einen fehlen flächendeckende und repräsentative Daten zu Wasserspiegellagen bei Straßen und Gleiskörpern, zum anderen gibt es keine Informationen, ab wann Straßen- und Schienenabschnitte als überflutet gelten und ab wann diese für den Verkehr tatsächlich gesperrt werden müssen (Voß et al. 2021). Gleichwohl können *Starkregenereignisse*, über die Ufer tretendes Flusshochwasser oder Sturmfluten zu überflutungsbedingten Sperrungen von Straßen und Schienen führen. Dabei ist zwischen großflächigen Überschwemmungsereignissen durch Flusshochwasser und langanhaltende Niederschläge oder Schneeschmelze und lokalen Starkniederschlägen zu unterscheiden. Die oftmals kurzzeitigen lokalen Starkniederschläge sind räumlich und zeitlich variabel und können zu Aquaplaning und Sturzfluten beitragen. Während diese in der Regel zu kurzfristigen Unterbrechungen führen, können Flusshochwasser mehrtägige Unterbrechungen der Verkehrswege zur Folge haben.

Hochwasserereignisse können zu direkten Beschädigungen der Verkehrsinfrastruktur (etwa Schäden an Verkehrsleitsystemen und Stromversorgungsanlagen) führen, aber auch zu Schäden an Straßen und Gleisanlagen sowie zu Schäden an Fahrzeugen. Überdies kann als direkte oder indirekte Folge die Verkehrssicherheit durch Hindernisse auf Straßen und Gleisen beeinträchtigt werden, was die Unfallgefahr erhöht. Dadurch kann es zu Behinderungen bzw. Verzögerungen oder auch zu Unterbrechungen bzw. Sperrungen im Verkehrsablauf kommen. Auch wenn bei einem möglichen Hochwasser die Eigenschaft und Lage der Verkehrsinfrastruktur im Gelände eine Rolle spielen, ähneln sich die Wirkungsketten der beiden Verkehrsträger Straße und Schiene. Kommt es zu Überflutungen der Gleiskörper durch Hochwasser- oder Starkregenereignisse, so kann es zu einem Ausfall von Schalt- und Kabelanlagen kommen. Indessen kann es im Fall des Verkehrsträger Straße darüber hinaus zu weitreichenden Schäden an der Fahrbahnoberfläche kommen (Rauthe et al. 2020). Indirekte Schäden infolge von

³⁴ Aus ökologischer Perspektive sind klimawandelbedingte Veränderungen an unterschiedlichen Wasserstraßenabschnitten für die Bewertung der Kritikalität wichtig; hierzu auch (Hänsel et al. 2020a), S. 73f.).

Hochwasserereignissen lassen sich aufgrund der Wirkungsketten kaum beziffern (Voß et al. 2021). Derzeit befinden sich rund 2 % der Bundesfernstraßen und rund 1 % des Schienennetzes in einem Überschwemmungsbereich eines mittleren Hochwasserszenarios, welches sich rund alle 100 Jahre ereignet, während sich aktuell jeweils 8 % der Bundesfernstraßen und des Schienennetzes in einem Überschwemmungsbereich des extremen Hochwasserszenarios befinden. So könnte sich unter der Annahme des Weiter-wie-bisher-Szenarios beispielsweise am Rhein in Zukunft anstatt alle 100 Jahre etwa alle 20 bis 50 Jahre in Baden-Württemberg ein extremes Hochwasserereignis ereignen (Hänsel et al. 2020a).

Stürme bzw. Sturmgefahren stellen das Verkehrssystem vor große Herausforderungen und haben schon in der Vergangenheit zu erheblichen Schäden geführt, wie durch den Orkan Friederike im Januar 2018 im Schienenverkehr. Dabei geht die Gefahr bei Stürmen vor allem von der Vegetation entlang der Verkehrsträger Straße und Schiene aus. Umgestürzte oder entwurzelte Bäume können den Verkehr auf der Straße behindern oder zu Unterbrechungen des Bahnverkehrs führen. Hier können beispielsweise durch den Baumwurf die Gleise blockiert oder die Oberleitungen beschädigt werden. Während Seitenwinde den Verkehr auf der Straße besonders dort beeinträchtigen, wo Brücken quer zur Hauptwindrichtung liegen, sind die Züge selbst weniger sensitiv. Diese gilt auch für Infrastrukturbauwerke und -elemente wie z. B. Brücken. Sowohl die Seitenwindgefährdung als auch der Sturmwurf sind hinsichtlich der Gefährdung und Bedrohung der Verkehrsteilnehmer auf der Straße besonders relevant. Während bei Seitenwind vor allem Fahrzeuge mit großer Angriffsfläche (z. B. Lkws), aber auch Motorradfahrer direkt gefährdet werden, stellt vor allem der Sturmwurf in Bezug auf Verkehrsbehinderungen und Unfallgefahren ein besonderes Risiko dar. Insofern spielt hier das Verkehrsinfrastrukturmanagement eine wichtige Rolle, wenn es darum geht, mögliche Gefahren zu beseitigen (Bott et al. 2020). Etwa jede vierte Bundesfernstraße (25 %) führt bundesweit durch ein bewaldetes Gebiet. Dies gilt auch für ca. 23 % des Bahnnetzes, wobei etwa 12 % der elektrifizierten Bahnstrecken durch bewaldetes Gebiet führen (Hänsel et al. 2020a).

Der Verkehr auf der Straße und Schiene kann auch durch *Hangrutschungen* beeinträchtigt werden. Dabei können Hindernisse auf der Straße zu Unfällen führen, aus denen wiederum Behinderungen des Verkehrs resultieren können. Gravitative Massenbewegungen sind sowohl von der Beschaffenheit des Untergrunds als auch von der Hangneigung abhängig und können durch Extremwetterereignisse wie z. B. Starkniederschläge ausgelöst werden. Hinzu kommen mögliche Schäden an der Straßen- und Schieneninfrastruktur. Klimatische Auslöser für Hangrutschungen können neben Starkniederschlägen und Nässe auch Hitze und Wechselfrost sein (Lohrengel et al. 2020). Gerade Gebiete mit steilen Schichtstufenhängen in alpinen Regionen und Mittelgebirgen wie auch die Steilküsten an der Nord- und Ostsee mit unbefestigten Uferböschungen weisen eine Gefährdung auf (Voß et al. 2021). Derzeit sind unter den klimatischen Bedingungen etwa 5 % der Bundesfernstraßen und 6 % des bundesweiten Schienennetzes gegenüber Hangrutschungen exponiert. Insgesamt muss auch hier davon ausgegangen werden, dass sich der Anteil der gefährdeten Bundesfernstraßen- und Bundeschienennetzes in der nahen Zukunft (2031 bis 2060) in einem Weiter-wie-bisher-Szenario insgesamt bis 2060 um etwa 1 Prozentpunkt erhöhen wird. Bei den Bundesfernstraßen bedeutet diese eine Zunahme um 390 km auf 2.980 km und bei der Schiene um 370 auf 2.020 km. Gegenwärtig beträgt die Gesamtlänge bei den Bundesfernstraßen 51.150 km und beim Bundeschienennetz 34.140 km (Hänsel et al. 2020a).

Die von Hänsel et al. (2020a) durchgeführte Klimawirkungsanalyse umfasst eine vereinfachte indikatoren-basierte Bewertung der verkehrlichen Bedeutung (Kritikalität) von Streckenabschnitten des Bundesfernstraßennetzes von 2015 bis 2030. Der Analyse zufolge stellen insbesondere die Bundesautobahnen in und zwischen den Metropolregionen verkehrliche Belastungsschwerpunkte dar. Die Verfügbarkeit der Schieneninfrastruktur ist von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung und kann bei klimawandelbedingten Unterbrechungen hohe wirtschaftliche Kosten verursachen. Zieht man für die Bewertung die Anzahl der Züge pro Tag heran, so sind beim Schienengüterverkehr die transeuropäischen Verkehrsnetze von hoher Relevanz. Neben dem Rhein-Alpen-Korridor zählt hierzu beispielsweise auch der Nordsee-Ostsee-Korridor, welche wichtige Häfen und Wirtschaftsstandorte in Europa miteinander verbinden. Beim Schienenpersonenfernverkehr sind es vor allem die Verbindungen zwischen den Ballungsräumen, wie beispielsweise die Streckenabschnitte Frankfurt–Mannheim–Stuttgart–München. Dabei ist davon auszugehen, dass auf einzelnen Streckenabschnitten das Verkehrsaufkommen bis 2030 noch zunehmen wird. Die Bedeutung des Schienenpersonennahverkehrs ist im Einzugsbereich der Großstädte und Metropolregionen besonders hoch, wo auch auf absehbare Zeit das Verkehrsaufkommen hoch bleiben wird (Hänsel et al. 2020a).

6.2.3 Ansätze für Resilienz

Die beschriebenen klimabedingten Gefährdungen des Verkehrs- und Mobilitätssystems am Beispiel von Hochwasserereignissen, Stürmen und Hangrutschungen zeigen, dass dieses bereits heute schon von den klimatischen Einflüssen betroffen ist. Allerdings sollte eine Resilienzstrategie nicht ausschließlich auf erwartbare Störereignisse fokussieren. Grundlegendes Ziel muss es, wie in Kapitel 2.1 ausgeführt, sein, die Funktionsfähigkeit des Systems auch im Fall von unvorhersehbaren Ereignissen aufrechterhalten oder schnellstmöglich wiederherstellen zu können (acatech et al. 2017).

Handlungsfeld »Risiken und Schwachstellen identifizieren«

Risiko- und Vulnerabilitätsanalysen

Potenzielle Risiken und Schwachstellen können vielseitig sein. Um die Resilienz des Systems zu steigern, müssen die Risiken und deren Auswirkungen (Risikoanalysen) auf das System analysiert und bewertet werden. Gleiches gilt für die Identifizierung von Schwachstellen, die über Vulnerabilitätsanalysen ermittelt werden (acatech et al. 2017) (Kap. 2.2). In diesem Zusammenhang sind sowohl verkehrsträgerbezogene als auch verkehrsträgerübergreifende Vulnerabilitäts-, Kritikalitäts-, Extremwert- und Risikoanalysen hilfreich, um die Folgen des Klimawandels für das Verkehrssystem abschätzen und Anpassungsmaßnahmen ableiten zu können (BMDV o.J.a). Auf der Grundlage von Risikoanalysen und -bewertungen können für das Verkehrssystem Risikokarten erstellt und sektorspezifisch konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden sowie bei politischen und planerischen Entscheidungsprozessen Berücksichtigung finden. Neben den Risikoanalysen und -bewertungen relevanter Risiken sind die Bewertungen bereits existierender Schutzkonzepte besonders wichtig, um auf mögliche klimabedingte Schadensereignisse im Verkehrssystem besser vorbereitet zu sein, sodass beispielsweise Verkehrslenkungs- und Absperrpläne für potenzielle Evakuierungsrouten (Straßen, Schienen, Wasserstraßen, Luftkorridore) erstellt werden können. Hierfür müssen geeignete Informations- und Bewertungsgrundlagen vorhanden sein, um ggf. einzelne Verkehrsinfrastrukturelemente in ihrer Funktion und beim Auftreten von Störereignissen und zeitkritischen Entscheidungssituationen auf der Basis von Verkehrsdaten priorisieren zu können (BMI 2022a).

Um ein tiefgreifendes Verständnis von potenziellen Störereignissen zu gewinnen, ist eine institutionelle Verankerung der Krisenfrüherkennung hilfreich (Rammler et al. 2021). Tatsächlich existieren hierzulande verschiedene Gremien, Netzwerke und Arbeitsgruppen, die sich mit dem Katastrophenmanagement und der Steigerung von Resilienz in verschiedenen Themenfeldern beschäftigen (BMI 2022a). Auf der Bundesebene stellt das Expertennetzwerk einen bedeutsamen Baustein der Ressortforschung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) dar, um den Anpassungsbedarf an den Klimawandel zu untersuchen und geeignete Ansätze zu entwickeln. Dadurch wird die gemeinsame Methodenentwicklung der entsprechenden Behörden und Ressortforschungseinrichtungen gebündelt, der Transfer von Know-how sowie die Entwicklung von Lösungsansätzen und Handlungsoptionen gefördert. Durch die Einbeziehung von Expert/innen und Anwender/innen (z. B. Landesstraßenbaubehörden, der Deutschen Bahn (DB) wird der Praxisbezug und damit die anwendungsorientierte Entwicklung geeigneter Ansätze und Maßnahmen sichergestellt (Hänsel et al. 2020a). Das BMDV-Expertennetzwerk kann auf Basis von neueren Forschungsergebnissen und entwickelten Methoden auf der fachlichen Ebene beratend tätig wie auch bei der Vorbereitung der Überführung der Ergebnisse in die Praxis behilflich sein (BMDV o.J.b).

Kombination von Frühwarnsystemen und Foresightprozessen

Frühwarnsysteme können mit Foresightansätzen und Methoden kombiniert werden, sodass auch der Umgang mit unvorhergesehenen Ereignissen oder Konstellationen mitgedacht, trainiert und geprobt werden kann. Foresightprozesse sind ergebnisoffen und ermöglichen eine prozessorientierte und inter- und transdisziplinäre Form der Politikgestaltung über die Systemgrenzen hinaus, sodass auch systemübergreifend agiert und das Entstehen von unverbundenen Insellösungen vermieden werden kann. Die Anwendung von Foresightmethoden unterstützt dabei nicht nur systemisches Denken, welches bei der Entwicklung von Resilienzmaßnahmen unerlässlich ist (Astor 2020), sondern stellt auch Werkzeuge zum Umgang mit dem Unvorhersehbaren zur Verfügung. So können beispielsweise mit Szenarien und Wild Card-Analysen Krisenkonstellationen dargestellt werden, die den Test von

Adaptivität und Widerstandsfähigkeit von Systemen und Strategien ermöglichen (Renn 2017). Zudem erlauben diese Prozesse eine Vielzahl der notwendigen Beteiligten und Betroffenen (vom Katastrophenschutz über die politische Administration bis hin zu Unternehmen und zivilgesellschaftlichen Institutionen) einzubinden.

Auch Gamificationansätze eignen sich durchaus, um z. B. komplexe verkehrs- und stadtplanerische Zusammenhänge und Entscheidungsoptionen zu veranschaulichen. Bestehende Simulationsmodelle der Verkehrsplanung können mit Daten der Verkehrsentwicklung und des Verkehrsverhaltens zu einem dynamischen Gesamtmodell verknüpft werden, wie das Projekt »MobileCity« des Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI o. J.) zeigt. Mit Blick auf die klimabedingten Bedrohungslagen kann dieses durch Klimawirkungsmodelle ergänzt werden und für die Entwicklung und Bewertung von Szenarien sowie für die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen des Verkehrssystems herangezogen werden.

Monitoring und Wirksamkeitskontrolle von Anpassungsmaßnahmen

Für die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen im Verkehrssektor ist eine fundierte Datengrundlage erforderlich, bei der neben der tatsächlichen Klimaentwicklung auch die Wirksamkeit bereits durchgeführter Anpassungsmaßnahmen im Verkehrssystem evaluiert und in einem kontinuierlichen Monitoring zusammengeführt werden. Dabei muss die Bandbreite möglicher Entwicklungen des Klimawandels mitgedacht werden. Auch wenn das methodische Vorgehen bei der Identifikation von Risiken und Schwachstellen gegenüber unterschiedlichen klimabedingten Bedrohungslagen bei verschiedenen Verkehrsträgern sehr unterschiedlich ausfallen dürfte, bildet im Kern die vom BMDV-Expertennetzwerk entwickelte Klimawirkungsanalyse eine fundierte informatorische Grundlage für den Anpassungsbedarf und die Entwicklung geeigneter Anpassungsmaßnahmen. Diese sollten mittels einer Wirksamkeitsabschätzung unter der Berücksichtigung der Ergebnisse der Klimawirkungsanalyse dahingehend untersucht werden, ob weiterer Anpassungsbedarf existiert. Bereits heute sind nach derzeitiger Gesetzeslage bei der Anpassung an den Klimawandel Maßnahmen im Bereich der Verkehrsinfrastruktur zu berücksichtigen. Um tragfähige Schnittstellen zu schaffen, ist eine koordinierte Abstimmung mit Bundesbehörden, aber auch mit Institutionen der Bundesländer und Praxispartner notwendig. Durch die Abstimmung lassen sich gerade auf der Anwenderseite Schwachstellen identifizieren (Hänsel et al. 2020a). Mittlerweile verfügen nahezu alle Bundesländer über ein indikatorengestütztes Monitoring zu Klimaänderungen, Klimawirkungen und Anpassungsmaßnahmen oder sind dabei, diese zu etablieren. Ähnlich wie bei der Konzeption des Monitorings können sich die Länder auch bei den Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen an den methodischen Vorarbeiten des Bundes orientieren. Dies trifft gleichermaßen für die Evaluation von Anpassungsstrategien zu (BMU 2020).

Forschung

Die im Rahmen der ersten Projektphase (2016 bis 2019) vom BMDV-Expertennetzwerk weiterentwickelten Daten und Modelle bieten eine geeignete Basis, um gefahren- und verkehrsträgerübergreifende Analysen spezifischer Klimawirkungen auf das Bundesverkehrssystem durchzuführen. Gleichzeitig haben die Analysen gezeigt, dass der Anpassungsdruck an den Klimawandel in Zukunft immer größer werden wird und bereits existierende Klimawirkungsmodelle systematisch weiterentwickelt und ggf. auch korrigiert werden müssen. Hierfür ist es erforderlich, auch die vergangenen Klimawirkungen auf das Verkehrssystem zu analysieren. Das Spektrum der möglichen Anwender der auf diese Weise generierten Daten und Ergebnisse ist groß und reicht von Verkehrsbetreibern bis hin zum Behördennetzwerk der Deutschen Anpassungsstrategie. Die Ergebnisse können beispielsweise in die ressortübergreifende Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse des Bundes einfließen und von den Landesbehörden genutzt werden (Hänsel et al. 2020a). Der Zugang zu objektiven und belastbaren Datengrundlagen, die über den DAS-Basisdienst »Klima und Wasser« oder das »Deutsche Klimavorsorge-Portal« zur Verfügung gestellt werden, ist ein wichtiger Schritt um vorhandene Daten und Informationen zum Klimawandel sowie zur zielgerichteten Anpassung an die Klimafolgen z. B. Bundes- und Landesbehörden, Forschungsinstituten, Verkehrsbetreibern und anderen relevanten Akteuren zugänglich zu machen (Hänsel et al. 2020a).

Bundesweite Klimawirkungs- und Risikoanalysen stoßen jedoch an ihre Grenzen und können aufgrund des breiten Spektrums an möglichen Klimawandelrisiken keine konkreten Aussagen zur Identifizierung und Ausgestaltung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen treffen. Vielmehr stellen sie eine informatorische Grundlage dar. Die Ergebnisse der bundesweiten Klimawirkungs- und Risikoanalyse können aufgrund ihrer Bandbreite auch nicht als unmittelbare Grundlage für regionale und lokale Anpassungsmaßnahmen herangezogen werden. Für diese sind eigene Analysen notwendig, die den spezifischen regionalen und lokalen Gegebenheiten Rechnung

tragen. Hinzu kommt, dass der klare Schwerpunkt auf den Risiken liegt, während sich ergebende Chancen kaum thematisiert werden. Ein Dilemma ist, dass die für die Zukunft getroffenen Aussagen aufgrund teilweise fehlender Modelle und Datenlagen mit Unsicherheiten behaftet sind und diese auch nicht durch Expert/innen aufgefangen werden können. Laut (Kahlenborn et al. 2021) bestehen weitere Forschungsbedarfe sowohl bei den jeweiligen Verkehrsträgern als auch bei verkehrsträgerübergreifenden Analysen von kurz- und langfristigen Verlagerungspotenzialen eines Verkehrsträgers infolge von extremen Wetterereignissen. Mit Blick auf die Auswirkungen des Klimawandels besteht beim Schienenverkehr Forschungsbedarf zu den Sensitivitätsfaktoren von Schäden am Schienennetz. Dies betrifft beispielsweise die Höhenlage der Gleiskörper, die durch Hochwasser beeinträchtigt werden können. Dies gilt auch für die Sensitivität von Straßenabschnitten gegenüber gravitativen Massenbewegungen und Hochwasserereignissen. Hier wird vor allem Bedarf bei Daten zur Höhenlage der Fahrbahnen und Wasserspiegellagen gesehen, die aus Hochwasserereignissen resultieren können (Kahlenborn et al. 2021).

Der Forschungsschwerpunkt »Resiliente Verkehrs- und Datensysteme & Verkehrssicherheit« des BMDV-Expertennetzwerks soll auch in den kommenden Jahren einen Beitrag dazu leisten, relevante Risiken wie auch die Folgen des Klimawandels und extreme Wetterereignisse für die Verkehrsinfrastrukturen zu identifizieren. Nur auf der Basis der identifizierten Risiken und Schwachstellen lassen sich für das Verkehrssystem geeignete Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz ableiten. Sowohl bei der Gefahrenabwehr wie auch dem Schutz von kritischen Infrastrukturen im Verkehrsbereich existiert weiterer Forschungsbedarf. Dies gilt auch für die Vorhersage- und Warnmeldesysteme. Hier wird eine Verbesserung der Vorhersagequalität und -produkte angestrebt mit dem Ziel, ein verkehrsträgerübergreifendes Frühwarnsystem für Naturgefahren aufzubauen (BMDV o. J.a). Bedarf besteht auch bei Wettervorhersagen und damit verbundener relevanter Parameter von bis zu 1 Monat, die im Rahmen von Extremereignissen auftreten können, sodass die Forschung in diesem Bereich der Vorhersage intensiviert werden sollte (BBK 2021).

Die Elektrifizierung des Verkehrssystems geht mit einer zunehmenden systemischen Kopplung mit dem Energiesystem einher (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität 2021). Gleichzeitig entstehen mit dem Einsatz digitaler Technologien auch im Energiesystem neue Risiken, welches mit Fortschreiten der Energiewende immer komplexer wird. Im Zuge dessen wird es immer wichtiger werden, die Wechselwirkungen zwischen den Sektoren zu analysieren und zu verstehen (Haug et al. 2021). Um die Klimaneutralität zu erreichen, muss nicht nur der Ausbau von erneuerbaren Energien und Netzen erfolgen, sondern auch neue Flexibilitätsoptionen geschaffen werden, um die Nutzung der Erneuerbaren Energie zu maximieren und gleichzeitig den steigenden Strombedarf zu senken. Künftig können z. B. Elektrofahrzeuge als Stromspeicher agieren, was durch das bidirektionale Laden möglich wird. Mit der Integration der Elektromobilität in das Stromnetz ergeben sich neu Flexibilitätsoptionen (Agora Energiewende et al. 2023). Aus der Sektorkopplung resultieren neue Fragestellungen, welche stärker die Schnittstellen zwischen dem Verkehrs- und Energiesystem in den Blick nehmen müssen, wie etwa die Rückwirkungen bestimmter Entwicklungen im Verkehrssystem (z. B. das bidirektionale Laden) auf das Energiesystem (z. B. Entwicklung der Verteilnetze). Mit der zunehmenden Flexibilisierung und dem Einsatz digitaler Technologien wird auch die Resilienz des Energiesystems zu einem immer wichtigen Thema (siehe hierzu auch BMWi 2018). Auch hier müssen zukünftige Entwicklungen antizipiert werden, die neue Risiken entstehen lassen (Haug et al. 2021). Die Sektorkopplung und die damit verbundene Entstehung von neuen Risiken sollte in der Forschung mehr Beachtung finden. Diese gilt beispielsweise für den Forschungsschwerpunkt I des BMDV »Leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur«, bei dem der Fokus auf Innovationen im Verkehrswegebau und der technischen Infrastruktur mit dem Schwerpunkt auf dem Ausbau der Lade- und Tankinfrastruktur liegt (BMDV o. J.a). Verkehr, Nachhaltigkeit und Digitalisierung sind untrennbar miteinander verwoben, sodass der Digitalisierung aus der Resilienzperspektive besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte, um etwaige weiter zuvor beschriebene Paradoxien bei der Entwicklung von Resilienzmaßnahmen zu vermeiden (Rammler et al. 2021).

Handlungsfeld »Vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse«

Klimaanpassungsmaßnahmen

Gestaltungsprinzipien, die auf die Bewältigung und Anpassung von Störereignissen abzielen, sind vor allem Robustheit, Redundanz, Vielfalt und Dezentralität (Rammler et al. 2021). Die vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse kann durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden. Hierzu gehören neben informativischen Ansätzen auch bauliche Anpassungsmaßnahmen zur Minderung der Klimafolgen, ebenso wie operative Anpassungsmaßnahmen der Verkehrsinfrastruktur (Hänsel et al. 2020a).

Informatorische Ansätze, wie z. B. die Etablierung des DAS-Basisdienstes »Klima und Wasser«, sind erforderlich, um die behördliche Prüfung entsprechend der Gesetzeslage von in der Planung befindlichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel auf der Basis einer einheitlichen Datenbasis durchführen zu können. Der Bedarf an einer belastbaren Datenbasis und entsprechenden Interpretationshilfen, um geeignete Anpassungsmaßnahmen auf den Weg zu bringen, sollte durch zentrale Dienste gedeckt werden, welche die hierfür erforderlichen Klimadaten bereitstellen. Die Verständigung über die notwendigen Dienste, die entsprechende Daten und Produkte auch für die Praxis bereitstellen, sollte in enger Abstimmung der jeweiligen Bundesbehörden mit den entsprechenden Institutionen und Behörden der einzelnen Bundesländer erfolgen.

Das Ziel von Anpassungsstrategien bzw. baulicher Anpassungsmaßnahmen ist es, den jeweiligen Verkehrsträger und/oder die Verkehrsinfrastruktur an die bereits eingetretenen und den zukünftig zu erwartenden Folgen des Klimawandels anzupassen und dadurch die Widerstandsfähigkeit zu erhöhen. Um beispielsweise Schäden durch die thermische Belastung von Straßenoberflächen infolge länger anhaltender Hitzeperioden zu vermeiden, kann durch den Einsatz neuer Asphaltarten die Robustheit und Widerstandsfähigkeit der Straße erhöht werden. (Hänsel et al. 2020a). Anpassungsmaßnahmen dieser Art können die durch Extremwetterereignisse zu erwartenden Schäden und die erforderlichen Mittel für die Behebung derartiger Schäden begrenzen (Lehr et al. 2020).

Neben operativen Anpassungsmaßnahmen der Verkehrsinfrastruktur, die vor allem bei kontinuierlichen oder wiederkehrenden äußeren Einflüssen anfallen, sind räumliche und zeitliche Verlagerungen typische Anpassungsmaßnahmen im Fall von Störereignissen. Dabei hängen die Flexibilität und die hierfür erforderlichen Kapazitäten von der Verfügbarkeit freier Kapazitäten alternativer Verkehrsträger (Umschlag, Infrastruktur und Fahrzeuge/Fahrzeugführer), aber auch der Dauer des Störereignisses ab. Verlagerungen sind innerhalb des Netzes des Verkehrsträgers möglich, können aber auch zu Verlagerungseffekten auf andere Verkehrsträger beitragen. Hier können Erkenntnisse zu entsprechenden Wirkungsmechanismen derartiger Verlagerungen für die Verkehrsbetreiber und Logistiker hilfreich sein, um auf künftige Störereignisse besser vorbereitet zu sein. Im Vergleich zum Verkehrsträger Schiene sind beim Verkehrsträger Straße Umleitungen in der Regel möglich. Auch aufgrund der geringen Kosten und der Besonderheiten des straßengebundenen Gütertransportes (z. B. Tür-zu-Tür Transporte) finden in der Regel keine Verlagerungseffekte von der Straße auf andere Verkehrsträger statt. Gleiches gilt für die Verlagerung von den Verkehrsträger Schiene und Binnenschiffahrtsstraße zur Straße, wo aufgrund der Wirtschaftlichkeit, aber auch der zu transportierenden Güter (Massengut) nur selten entsprechende Verlagerungseffekte zu beobachten sind. Denkbar sind allerdings räumliche Verlagerungseffekte zwischen den beiden Verkehrsträgern Straße und Schiene, auf denen Massengut transportiert wird. Um auf Verfügbarkeitseinschränkungen infolge von Extremwetterereignissen nicht nur ungeplant und reaktiv, sondern geplant und aktiv reagieren zu können, sind neben dem Vorhalten entsprechender Kapazitäten alternativer Verkehrsträger, grundsätzlich eine verlässliche Vorhersage der Dauer von entsprechenden Extremwetterereignissen wie auch Analysen zu den Wirkungsmechanismen räumlicher und/oder zeitlicher Verlagerungseffekte bedeutsam (Hänsel et al. 2020a).

Handlungsfeld »Auffangen oder Abmildern von bereits eingetretenen Schäden«

Krisen- und Ressourcenmanagement

Die Flutkatastrophe im Juli 2021 als eine Auswirkung des Klimawandels gehört sicherlich mit zu den schwerwiegendsten Katastrophen der vergangenen Jahre (BMI 2022a). Diese hat deutlich gemacht, dass die Zusammenarbeit zwischen Bund, Ländern und Kommunen gestärkt und künftig besser koordiniert werden muss. Im Fall von bereits eingetretenen Ereignissen ist es erforderlich, dass Bund, Länder und Kommunen und Hilfsorganisationen schnell gemeinsam agieren. Dies soll künftig durch das Gemeinsame Kompetenzzentrum (GeKoB) ermöglicht werden, indem u. a. ein gemeinsames Krisen- und Ressourcenmanagement bei länderübergreifenden Krisenlagen die Kompetenzen der jeweiligen Katastrophen- und Zivilschutzbehörden und anderer Hilfsorganisationen gebündelt werden (BMI 2022b).

In einer vergleichenden Analyse des BKK zu acht bundesrelevanten Risiken in der Ausprägung eines Extremereignisses konnten bedeutende Erkenntnisse gesammelt werden. Für die Notfallplanung und das Krisenmanagement zählen die zeitnahe umfassende Unterrichtung der Bevölkerung sowie konkreten Handlungsanweisungen zu den ersten wichtigen Maßnahmen. Dabei sollte dem Informationsbedarf unterschiedlicher gesellschaftlicher Gruppen und ihren spezifischen Bedarfen (z. B. Altersstruktur und Sprache) Rechnung getragen werden. Hierzu gehört auch eine abgestimmte Risikokommunikation, darunter die Nutzung von Social Media. Bei Extremereignissen, z. B. als Folge von Hochwasser, sind in der Regel Evakuierungsmaßnahmen erforderlich, sodass

auch das zeitnahe Vorhalten von Notunterkünften mitgedacht werden muss. Neben der Eigenbetroffenheit der Einsatzkräfte stellen bei Extremereignissen großflächige Stromausfälle eine besondere Herausforderung dar, sodass die Funktionsfähigkeit der Kommunikationstechnik sichergestellt werden muss. Weitere wichtige Maßnahmen aufgrund beschädigter oder unsicher gewordener Verkehrswege sind die Verkehrslenkung, -regelung und -einschränkung, die auch die Einsatzkräfte vor große Herausforderungen stellt. Je nach Funktion und Lage haben die verschiedenen Elemente der Verkehrsinfrastruktur eine unterschiedliche Bedeutung und Funktion, sodass diese auf der Basis von noch zu schaffenden Informations- und Bewertungsgrundlagen ggf., z. B. für den Güterverkehr, priorisiert werden müssen. Hierfür sind auch Robustheitsanalysen, z. B. hinsichtlich der Abhängigkeit von verkehrlicher Erreichbarkeit, sinnvoll und können bei der Beseitigung der entstandenen Schäden Berücksichtigung finden (BBK 2021).

Funktions- und Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur

In der Zukunft wird der Personen- und Güterverkehrs weiter ansteigen, während der Unterhaltungsaufwand, um die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur zu erhalten und zu optimieren, immer größer werden wird (BMVI 2020). Die wachsenden Beanspruchungen führen in der Kombination mit der Altersstruktur der Straßen- und Brückensubstanz schon jetzt dazu, dass ein Teil des Bestandes vor einer Grunderneuerung, Grundinstandsetzung oder Ertüchtigung steht (BMVI 2016). Oftmals können im Zuge der Beseitigung klimabedingter Schäden technische Maßnahmen zur Anwendung kommen, die darüber hinaus die Klimaresilienz der Verkehrsinfrastruktur erhöhen. So können die infolge der Hitzeeinwirkung entstandenen Schäden an den Straßen beseitigt werden, indem z. B. neue Asphaltmischungen verwendet werden oder indem auch straßeneigene Entwässerungssysteme künftig dazu beitragen, dass Unterspülungen nach Starkregenereignissen vermieden werden (UBA 2020). Natürliche Überflutungsflächen können dazu beitragen, dass die durch den Starkregen entstehenden Überschwemmungen abgemildert werden (UBA 2020).

Zur Ermittlung bereits eingetretener Schäden können künftig auch moderne Technologien der Fernerkundung mit KI kombiniert zur Bauwerkprüfung eingesetzt werden. Zudem können auch Technologien der Augmented und Virtual Reality helfen, die Inspektionsprozesse in der Instandhaltung der Infrastruktur zu verbessern (BMVI 2020).

Handlungsfeld »Schaffung von adaptiven Systemen und Strukturen«

Anpassung von Plan- und Regelwerken

Für die Schaffung von nachhaltigen Strukturen sind Anpassungen von Planungs- und Regelwerken mit konkreten Vorgaben sinnvoll. Sie beinhalten Vorschriften, Empfehlungen oder auch konkrete Vorschläge für technische Planungsvorgänge, welche den Stand an Erkenntnissen von Wissenschaft und Technik widerspiegeln, und stellen insofern ein wichtiges Instrument zur Anpassung an den Klimawandel dar. Dabei stellt – gerade mit Blick auf verkehrsinfrastrukturelle Bauvorhaben und deren Langlebigkeit – der Umgang mit den Unsicherheiten bezüglich der zu erwartenden Folgen des Klimawandels eine besondere Herausforderung dar. Gleichzeitig müssen die notwendigen Anpassungen der Regelwerke rechtzeitig identifiziert werden (Hänsel et al. 2020a). So hat laut Stell (2021) allein die Überprüfung von ca. 900 Regelwerken und Normen im Straßenwesen ergeben, dass bei 28 % eine Aktualisierung und Anpassung der Inhalte aufgrund von Klimafolgen erforderlich sind. Bei mehr als der Hälfte (52 %) ist unklar, ob Anpassungen erforderlich sind, während bei 20 % kein Anpassungsbedarf identifiziert wurde (Kind et al. 2021), kommen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass nur in 11 der 34.000 DIN-Normen der Klimawandel direkte Erwähnung findet und diese zudem nicht rechtsverbindlich sind. Insofern scheint es sinnvoll, in den jeweiligen Arbeitsbereichen entsprechende Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel als Stand der Technik zu etablieren und Normungsgremien mit dem Einbezug von Klimadaten in ihre Arbeit vertrauter zu machen, indem klimawissenschaftliche Expertise hinzugezogen wird (Kind et al. 2021).

Laut der ökonomischen Analyse einzelner Politikinstrumente und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel von Lehr et al. (2020) sollten auch beim Bundesverkehrswegeplan 2030 Aspekte der Klimaanpassung bei den Investitionen berücksichtigt werden. Auch die Agora Verkehrswende und die Stiftung Klimaneutralität (Stiftung Klimaneutralität/Agora Verkehrswende 2021) schlagen auf der Basis neuer Planungsgrundsätze vor, den Bundesverkehrswegeplan zu reformieren und an die Klimaschutzziele anzupassen. Ein von ihnen beauftragtes

Rechtsgutachten (Becker Büttner Held 2021) belegt, dass der Bundesverkehrswegeplan nicht an den Klimaschutzziele der Bundesregierung ausgerichtet ist, sondern das Verkehrsaufkommen ohne weitere Differenzierung lediglich weiter fortschreibt, während notwendige Emissionsreduktionen bei der Infrastrukturplanung unberücksichtigt bleiben. Auch Klima- und Naturschutz werden bei der Nutzen-Kosten-Analyse laut Becker Büttner Held (2021) nur ungenügend berücksichtigt. Zudem sei der Bundesverkehrswegeplan rechtlich unverbindlich und die Projektauswahl nicht nachvollziehbar sachlich begründet. Der erarbeitete Vorschlag zielt darauf ab, den Bundesverkehrswegeplan und die darauf aufbauenden Ausbaugesetze mit der Einhaltung der Klimaschutzziele im Verkehrssektor in Einklang zu bringen, Projekte neu zu priorisieren, Ausbaugesetze für die Verkehrsträger anzupassen und mittelfristig mit einer gesetzlichen Regelung aufzuwerten (Stiftung Klimaneutralität/Agora Verkehrswende 2021)

Abbau von Hemmnissen und Barrieren

Das derzeitige deutsche Planungs- und Genehmigungsrecht kann den Anforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel nicht genügen, weil es nicht nur langwierig und teuer, sondern auch zu starr ist. So erschweren z. B. Planungs- und Genehmigungszeiten, die sich über viele Jahre hinziehen, das rechtzeitige Handeln (Hänsel et al. 2020a). Oft wird die Zusammenarbeit im Verkehrssektor auch über Institutionsgrenzen hinweg immer noch durch uneinheitliche Datenformate erschwert, was das wechselseitige Lernen im Netzwerk bei der Verarbeitung entsprechender Daten erschwert. Bei der Effizienzsteigerung im Verkehrsmanagement spielt außerdem die Standardisierung von Schnittstellen zwischen den Systemen eine wichtige Rolle (BMVI 2020).

Um Hemmnisse und Barrieren aus dem Weg zu räumen, die eine praktische Umsetzung von Maßnahmen erschweren, sollten auch unklare Zuständigkeiten zwischen Bund und Ländern sowie innerhalb der Bundesländer beseitigt werden. In einigen Gesetzen ist zudem nicht geregelt, wie der Klimawandel zu berücksichtigen ist. Auch bei Planfeststellungsverfahren muss klar geregelt sein, wer für das Thema Klimawandel und Anpassungsmaßnahmen zuständig ist. Auf der betrieblichen und organisatorischen Ebene sollte das notwendige Bewusstsein für Anpassungsmaßnahmen gefördert werden, indem entsprechende Veranstaltungs- und Informationsangebote entwickelt und angeboten werden (Hänsel et al. 2020a).

6.3 Fazit

Die Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute weltweit und speziell auch in Deutschland deutlich sichtbar. Der Klimawandel beeinflusst zunehmend die Gesundheit der Menschen, die Gesundheitsversorgung, den Verkehr und die Verkehrsinfrastruktur. Die exemplarischen Fallstudien zu klimabedingten Risiken und aktuellen Handlungsfeldern für das Gesundheits- und das Verkehrssystem im Sinne einer Resilienzpolitik zeigen, dass Deutschland trotz zahlreicher Risikoanalysen, Maßnahmen, Vorkehrungen und Strategien nur begrenzt auf die Herausforderungen des Klimawandels vorbereitet ist. Es steht außer Frage, dass sowohl das Gesundheitssystem als auch das Verkehrssystem Strukturreformen sowie systemische, interdisziplinäre und sektorenübergreifende Analysen benötigen. Viele der identifizierten Handlungsfelder resultieren aus bisher mangelnder Koordination und Vernetzung, unzureichendem Wissen über Zusammenhänge und Auswirkungen sowie der ungenügenden Anwendung vorausschauender Risikoanalysen, die potenzielle Gefährdungslagen ganzheitlich betrachten. Daher ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die Widerstandsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit, Transformationsfähigkeit und damit die Krisenresilienz des Gesundheits- und des Verkehrssystems zukünftig erheblich gestärkt werden müssen. Im Rahmen der beiden Fallanalysen wurden verschiedene Ansätze identifiziert, die auf generischen Handlungsfeldern basieren und die aus der Resilienzforschung abgeleitet wurden. Diese Ansätze sind jeweils mit Bezug zu den resilienzorientierten Handlungsfeldern in zusammengefasster Form noch einmal dargestellt. Die Ansätze haben das Potenzial, die Resilienz des Gesundheits- und des Verkehrssystems gegenüber dem systemischen Risiko des Klimawandels sowohl heute als auch in Zukunft erheblich zu stärken. Daher sollten sie politisch stärker wahrgenommen und in politikfeldübergreifenden Zusammenhängen sowohl strategisch als auch operativ berücksichtigt werden.

6.3.1 Handlungsfeld »Risiken und Schwachstellen identifizieren«

In beiden Fallstudien wurde Risiken und Schwachstellen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit von Frühwarn- und Monitoringsystemen identifiziert. Diese müssen im Kontext der Resilienz durch die Integration von Szenario-, Risiko- und Vulnerabilitätsanalysen abgebaut. Aus den Ergebnissen können folgende Präventivmaßnahmen abgeleitet werden:

Gesundheitssystem

- › *Frühwarnsysteme:* Die Integration von Frühwarnsystemen in den Alltag von Gesundheitseinrichtungen und der Bevölkerung, der Aufbau von Ressourcen und Fähigkeiten für einen sachkundigen Umgang mit Frühwarnungen sowie die gezielte Ausrichtung der Kommunikation auf bestimmte Ziel- und Risikogruppen sollten verstärkt werden.
- › *Hitzeszenarien:* Es sollte eine verbindliche Implementierung von Hitzeszenarien in die vorausschauende Gesundheitspolitik erfolgen, basierend auf klima-, sozialraum- und quartiersbezogenen Daten. Dies ermöglicht die Entwicklung von zielgerichteten Maßnahmen und die Erstellung von Hitzeaktionsplänen und bietet gleichzeitig eine solide Grundlage zur besseren Vorbereitung aller beteiligten Akteure.
- › *Forschung:* Es ist entscheidend, Desiderate im Bereich der interdisziplinären Klimamedizin zu identifizieren und vorhandene Wissenslücken zu schließen, um ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zu erlangen und geeignete Versorgungsansätze zu entwickeln. Zudem sollten Evaluationen von Hitzeaktionsplänen und einzelnen Maßnahmen (z. B. Reduzierung von Hitze in Innenräumen) durchgeführt werden, um auch die Ressourcenplanung an Hitzetagen zu verbessern.

Verkehrssystem

- › *Risiko- und Vulnerabilitätsanalysen:* Um die Folgen des Klimawandels für das Verkehrssystem abzuschätzen und darauf basierend geeignete Anpassungsmaßnahmen abzuleiten, sind sowohl verkehrsträgerbezogene als auch verkehrsträgerübergreifende Vulnerabilitäts-, Kritikalitäts-, Extremwert- und Risikoanalysen erforderlich. Neben der Erstellung von Risikokarten, wie z. B. Hochwasserrisikokarten, sollten auch bestehende Schutzkonzepte regelmäßig überprüft werden. Das BMDV-Expertennetzwerk spielt bereits eine wichtige Rolle in der Ressortforschung. Es sollte weiterhin die gemeinsame Methodenentwicklung und den Wissenstransfer von Behörden und Ressortforschungseinrichtungen bündeln und verstärkt in die gesellschaftliche Praxis integrieren.
- › *Kombination von Frühwarnsystemen und Foresightprozessen:* Eine erfolgsversprechende Herangehensweise besteht darin, Frühwarnsysteme mit Foresightansätzen zu verknüpfen, um die Bewältigung unvorhersehbarer Ereignisse und Konstellationen im Verkehrssystem mitzudenken. Foresightansätze zeichnen sich durch ihren ergebnisoffenen Verfahrensansatz aus und ermöglichen eine prozessorientierte, inter- und transdisziplinäre Gestaltung von politischen Maßnahmen über die Grenzen des Systems aus. Diese Ansätze bieten Instrumente, um mit unvorhersehbaren Ereignissen im Verkehrssystem umzugehen, indem sie die Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels sowohl verkehrsträger-spezifisch als auch verkehrsträgerübergreifend aufzeigen. In diesem Zusammenhang können auch Gamificationansätze effektiv sein, bei denen Daten zur Verkehrsentwicklung und zum Verkehrsverhalten in ein dynamisches Gesamtmodell integriert und durch Klimawirkungsmodelle ergänzt werden. Auf dieser Basis lassen sich Szenarien entwickeln und bewerten sowie Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ableiten.
- › *Monitoring der tatsächlichen Klimaentwicklung und Klimawirkung:* Die kontinuierliche Überwachung der realen Klimaentwicklung und ihrer Auswirkungen auf das Verkehrssystem erfordert eine belastbare Datengrundlage und einheitliche Methodik. Diese sollte nicht nur die tatsächliche Klimaentwicklung erfassen, sondern auch die Wirksamkeit bereits durchgeführter Anpassungsmaßnahmen im Verkehrssystem evaluieren und in einem kontinuierlichen Monitoring zusammenführen. Hierfür ist eine dauerhafte und koordinierte Abstimmung mit Bundesbehörden, aber auch mit Institutionen der Bundesländer und Praxispartner unerlässlich.

- › *Forschung*: Bestehende Klimawirkungsmodelle sowie verkehrsträgerspezifische und verkehrsträgerübergreifende Analysen zu kurz- und langfristigen Verlagerungspotenzialen der einzelnen Verkehrsträger sollten kontinuierlich weiterentwickelt werden. Dadurch können die Ergebnisse dieser Forschung auch zukünftig in die ressortübergreifende Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse des Bundes einfließen und von den Landesbehörden genutzt werden. Forschungsbedarf besteht auch im Bereich der Gefahrenabwehr (Security) und dem Schutz kritischer Infrastrukturen im Verkehrssektor. Die Entwicklung eines verkehrsträgerübergreifenden Frühwarnsystems, die Vorhersage von Extremereignissen und die Analyse von Wechselwirkungen zwischen den Sektoren sollten ebenfalls weiter erforscht werden.

6.3.2 Handlungsfeld »Vorausschauende Vorbereitung auf mögliche Schadensereignisse«

Im Fokus dieses Handlungsfelds stehen Klimaanpassungsmaßnahmen, die eine gemeinsame Informationsgrundlage erfordern, einschließlich der Bewertung der Wirksamkeit bereits durchgeführter Anpassungsmaßnahmen. Zusätzlich zur Bereitstellung einer dauerhaften und allgemein zugänglichen Datenbasis, die für die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen unerlässlich ist, können bauliche Anpassungsmaßnahmen einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der Resilienz des Verkehrs- und Gesundheitssystems leisten. Dies gilt gleichermaßen für Anpassungsmaßnahmen, die sich auf die Bewältigung räumlicher und zeitlicher Verlagerungseffekte konzentrieren.

Gesundheitssystem

- › *Hitzeaktionspläne*: In Deutschland bestehen erhebliche Mängel in der Entwicklung von Hitzeaktionsplänen (HAP), aber auch in der Koordination, Überwachung und Bewältigung von hitzebedingten Gesundheitsauswirkungen. HAP erfordern spezielle Maßnahmen für vulnerable Gruppen, und die fehlende klare Rolle des ÖGD bei der Umsetzung ist problematisch. Es wird empfohlen, verpflichtende Hitzemaßnahmenpläne flächendeckend in Gesundheitseinrichtungen zu implementieren.
- › *Sensibilisierung und Bildung*: Die Sensibilisierung des Gesundheits- und Pflegepersonals für Informationen bezüglich Hitze ist von entscheidender Bedeutung, um die Sozial- und Gesundheitssysteme auf den Klimawandel vorzubereiten. Aspekte von hitzebedingten Gesundheitsproblemen sollten integraler Bestandteil der Aus-, Fort- und Weiterbildung im Gesundheitssystem sein. Gleichzeitig sollte die Bevölkerung darauf vorbereitet werden, eigenverantwortlich mit Hitze umzugehen.
- › *Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit*: Die zunehmende Hitze in Deutschland stellt für das Gesundheitspersonal am Arbeitsplatz eine Herausforderung dar. Einige Bereiche im Gesundheitswesen bergen ein erhöhtes Risiko für hitzebedingte Gesundheitsprobleme, z.B. Operationssäle und Intensivstationen. Arbeitgeber/innen sollten Schulungen und Informationen bereitstellen, wie Mitarbeiter/innen sich und vulnerable Gruppen schützen und auf hitzebedingte Gesundheitsprobleme achten können.

Verkehrssystem

- › *Informatorische Ansätze (Dienste)*: Der Bedarf an einer soliden Datenbasis ist groß, um im Verkehrssystem geeignete Anpassungsmaßnahmen zu initiieren und auf mögliche Schadensereignisse vorbereitet zu sein. Zur Erleichterung und Beschleunigung der behördlichen Prüfung von geplanten Anpassungsmaßnahmen gemäß der Gesetzeslage sind Dienste zur Bereitstellung von Klimadaten erforderlich. Diese Dienste sollten in enger Abstimmung zwischen den jeweiligen Bundesbehörden, den entsprechenden Institutionen und Behörden der einzelnen Bundesländer weiterentwickelt bzw. neu etabliert werden.
- › *Bauliche Anpassungsmaßnahmen*: Zur Anpassung der verschiedenen Verkehrsträger oder der Verkehrsinfrastruktur an die bereits eingetretenen sowie zukünftig erwarteten Folgen des Klimawandels sind bauliche Anpassungsmaßnahmen unabdingbar. Beispielsweise können Schäden durch thermische Belastung von Straßenoberflächen vermieden werden, indem die Robustheit und Widerstandsfähigkeit der Straße durch den Einsatz neuer Asphaltarten erhöht wird.

- › Operative Anpassungsmaßnahmen der Verkehrsinfrastruktur und des Verkehrsbetriebs (Bewältigung räumlicher und zeitlicher Verlagerungen bei Störereignissen): Neben den operativen Anpassungsmaßnahmen der Verkehrsinfrastruktur, die bei wiederkehrenden äußeren Einflüssen im Verkehrssystem erforderlich sind, gehören räumliche und zeitliche Verlagerungen zu den typischen Anpassungsmaßnahmen im Falle von Störereignissen. Diese können sowohl innerhalb des Netzes des jeweiligen Verkehrsträgers als auch verkehrsträgerübergreifend erfolgen. Um auf die Verfügbarkeitseinschränkungen infolge von Extremwetterereignissen gezielt und proaktiv reagieren zu können, sind neben der Bereithaltung entsprechender Kapazitäten alternativer Verkehrsträger auch eine zuverlässige Vorhersage der Dauer solcher Extremwetterereignisse sowie Analysen der Wirkungsmechanismen räumlicher oder zeitlicher Verlagerungseffekte notwendig.

6.3.3 Handlungsfeld »Auffangen und Abmildern von bereits eingetretenen Schäden«

Um bereits eingetretene Schäden und länderübergreifenden Krisensituationen effektiv zu bewältigen und abzumildern, ist ein gemeinsames Krisen- und Ressourcenmanagement von großer Bedeutung. Dies soll künftig durch das im Aufbau befindliche Gemeinsame Kompetenzzentrum Bevölkerungsschutz (GeKoB) sichergestellt werden.

Gesundheitssystem

- › *Krisenfeste Infrastruktur*: Dies erfordert die kommunale Überprüfung und Umsetzung baulicher Maßnahmen in den Gesundheitseinrichtungen. Es ist entscheidend, ausreichende Vorräte an medizinischem Equipment zu bewahren und eine zuverlässige Notstromversorgung auch bei hohen Temperaturen und anhaltender Hitze sicherzustellen.

Verkehrssystem

- › *Krisen- und Ressourcenmanagement*: Die Flutkatastrophe im Juli 2021 hat deutlich gemacht, dass die Zusammenarbeit zwischen Bund, Ländern und Kommunen gestärkt und künftig besser koordiniert werden muss. Ein gemeinsames Krisen- und Ressourcenmanagement ist notwendig, das künftig mit dem GeKoB realisiert werden soll. Aus den bundesweiten durchgeführten Risikoanalysen sollten wiederkehrenden Erkenntnisse besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dies betrifft beispielsweise Maßnahmen im Verkehrssystem wie die Verkehrslenkung, -regelung und -einschränkung. Je nach Funktion und Lage haben die verschiedenen Elemente der Verkehrsinfrastruktur eine unterschiedliche Bedeutung und Funktion, für die es noch geeignete Informations- und Bewertungsgrundlagen zu schaffen gilt.
- › *Funktions- und Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur*: Der Personen- und Güterverkehr wird in der Zukunft weiter ansteigen, wodurch der nötige Aufwand, um die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur zu erhalten und zu optimieren, signifikant steigen wird. Bei Identifizierung bereits eingetretener Schäden an der Verkehrsinfrastruktur, die oftmals durch technische Maßnahmen behoben werden können, sollten zukünftig auch moderne Technologien, wie z. B. die Kombination von Fernerkundung und KI verstärkt zum Einsatz kommen.

6.3.4 Handlungsfeld »Schaffung von anpassungsfähigen Strukturen«

Angesichts der komplexen Wirkungszusammenhänge und unvorhersehbaren Konstellationen im Zusammenhang mit klimabedingten Herausforderungen muss für die Akteure ausreichend Handlungsspielraum bestehen, um geeignete Transformationsprozesse umzusetzen. Dabei sollten strukturelle Hemmnisse und Barrieren, die der praktischen Umsetzung im Wege stehen, abgebaut werden. Dies wirft zudem die Frage nach zusätzlichen oder anders ausgerichteten finanziellen Mitteln auf, um Strukturveränderungen herbeizuführen und im Krisenfall über die notwendigen Ressourcen für eine angemessene Versorgung zu verfügen.

Gesundheitssystem

- › *Hitzeresiliente Städte:* Städte sollten sich auf die steigenden Durchschnittstemperaturen und temporären Hitzeschocks vorbereiten. Dabei sollten sie bewährte Praxisbeispiele identifizieren und etablieren, Produkte wie etwa Karten- und Datendienste harmonisieren und die Zusammenhänge zwischen Umweltfaktoren, Gesundheit und sozialen Gegebenheiten berücksichtigen. Es ist wichtig, maßgeschneiderte Aktionspläne zu erstellen, die auf die lokalen Gegebenheiten abgestimmt sind.
- › *Ressort- und politikfeldübergreifende Ansätze:* Es ist wichtig, die Koordination zwischen verschiedenen politischen Ebenen zu stärken und Gesundheit als gesamtgesellschaftliche Aufgabe zu verstehen. Auf politischer Ebene bieten Ansätze wie Health in All Policies und Planetary Health einen geeigneten Rahmen für ökologische, gesundheitsbezogene und sozialpolitische Zielsetzungen.
- › *Divestment der ärztlichen Versorgungswerke:* Die Investitionen der Versorgungswerke sollten aus Branchen zurückgezogen werden, die maßgeblich zur Verschlechterung der Ökosysteme und zur Klimakrise beitragen.
- › *Transformation des Gesundheitssystems in Richtung Nachhaltigkeit:* Das Gesundheitssystem spielt bislang in der öffentlichen Diskussion über Treibhausgase und Klimaschutz eine zu geringe Rolle. Die bisherige Klimabilanz des Gesundheitssystems steht im Widerspruch zu seiner eigentlichen Aufgabe. Es ist von höchster Bedeutung, spezifische Maßnahmen zum Klimaschutz für das Gesundheitssystem und seine Institutionen zu priorisieren und umzusetzen.

Verkehrssystem

- › *Anpassung von Plan- und Regelwerken:* Es ist erforderlich, konkrete Vorgaben für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen festzulegen und diese als den aktuellen Stand der Technik im Umgang mit dem Klimawandel zu etablieren. Zusätzlich sollten neue Planungsgrundsätze definiert werden, beispielsweise durch die Berücksichtigung im Bundesverkehrswegeplan 2030.
- › *Abbau von Hemmnissen und Barrieren:* Es ist notwendig, das Planungs- und Genehmigungsrecht zu beschleunigen und die Zusammenarbeit über Institutionsgrenzen durch die Einführung einheitlicher Datenformate zu verbessern. Unklare Zuständigkeiten zwischen Bund und Ländern sollten beseitigt werden, und klare Regeln darüber, wie der Klimawandel in Gesetzen zu berücksichtigen ist, sollten etabliert werden. Zudem sollten klare Verantwortlichkeiten in den Planfeststellungsverfahren festgelegt sowie das Bewusstsein für die Notwendigkeit zur Anpassung an den Klimawandel auf der organisatorischen und betrieblichen Ebene (Wissensstand, Schulungen) geschaffen werden.

Die genannten Ansätze bieten grundsätzlich Möglichkeiten zur Steigerung der Resilienz der beiden untersuchten Systeme gegenüber dem Klimawandel als einem systemischen Risiko. Bei ihrer Umsetzung können jedoch Konflikte mit anderen politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Zielen auftreten. Es zeigen sich Inkompatibilitäten zwischen den Konzepten zur Förderung der Resilienz und den Ansätzen, die auf Effizienzsteigerung und Kostenreduktion abzielen.

Die Stärkung der Redundanz und Robustheit, wie hier für das Gesundheits- bzw. Verkehrssystem aufgezeigt, geht häufig mit zusätzlichen finanziellen Aufwendungen einher. Zwar können die kurzfristigen Kosten möglicherweise langfristig durch die gesteigerte Resilienz ausgeglichen werden, jedoch ist dies im Einzelfall stets genau zu prüfen. Der Umgang mit systemischen Risiken erfordert oft rasche und politisch koordinierte Entscheidungen, um flexibel auf unvorhergesehene Ereignisse und neue Anforderungen reagieren oder proaktiv Veränderungen angehen zu können. Dies kann mit den demokratischen und föderalen Strukturen sowie den damit verbundenen Anforderungen an Mitsprache und Beteiligung im Konflikt stehen. Dennoch ist es im Sinne demokratischer Legitimität von entscheidender Bedeutung, die Akzeptanz der Bürger/innen für die teilweise umfassenden Veränderungen im Rahmen von Transformations- und Resilienzpolitiken im Auge zu behalten.

Ein angemessener Umgang mit solchen Spannungsfeldern, Widersprüchen und Ambiguitäten gewinnt zunehmend an Bedeutung und stellt eine Schlüsselkompetenz für die Gestaltung einer transformativen Resilienz dar. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, die auftretenden Zielkonflikte frühzeitig zu identifizieren und

stets im Blick zu behalten, insbesondere dann, wenn sie mit konkurrierenden politischen Zielen abgewogen werden müssen. Hier bedarf es einer evidenzbasierten Operationalisierung der Auswirkungen von Resilienzmaßnahmen und den damit verbundenen möglichen Zielkonflikten für politische Bewertungs- und Entscheidungsprozesse.

7 Handlungsoptionen zur Stärkung der Resilienz von Gesellschaft, Wirtschaft und Politik

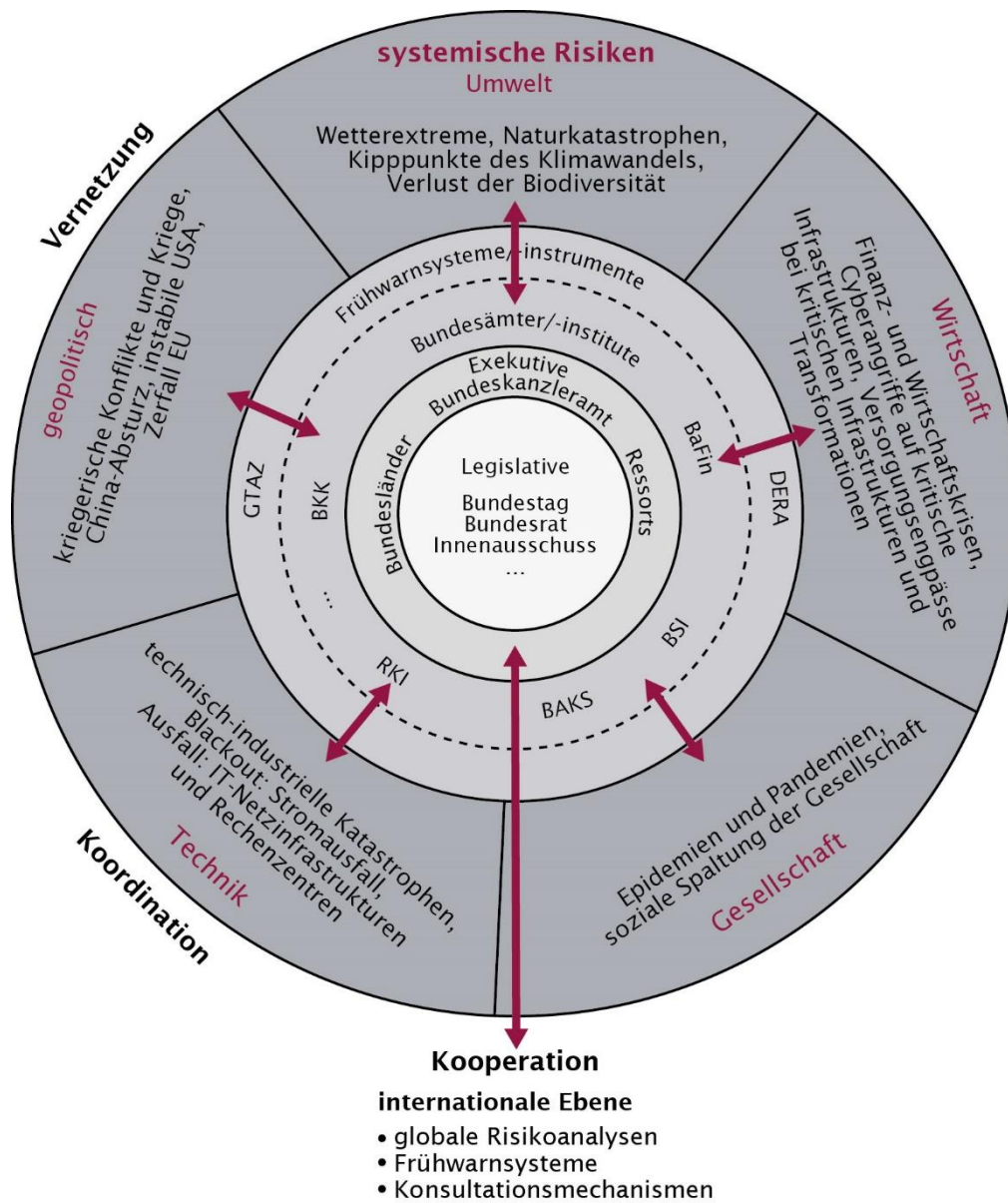
Das frühzeitige Erkennen von Krisen und den damit verbundenen Vulnerabilitäten ist von entscheidender Bedeutung für die Prävention und Bewältigung von Krisen. Es bildet einen wesentlichen Bestandteil einer Strategie zur Steigerung der Resilienz von Gesellschaft, Wirtschaft und Politik. Mit Blick darauf sind in Deutschland verschiedene Ebenen und zahlreiche Institutionen, Behörden und Gremien befasst, die zusammengenommen ein Mehrebenensystem mit der Funktion eines Krisenradars darstellen (Abb. 7.1).

Auf der ersten Ebene ist die Legislative mit dem Bundestag, den Länderparlamenten und dem Bundesrat verortet, wobei je nach Sachgebiet verschiedene Ausschüsse zuständig sind. Beispielsweise wäre auf Bundestagebene im Fall des Bevölkerungs- und Katastrophenschutzes der Ausschuss für Inneres und Heimat federführend, während bei pandemischen Risiken der Gesundheitsausschuss zuständig wäre, wobei weitere Fachausschüsse (z. B. Umwelt und Verkehr) beratend hinzugezogen werden müssten. Die zweite Ebene umfasst das Bundeskanzleramt und die Ressorts, die jeweils für die Gefährdungen in ihrem Zuständigkeitsbereich verantwortlich sind. Auf der dritten Ebene greifen sie auf nachgeordnete Bundesbehörden und Institutionen zurück. Auf dieser Ebene kommt eine Vielzahl von Frühwarnsystemen und Instrumenten zum Einsatz, die systemische Risiken beobachten, analysieren und bewerten sowie staatliche Akteure bei der Krisenvorhersage unterstützen. Beispielsweise ist das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) mit der Koordination und methodischen und fachlichen Begleitung von Risikoanalysen betraut. Im Finanzsektor wird die Widerstandsfähigkeit von Banken unter adversen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen im Rahmen von Stresstests der Europäischen Bankenaufsichtsbehörde (EBA) und der Europäischen Zentralbank (EZB) untersucht, um bedrohliche Entwicklungen zu identifizieren und präventiv auf mögliche Finanzrisiken reagieren zu können. Im Bereich der Terrorismusbekämpfung werden Frühwarnsysteme genutzt, etwa über das gemeinsame Terrorismusabwehrzentrum im Zuständigkeitsbereich des BKA.

Obwohl es zahlreiche Institutionen gibt, die Instrumente zur Krisenvorhersage anwenden, werden die gewonnenen Erkenntnisse oft nicht ausreichend genutzt, vernetzt und in politische Prozesse integriert. Ein häufiges Problem bei herkömmlichen Risikoanalysen ist der Mangel an Weitsicht. Krisen und Risiken werden häufig isoliert betrachtet und als temporäre Ausnahmesituation behandelt, die akut und zeitlich begrenzt bewältigt werden müssen.

Ein grundsätzliches Problem besteht darin, dass aus einer Fülle von Daten und Einzelinformationen nicht zwangsläufig verwertbares Orientierungswissen abgeleitet werden kann, um die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß möglicher systemischer Krisen für politische Entscheidungsträger einschätzbar zu machen. Hinzu kommt, dass die Globalisierung und ihre vielfältigen Verflechtungen die Vorhersage zukünftiger Krisen, einschließlich ihrer Verläufe, Eintrittswahrscheinlichkeiten, Wechselwirkungen, Kaskadeneffekte und Auswirkungen immer schwieriger gestalten. Dies wurde eindrücklich durch den Verlauf und die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie demonstriert. Orientierungswissen ist dennoch von entscheidender Bedeutung für eine vorausschauende Politikgestaltung des soziotechnischen Wandels auf wissenschaftlicher Basis. Da in den meisten Fällen nicht eindeutig vorhersehbar ist, welche Ereignisse und Entwicklungen in der Zukunft zu erheblichen Störungen soziotechnischer Systeme führen und Krisen auslösen werden, ist es erforderlich, die Krisenvorhersage über den bloßen erwarteten Störfall hinaus zu erweitern. Dies dient dazu, die politische Handlungsfähigkeit in unterschiedlichen Krisenzeiten sicherzustellen.

Abb. 7.1 Krisenradar als Mehrebenensystem



BaFin: Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht; BAKS: Bundesakademie für Sicherheitspolitik; BKK: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe; BSI: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik; DERA: Deutsche Rohstoffagentur; GTAZ: Gemeinsames Terrorismusabwehrzentrum; RKI: Robert Koch-Institut

Eigene Darstellung

Grundsätzlich sind auf den verschiedenen Ebenen bereits zahlreiche Instrumente vorhanden, um alle denkbaren Gefahren im Rahmen von systemischen Risiken, ihren Wechselwirkungen, Kaskadeneffekten und Auswirkungen in den Blick zu nehmen. Die Hauptaufgaben zur Verbesserung der Krisenvorhersage systemischer Risiken besteht vielmehr in der Schaffung geeigneter Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Ebenen, um Analysen und Bewertungen über Zuständigkeiten von Ressorts, Fachbereichen und administrativen Grenzen hinweg zu erleichtern. Bei der Formulierung von Handlungsoptionen geht es daher vor allem um die Integration, Vernetzung, Koordination und Kooperation der verschiedenen politischen Ebenen, Ressorts und der damit verbundenen Institutionen, Behörden, Institute, Frühwarnsysteme und Instrumente. Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus der

Anwendung von Frühwarnsystemen (Kap. 3), insbesondere während der COVID-19-Pandemie (Kap. 4), und der Analyseergebnisse der Fallbeispiele im Gesundheits- und Verkehrsbereich (Kap. 6) lassen sich folgende politisch relevante Handlungsoptionen ableiten:

- › Frühwarnsysteme um Vulnerabilitätsanalysen, Stresstests und Resilienzanalysen zu systemischen Risiken erweitern
- › Wahrnehmung von Risikoanalysen im Sinne des All-Gefahren-Ansatzes in der Politik verbessern
- › Frühwarnung durch Szenarien, Modellierung und KI unterstützen
- › Vorsorgende politische Gestaltungskonzepte umsetzen
- › Integrierte Risikobewertung zur Krisenvorsorge auf Bundes- und Landesebene durch Schnittstellen sicherstellen
- › Kooperative Formate und Konsultationsmechanismen zur Krisenvorhersage und -reaktion auf europäischer Ebene stärken
- › Entwicklung und Evaluation von Kriterien, um politische Maßnahmen zur Krisenvorsorge auf eine effektive Resilienz Wirkung hin auszurichten
- › Konzepte der Resilienz und Nachhaltigkeit zusammenführen, um zu einem transformativen Resilienzverständnis zu gelangen

7.1 Handlungsoptionen zur Verbesserung der Krisenvorsorge

7.1.1 Frühwarnsysteme um Vulnerabilitäts-, Stresstests und Resilienzanalysen zu systemischen Risiken erweitern

Während das Krisenmanagement in Deutschland bisher hauptsächlich lokale oder sektorale Auswirkungen von Krisen bewältigt, stehen die für die Krisenbewältigung verantwortlichen Institutionen (z. B. im Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe oder im Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) zunehmend vor der Herausforderung, sich auf globale und systemische Bedrohungen vorzubereiten (Boin 2019). Diese systemischen Krisen machen nicht an sektoralen, regionalen oder nationalen Grenzen halt und sind aufgrund ihrer Komplexität besonders schwierig zu bewältigen (Perrow 1984; Renn/Lucas 2021). Wie in Kapitel 5.1 ausgeführt, können sie eine Reihe von Kaskadeneffekten auf unterschiedlichen Zeitskalen auslösen, die zu verstärkenden Rückkopplungsschleifen mit potenziell katastrophalen Folgen führen können (Schweizer/Chabay 2021). Im Falle systemischer Risiken reicht die bloße Früherkennung von Bedrohungsereignissen und die Vorbereitung auf den Katastrophenfall nicht aus. Vielmehr müssen klassische Frühwarnsysteme um Vulnerabilitätsanalysen, Stresstests und Resilienzanalysen kritischer gesellschaftlicher Systeme erweitert werden. Diese Analyseansätze legen den Fokus auf potenzielle Gefährdungsszenarien, die Exposition des Systems und seine Sensitivität gegenüber den Szenarien. Anschließend wird die Anpassungskapazität des Systems betrachtet. Dabei sollten auch Extremszenarien einbezogen werden, da ihr Eintreten bei komplexen und vernetzten Systemen keineswegs ausgeschlossen ist. Außerdem müssen direkte und indirekte Kaskadeneffekte identifiziert, Kopplungsmechanismen analysiert und Vulnerabilitäten sektorübergreifend bewertet werden. Auf dieser Grundlage können dann in einem weiteren Schritt Möglichkeiten zur Steigerung der Resilienz ausgelotet werden (Schweizer/Chabay 2021). Diese Analysen können den politischen Entscheidungsträgern einen erweiterten Vorsorgehorizont bieten, indem sie Hinweise auf mögliche Bedrohungen liefern und bei der Identifizierung von Handlungsbedarfen und -spielräumen für vorsorgende politische Gestaltungskonzepte helfen. Das Ziel ist es, strukturelle Schwachstellen zu erkennen und abzubauen. Dazu gehören beispielsweise Lieferabhängigkeiten, die Kritikalität von Technologierohstoffen, die Abhängigkeit bei der Energieversorgung, der drohende Verlust von Biodiversität sowie die Anfälligkeit gegenüber Cyberangriffen.

7.1.2 Wahrnehmung von Risikoszenarien im Sinne des All-Gefahren-Ansatzes in der Politik verbessern

In Zeiten, die nicht von Krisen geprägt sind, wird den bereitgestellten Informationen für den Krisenfall oftmals nicht ausreichend Beachtung beigemessen. Dies führt dazu, dass die in den Risikoanalysen behandelten Szenarien von der Politik häufig nur bedingt als Problem wahrgenommen werden, wie die Ausführungen in Kapitel 4.1 zu den bereits vorhandenen Erkenntnissen vor dem Ausbruch der COVID-19-Pandemie zeigen. Beispielsweise wurde die Risikoanalyse »Pandemie durch Virus Modi-SARS« von 2012 (Bundesregierung 2013), die viele Aspekte der COVID-19-Pandemie erstaunlich detailliert vorwegnahm, kaum beachtet.

Systemische Risiken erhalten trotz ihres erheblichen Potenzials für weitreichende Auswirkungen (als Folge ihrer Vernetzung) oft nicht die gleiche Aufmerksamkeit wie katastrophale Ereignisse und werden tendenziell unterschätzt. Bei der herkömmlichen Bewertung von Risiken spielt neben den erwarteten Auswirkungen auch die Eintrittswahrscheinlichkeit eine entscheidende Rolle. Ist diese gering, tendieren politische Entscheidungsträger/innen dazu, das Problem als gegenwärtig nicht akut anzusehen und die Auseinandersetzung damit in die Zukunft zu verschieben. Ein solches Verhalten zeigt sich in Einordnungen und Begriffen wie Jahrhunderthochwasser.

Die Diskussion über systemische Risiken und entsprechende Szenarien konzentriert sich oft auf einige wenige Bereiche wie neue Pandemien, Cyberattacken, Stromausfall und Energieversorgungssicherheit. Ein Grund dafür ist die in der Politik übliche Ereignisgetriebenheit bei der Themensetzung, kombiniert mit zeitlichen Einschränkungen und begrenzten Kapazitäten (Nagels et al. 2021). Anstelle einer umfassenden Betrachtung vieler unterschiedlicher Szenarien im Sinne des All-Gefahren-Ansatzes (Kap. 5.3) werden stattdessen häufig einzelne Szenarien mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit als die dringlichsten Probleme in der politischen Agenda behandelt. Für die Politik stellt die Durchführung von Präventionsmaßnahmen selbst eine Art Risiko dar, da die Kosten für vorbereitende Maßnahmen häufig sehr hoch sind und gleichzeitig nicht garantiert werden kann, dass die Krise tatsächlich eintritt oder dass die ergriffenen Maßnahmen wirksam sind. Solange die Ausgaben für Vorsorgemaßnahmen nicht durch das Auftreten einer Krise gerechtfertigt werden, kann der Rechtfertigungsdruck hoch sein. Daher wird oft erst im Krisenfall reagiert, und es wird eine Strategie der schnellen Reaktion und Bereitstellung von Ressourcen verfolgt.

Für die zukünftige Politikgestaltung sind entsprechend ressort- und politikfeldübergreifende Ansätze erforderlich, die im Sinne eines All-Gefahren-Ansatzes die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Politikbereichen und Sektoren in den Mittelpunkt stellen. Wie in der Fallstudie zum Gesundheitssystem erläutert, wird auf internationaler Ebene bereits länger eine Gesundheitspolitik gefordert, die Gesundheit in Verknüpfung mit anderen Politikbereichen sieht. In Deutschland steht das Konzept »Gesundheit in allen Politikfeldern« erst am Anfang und wird insbesondere auf kommunaler Ebene und mit den Möglichkeiten des Präventionsgesetzes verfolgt. Es ist notwendig, zukünftig übergreifende Strukturen für die Umsetzung vorsorgender Politiken zu entwickeln und durchzusetzen. Dazu zählen u. a. interministerielle Gremien, intersektorale Arbeitsgruppen, gemeinsame Budgets sowie sektorübergreifende Informations- und Frühwarnsysteme (Evers-Wölk et al. 2023).

7.1.3 Frühwarnung durch Szenarien, Modellierung und KI unterstützen

Risikobewertungen sollten zukünftig nicht nur auf vergangene Erfahrungen bezogen werden, sondern auch auf vorausschauende szenariobasierte Ansätze und Simulationsberechnungen (Predictive Analytics) setzen. Die COVID-19-Pandemie machte deutlich, dass wissenschaftliche Beratung und evidenzbasierte Daten eine entscheidende Rolle bei der Frühwarnung und der Bewältigung von Krisen spielen. Daher ist es von großer Bedeutung, interdisziplinäre Expertise zu fördern, um übergreifende Frühwarnsysteme zu etablieren, kritische Kontrollpunkte der Frühwarnung zu identifizieren und diese mit der politisch-administrativen Entscheidungspraxis zu verknüpfen.

Die Erfahrungen mit der Pandemie haben auch gezeigt, dass es an integrierten Verfahren mangelt, die nicht nur ein nutzbringendes Lagebild für die Situation in den einzelnen Bereichen der Gesellschaft aufzeigen, sondern auch die mögliche gesamtgesellschaftliche Entwicklung aufgrund fundierter prognostischer Abschätzungen berücksichtigen, wie in Kapitel 4.3 dieses Berichts dargelegt wurde. Angesichts dieser Erkenntnisse erscheint es besonders sinnvoll, die politische Frühwarnung in Deutschland zu stärken und dabei neben indikatoren gestützten

Ansätzen auch internationale nichtstaatliche und ereignisbasierte Frühwarnsysteme verstärkt in die Frühwarnprozesse zu integrieren. Beispiele hierfür sind das auf Big Data basierende »Program for Monitoring Emerging Diseases-mail« (ProMED-mail) sowie »BioCaster«, »HealthMap« und »Medical Information System« (MedISys), welche im Rahmen der COVID-19-Pandemie vom Europäischen Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (European Centre for Disease Prevention and Control – ECDC) und der WHO verwendet wurden (Kap. 4.2). Zudem sollten die in Frühwarnsystemen verwendeten Indikatoren grundsätzlich auch solche umfassen, die auf die Beschreibung von Aktivitäten und Instrumenten abzielen, die benötigt werden, um politisch gewünschte Ziele zu erreichen.

Prognostische Modellierungen sind ein sinnvolles Instrument zur Einschätzung der Dynamiken von systemischen Risiken und Krisen. Präventive und vorausschauende Systeme und Strategien, die bisher noch begrenzt eingesetzt werden, können nicht nur im Gesundheitsbereich helfen, mögliche Kapazitätsengpässe frühzeitig zu erkennen und datenbasierte Anpassungen in der Versorgungssteuerung vorzunehmen. Mit ihnen könnte beispielsweise auch das Ausfallrisiko von Zulieferern oder Logistikwegen abgeschätzt (z. B. durch Streiks, Unwetter, unterbrochene Lieferketten, Rohstoffabhängigkeiten) oder Ausfälle bei Verkehrsmitteln, wie Flugzeugen, Lkw, Zügen und Schiffen, prognostiziert und ggf. verhindert werden.

KI-basierte Ansätze haben das Potenzial, die Genauigkeit von Vorhersagemodellen zu erhöhen und bei der Auswahl von Präventivmaßnahmen sowie bei wissenschaftsbasierten politischen Entscheidungen eine unterstützende Rolle zu spielen (SVR 2023). KI kann bei der Erkennung von Trends und Wendepunkten (z. B. Ausbreitungsverlauf), der Identifizierung von Zusammenhängen, der Erstellung von Prognosen und der Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen sowie bei der Beschleunigung von Innovationen (z. B. Identifikation von aussichtsreichen Wirkstoffen, Anpassung von Lieferketten, Produkten und Services) hilfreich sein (Plattform Lernende Systeme 2020). Es besteht jedoch ein erheblicher Bedarf an weiterer Forschung, um leistungsstarke, sichere (Daten-)Infrastrukturen bereitzustellen, Datenanalysewerkzeuge leicht zugänglich und benutzerfreundlicher zu gestalten und hybride KI-Systeme zu entwickeln, die maschinelles Lernen aus Daten mit der Anwendung von kausalem Modellwissen kombinieren. Dies könnte dazu beitragen, Analyseprozesse zu beschleunigen und Ergebnisse nachvollziehbarer aufzubereiten, um die Bewertung von Risiken zu unterstützen. Das Ziel sollte darin bestehen, durch die Integration unterschiedlicher KI-Methoden die Automatisierung kontextabhängiger Schlussfolgerungen zu ermöglichen, auch bei widersprüchlichen, unvollständigen, mehrdeutigen oder vagen Informationen, um die Krisenvorhersage zu unterstützen (Plattform Lernende Systeme 2020).

7.1.4 Vorsorgende politische Gestaltungskonzepte umsetzen

Um systemische Risiken besser bewältigen zu können, sind vorausschauende Resilienzstrategien erforderlich (wie sie bereits in der ersten Handlungsoption dieses Kapitels beschrieben wurden). Diese Strategien sollen dazu dienen, Systeme so zu ertüchtigen, dass sie auch in den Fällen von unwahrscheinlichen und überraschenden Belastungen ihre Funktionsfähigkeit und Lernfähigkeit aufrechterhalten können. Sie bilden somit eine konzeptionelle Grundlage für die Entwicklung konkreter politischer Gestaltungskonzepte. Obwohl Prävention in politischen Debatten und Strategien als grundsätzlich wichtige Aufgabe angesehen wird, variiert die Umsetzung präventiver Risikovorsorge, wie sie in internationalen Vereinbarungen (insbesondere im »Sendai Rahmenwerk«, Kap. 2.1) gefordert wird, bisher stark. Die Diskussionen werden immer differenzierter geführt, es fehlt aber an einer effektiven Umsetzung, insbesondere im Falle systemischer Risiken. Hierbei sollten Überlegungen zur Prävention bereits in Risikobewertungen, wie sie vom BKK in Risikoanalysen durchgeführt werden, stärker integriert werden. Dies betrifft beispielsweise die Bewertung neuer Technologien sowie von Veränderungen in der Struktur des Gesundheitswesens (Voss 2021). Handlungsfelder zur Steigerung der Resilienz umfassen den Ausbau von Pufferkapazitäten, Diversifizierung, Modularisierung, die Schaffung von Redundanzen und Dezentralität (Kap. 2.3). Die COVID-19-Pandemie hat die Bedeutung von Pufferkapazitäten, wie sie beispielsweise bei Schutzmasken erforderlich sind, eindrucksvoll unterstrichen. Sie verdeutlicht auch die Notwendigkeit, das Gesundheitssystem so auszurichten, dass es nicht nur in der Lage ist, Intensivkapazitäten schnell bereitzustellen und hochzufahren, sondern dafür auch über ausreichend medizinisches Fach- und Pflegepersonal verfügt.

Darüber hinaus sind vorsorgende Konzepte zu systemischen Risiken in einen größeren gesellschaftlichen Zusammenhang zu stellen. Beispielhaft sind Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepte, um die Risiken für Wirtschaft und Gesellschaft zu minimieren. Hier kommt es auf eine Beschleunigung der Umsetzung an, um die im Pariser Klimaschutzabkommen gesetzte Leitplanke von 1,5 °C nicht zu überschreiten. Ansonsten steigt das

Risiko klimabedingter Bedrohungslagen bis hin zum Überschreiten von Kippunkten (Kap. 5). Ein weiteres Beispiel ist die Modernisierung der Wirtschaftsberichterstattung zur Wertschätzung und Unterstützung der Biodiversität. Hier geht es darum, die nationale und unternehmerische Wirtschaftsberichterstattung unter Einbeziehung von Ökosystemleistungs- und Biodiversitätsindikatoren weiterzuentwickeln.³⁵ Damit könnten wichtige Anreize gesetzt werden, die mit dem Verlust der Biodiversität einhergehenden Risiken zu minimieren.

7.1.5 Integrierte Risikobewertung zur Krisenvorsorge auf Bundes- und Landesebene durch Schnittstellen sicherstellen

Die staatlichen Frühwarnsysteme arbeiten zwar gründlich, sind aber tendenziell langsam und zu passiv ausgerichtet. Zudem arbeiten Behörden teils mit unterschiedlichen und inkompatiblen Systemen des Informations- und Datenmanagements zur Krisenvorhersage (Voss 2021). Mit der Gründung des GeKoB (BMI 2023) reagierte die Innenministerkonferenz (2022) auf dieses Defizit. Dieses Zentrum strebt an, die Abstimmungskompetenzen zwischen Bund und Ländern zu verbessern, und zwar über bestehende Koordinierungseinrichtungen und Schnittstellen hinaus. Dazu gehören das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum des Bundes und der Länder (GMLZ), verschiedene Möglichkeiten für gemeinsame Krisenstäbe, die Abteilung für Krisenmanagement und Bevölkerungsschutz im BMI, die länderübergreifenden Übungen (LÜKEX) und die Interministerielle Koordinierungsgruppe des Bundes und der Länder (IntMinKoGr). Darüber hinaus haben die Ressorts auf Bundesebene im Rahmen des Gemeinsamen Koordinierungsstabes Kritische Infrastruktur (GEKKIS) einen Prozess vereinbart, um neben dem Lagebild des GeKoB eine gemeinsame Risikobewertung zur Betrachtung von Auswirkungen auf Kritische Infrastrukturen und kritische Dienstleistungen zu erstellen³⁶.

Eine koordinierte, integrierte Risikobewertung und ineinandergreifende Maßnahmen von Bund und Ländern sind entscheidende Schritte, um der Komplexität von systemischen Risiken und ihren potenziellen Auswirkungen auf kritische Infrastrukturen und Systeme gerecht zu werden. Gerade systemische Risiken, wie Pandemien und der Klimawandel, verdeutlichen die Notwendigkeit eines konsistenten Handelns und effizienter Schnittstellen zwischen Ressorts sowie zwischen Bund und Ländern. Um diese Schnittstellen wirksam zu gestalten, bedarf es einer angemessenen finanziellen Ausstattung aller beteiligten Behörden und Organisationen. Im Rahmen der Führungskräfteausbildung ist sicherzustellen, dass ein ganzheitlicher Ansatz zur Krisenvorhersage und Risikobewertung im Bevölkerungs- und Katastrophenschutz (insbesondere im Bereich der BABZ sowie bei der BAKS) implementiert wird. Darüber hinaus braucht es eine weitergehende und koordinierte Vernetzung aller relevanten Akteure, insbesondere aus der Wirtschaft, Wissenschaft und zivilgesellschaftlichen Gruppen, zur Optimierung der Leistungsfähigkeit der Krisenvorhersage als Voraussetzung für eine Stärkung der Resilienz von Wirtschaft und Gesellschaft.

7.1.6 Kooperative Formate und Konsultationsmechanismen zur Krisenvorhersage und -reaktion auf europäischer Ebene stärken

Eine effektive Krisenvorhersage kann häufig nicht allein auf nationalstaatlicher Ebene sichergestellt werden. Bislang fehlen aber die Voraussetzungen und Strukturen, um auf internationaler Ebene schnell, effektiv und koordiniert Krisen vorherzusagen und auf externe Schocks reagieren zu können. Zu den Hürden gehören u. a. ein schleppendes, wenig effektives und unzureichend koordiniertes Krisenvorhersagemanagement sowie eine unzureichende Kommunikation. Effektive europäische Krisenreaktionsstrukturen, die schnelle Entscheidungen auf höchster EU-Ebene ermöglichen und von nachgeordneten Behörden umgesetzt werden können, fehlen bislang. Ein wichtiger Schritt zur Behebung dieses Defizits ist der »Strategic Foresight Process« der Europäischen Kommission (EC 2020). Dieser stellt erstmals Europas Fähigkeit zur Resilienz in unterschiedlichsten Themenfeldern

³⁵ Wie die Weiterentwicklung der Wirtschaftsberichterstattung erfolge könnte, zeigt das Projekt »Bio-Mo-D« (IOER o. J.).

³⁶ »Dieser Risikobewertungsprozess sieht vor, dass anhand von Szenarien insbesondere die Auswirkungen auf die Kritischen Infrastrukturen sowie auf die Erbringung der Kritischen Dienstleistungen betrachtet werden. Dazu ist geplant, dass jedes Ressort anhand von identischen Leitfragen ausgewählte Parameter im eigenen Geschäfts- und Zuständigkeitsbereich beleuchtet. Diese von den Ressorts erstellten Risikobewertungen werden gesammelt und zusammengeführt. Federführend für GEKKIS ist das BMI« (Bundesregierung 2022).

in den Mittelpunkt und soll der EU-Politik als Kompass dienen. Im Gesundheitsbereich ist beispielsweise eine bessere Koordination geplant, u. a. im Rahmen des im Februar 2021 angekündigten HERA-Inkubators.³⁷

Um die Krisenvorhersage über die bisherigen Foresightaktivitäten der EU und Ad-hoc-Krisenstäbe hinaus institutionell effektiv zu verankern, schlagen Kagerman et al. (Kagermann et al. 2021) den Aufbau eines neuen Resilienzrats auf europäischer Ebene vor. Dieser Rat könnte verschiedene Aufgaben übernehmen, darunter die kontinuierliche Überwachung und wissenschaftliche Auswertung des aktuellen Kenntnisstands aus Risiko-, Vulnerabilitäts-, Stress- und Resilienzanalysen. Ebene sowie die Ableitung politischer Handlungsbedarfe für die Krisenvorhersage und -vorsorge. Ein solcher Rat könnte vergleichsweise schnell eingerichtet werden und perspektivisch auf EU-Ebene sowie auf nationaler Ebene Krisenstäbe beraten.

Um dies zu leisten, sollte der Rat interdisziplinär zusammengesetzt sein, insbesondere mit Fachleuten aus der Risiko-, Komplexitäts- und Transformationsforschung. Der Resilienzrat könnte Grundlagen für wissenschaftsbasierte politische Entscheidungen schaffen, indem er verschiedene Handlungsoptionen und ihre Implikationen aufzeigt, ohne jedoch konkrete Lösungswege vorzuschlagen oder Handlungsempfehlungen zu geben. Er könnte dabei helfen, die Krisenvorhersage an zentraler politischer Stelle zu verankern, interdisziplinäre Fachkompetenz zu bündeln und internationale Konsultationsmechanismen zur Krisenvorhersage zu unterstützen. Im Ernstfall sollte er in der Lage sein, mit zügiger und agiler Beratung die Entscheidungsfindung der Exekutive zu unterstützen, um die Lücke zwischen Early Warning und Early Action im politischen System bzw. in politischen Entscheidungsprozessen auf EU-Ebene und den Mitgliedstaaten verringern zu helfen.

7.1.7 Entwicklung und Evaluation von Kriterien, um politische Maßnahmen zur Krisenvorsorge auf eine effektive Resilienz Wirkung hin auszurichten

Die bisher diskutierten Resilienzansätze sind vielfach übergeordneter Natur. Resilienz als strategisches Politikziel wird erst in jüngster Zeit insbesondere auf Ebene der UN, der EU und der Bundesregierung thematisiert. Die umfassende Einschätzung der Resilienz von Gesellschaften und ihren Subsystemen auf evidenzbasierter Grundlage ist entscheidend, um systematisch nach bisher unentdeckten Schwachstellen zu suchen, die Wirkung bestimmter Maßnahmen zu bestimmen und ihren möglichen Nutzen zu bewerten. Die Hauptaufgabe besteht daher in einer genaueren quantitativen Abschätzung der jeweiligen Kosten-Nutzen-Verhältnisse. Zur Bewertung von Resilienz ist es wichtig, Metriken und Indikatoren zu entwickeln, anhand derer eine Evaluation durchgeführt werden kann, um politische Maßnahmen auf eine mögliche Resilienz Wirkung bewerten und daraufhin auszurichten zu können. Die aktuell gültigen internationalen Leitlinien wurden in der Regel auf der Basis konkreter Krisenereignisse wie etwa der COVID-19-Pandemie entwickelt und zielen eher auf effektive Abläufe im Sinne der Krisenbewältigung als auf Resilienz im Sinne einer grundlegenden Systemeigenschaft ab (Rudloff 2022).

Ein gutes Beispiel für die Entwicklung strategischer Leitlinien zur Steigerung der Resilienz sind die in Kapitel 2.1 aufgeführten Leitlinien des »Sendai Rahmenwerks« der Vereinten Nationen zur Risikoreduktion bei Naturkatastrophen. Auch die EU hat damit begonnen, Krisenereignisse systematisch zu bewerten und daraus Resilienzstrategien abzuleiten, wie im Rahmen der »Strategic Foresight Reports« dargestellt wird (EC 2020). Auf nationaler Ebene könnte das BMI als fachlich federführendes Ministerium zum Aufsetzen eines entsprechenden Evaluationsprogramms fungieren.

7.1.8 Konzepte der Resilienz und Nachhaltigkeit zusammenführen, um zu einem transformativen Resilienzverständnis zu gelangen

Resilienz und Nachhaltigkeit hängen als Leitkonzepte eng miteinander zusammen, sind aber bis dato auf politischer Ebene wenig miteinander verknüpft. Resilienz betont die Fähigkeit, Krisen zu bewältigen, sich anzupassen und daraus für künftige Ereignisse zu lernen. Die Steigerung von Resilienz ist in einer Zeit multipler Krisen von großer gesellschaftlicher und politischer Bedeutung. Resilienz ist allerdings ein relatives Konzept, das nur mit

³⁷ Dieser soll Forschung, Industrie und Behörden gezielt zusammenbringen und mehr Ressourcen mobilisieren u. a. mit dem Ziel, Anreize für die weitere Impfstoffentwicklung zu setzen und Produktionskapazitäten auszubauen. Zudem sollte eine Überarbeitung der Internationalen Gesundheitsvorschriften, aber auch der Entwicklung des Internationalen Vertrags zur Pandemieprävention politisch vorangetrieben werden, um sich zukünftig auf der Basis einer verlässlichen Informationsgrundlage frühzeitig auf drohende Pandemien vorzubereiten zu können.

Blick auf einen spezifischen gesellschaftlichen Kontext angewendet werden kann. Demgegenüber bietet Nachhaltigkeit grundsätzlich eine starke normative Orientierung mit dem Ziel, Wohlstand und soziale Gerechtigkeit im Rahmen ökologischer planetarer Grenzen zu erzeugen. Den konkreten Kompass steckt die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung mit den global gültigen Zielen für nachhaltige Entwicklung ab. Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie orientiert sich seit 2016 an diesen 17 globalen Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen (Bundesregierung 2023b). Die Leitbilder von Resilienz und Nachhaltigkeit können sich wechselseitig ergänzen, wie in Kapitel 2.1 ausgeführt wurde. Die Deutsche Resilienzstrategie greift diese Sicht auf und unterstreicht, dass die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 Krisenentwicklungen, wie Klimawandel, Artensterben, steigendem Ressourcenverbrauch und wachsender Ungleichheit, entgegenwirkt und auf diese Weise das Risiko von Krisen minimiert wird. Zudem hilft ein verbessertes Katastrophenrisikomanagement dabei, Rückschläge bei der Erreichung von Zielen, die sich auf die soziale, ökologische und ökonomische Dimension von Nachhaltigkeit beziehen, zu vermeiden (BMI 2022a).

In einer krisenhaften Welt wird Resilienz zu einer Grundvoraussetzung für das Erreichen der Nachhaltigkeitsziele. Nur wenn die sozial-ökologische Transformation krisenfest gestaltet wird, können zukünftige Gesellschaften langfristig stabil sein. Auch im Rahmen der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wird Resilienz als ein Kernelement einer nachhaltigen Entwicklung eingestuft (BMI 2022a). Die Umsetzung der deutschen Resilienzstrategie steht in enger Verbindung mit weiteren Zielen, zu denen sich die Bundesregierung verpflichtet hat (u. a. Pariser Klimaschutzabkommen 2015, Agenda für Humanität 2016, Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung).

Um diese Ziele zu erreichen, ist ein integrativer Ansatz erforderlich, der als transformative Resilienz bezeichnet werden kann. Transformative Resilienz bezeichnet die Fähigkeit, »unter unsicheren und wechselnden Bedingungen erfolgreich die nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft voranzutreiben« (Beer/Rammler 2021). Der Mehrwert dieser neuen Perspektive besteht darin, Nachhaltigkeit, Resilienz und Transformation produktiv für politische Entscheidungsfindungsprozesse miteinander zu verknüpfen. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, systematisch zu prüfen, welche systemimmanente Faktoren beziehungsweise bestehenden Praktiken die politisch angestrebten Transformationen, wie etwa Klimaneutralität, Elektrifizierung des Straßenverkehrs oder Digitalisierung, anfällig für Störungen machen. Die entsprechenden Strategien sollten darauf abzielen, solche Verwundbarkeiten zu beseitigen, innovative Ansätze zu fördern, die weniger anfällig für Störungen sind, und dadurch das Risiko externer Störungen zu minimieren. In diesem Zusammenhang könnte erwogen werden, die Aufgaben des *Parlamentarischen Beirats für nachhaltige Entwicklung* um die Krisenvorsorge zu erweitern oder aber die Themenzuständigkeiten in einem anderen, neu zu schaffenden Gremium des Bundestages zusammenzuführen (Näheres hierzu im folgenden Kap. 7.2.3).

Außer dem Parlamentarischen Beirat für nachhaltige Entwicklung könnte vor allem der *Rat für Nachhaltige Entwicklung* (RNE) eine wichtige Rolle bei der Integration von Nachhaltigkeit, Resilienz und Transformation in politische Entscheidungsfindungsprozesse einnehmen. Der RNE berät die Bundesregierung in Fragen der Nachhaltigkeitspolitik und ist in seiner Tätigkeit unabhängig. Die Agenda 2030 mit ihren Nachhaltigkeitszielen und die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie bilden den grundlegenden Rahmen für die Arbeit des Nachhaltigkeitsrates. Es wäre daher sinnvoll, die kontinuierliche Beobachtung systemischer Risiken, die das Potenzial haben, die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele zu beeinträchtigen, als eine dauerhafte Querschnittsaufgabe in die Agenda des Rats für Nachhaltige Entwicklung zu integrieren.

7.2 Stärkung der Kapazitäten des Deutschen Bundestages zur Gestaltung einer transformativen Resilienzpolitik

Für das TAB als Beratungseinrichtung des Bundestages ist die Frage der parlamentarischen Handlungsoptionen auftragsgemäß von besonderer Bedeutung. Mit Blick auf die Themen Früherkennung, Krisenvorhersage und Krisenvorsorge ist festzuhalten, dass nach unserer Kenntnis eine systematische und kontinuierliche Erfassung und Beobachtung krisenhafter Entwicklungen üblicherweise nicht zu den Aufgaben parlamentarischer Gremien (Ausschüsse, Beiräte) oder Beratungseinrichtungen (wissenschaftliche Dienste, TA-Einheiten) gehört. Weder das TAB noch eine der anderen Mitgliedsorganisationen des EPTA-Netzwerks (EPTA o. J.) sind bislang mit einer solchen Ausrichtung tätig. Eine auf Risiken orientierte strategische Vorausschau wird typischerweise von Einrichtungen der Exekutive betrieben, entweder durch zentrale, spezialisierte Institutionen (BAKS), meist aber verteilt auf verschiedene Ressorts – so auch in Deutschland (u. a. BaFin, BBK, BKA, BMBF, BSI, Denkfabrik BMAS, Planungsamt der Bundeswehr, RKI, UBA).

Eine gewissermaßen konkurrierende strategische Vorausschau durch das Parlament erscheint aufgrund der Ressourcen, die dafür aufgewendet werden müssen, wenig realistisch. Daher richten sich die folgenden Überlegungen und Vorschläge auf die Frage, *wie vorhandene Kapazitäten und Strukturen des Deutschen Bundestages für die Beteiligung an der Gestaltung einer präventiven, transformativen Resilienzpolitik genutzt und eventuell mit den Aktivitäten der Exekutive enger verknüpft werden können. Zugleich geht es auch um die Klärung, welche institutionellen Innovationen geeignet oder sogar notwendig erscheinen, mit denen fragmentierte Zuständigkeiten und das thematische Silodenken überwunden (oder zumindest reduziert) werden können.* Vorgestellt werden drei Ansätze:

- › die mögliche Öffnung der Bundesakademie für Sicherheitspolitik (BAKS) bzw. des von ihr betriebenen nationalen »Kompetenzzentrums Strategische Vorausschau« für Mitglieder, Mitarbeiter/innen und Gremien des Deutschen Bundestages (Kap. 7.2.1);
- › die Erweiterung der Aufgaben des TAB im Bereich Foresight (Kap. 7.2.2);
- › die Einrichtung einer Enquete-Kommission zum Themenkreis Krisenvorsorge, Resilienz und gesellschaftlicher Zusammenhalt, die auch Möglichkeiten der institutionellen Innovation zur dauerhaften Verankerung der Aufgabenstellung im Bundestag erarbeiten könnte (Kap. 7.2.3).

7.2.1 Öffnung der strategischen Vorausschau der Exekutive zur Stärkung der Futures Literacy der Legislative

Im politisch-strategischen Kontext geht es für das Parlament – seine Mitglieder und Gremien – darum, gute, d. h. informierte vorausschauende Entscheidungen mit erwünschten Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft zu treffen. Hierfür ist eine politische Orientierung über die nahe Zukunft hinaus nötig, d. h. eine Identifikation von in der Zukunft möglicherweise eine bedeutsame Rolle spielenden Faktoren und ein entsprechendes Antizipieren und planendes Handeln. Ein Ziel besteht darin, auf Vorrat zu denken, neue Handlungsspielräume zu identifizieren, Optionen zu generieren und gegenüber Diskontinuitäten und überraschenden Ereignissen vorbereitet zu sein und zwar nicht nur mit Blick auf den übergeordneten globalen oder nationalen Maßstab, sondern auch konkret in Verantwortung gegenüber den Menschen in den jeweiligen Wahlkreisen und Heimatregionen. Ein relevanter Part des politischen Alltags eines/r Parlamentariers/in ist die vorausschauende Sorge um eine wünschenswerte Zukunft, die geleitet ist von einem konkreten praktischen Interesse der Wähler/innen.

Bei der politisch-strategischen Vorausschau geht es u. a. mithilfe der Analyse von latenten Strukturen, Vorannahmen und auch Einstellungsmustern wesentlich um das »Sichtbarmachen von Unsichtbarem«, nicht um die Betrachtung bekannter Risiken. Es geht um die »unknown unknowns«, neuartige Gefährdungen, systemische Risiken, die nicht mit den Instrumenten der klassischen Risikoanalyse erfasst werden können (Roth/Herzog 2016, S. 204). Vielmehr handelt es sich bei der strategischen Vorausschau vor allem um ein »Management von Ungewissheit« (Overbeck 2018, S. 28), im Grunde genommen als alltäglicher, aber zugleich relevanter Bestandteil in der konkreten politischen Arbeit von Parlamentarier/innen.

Die Kompetenzen von Abgeordneten im systematischen Umgang mit komplexen Unsicherheiten könnten durch einen gezielten Kompetenzaufbau im Bereich Futures Literacy gestärkt werden, ein Konzept, das maßgeblich von der United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) geprägt wurde.³⁸ Futures Literacy zielt dabei darauf ab, Menschen und Organisationen zum aktiven Zukunftsdenken zu befähigen. Abgeordnete, die über Futures Literacy verfügen, werden besser in die Lage versetzt, zukünftige Trends und Entwicklungen frühzeitig zu identifizieren, proaktiv auf Herausforderungen zu reagieren und politische Maßnahmen rechtzeitig einzuleiten. Sie können politische Entscheidungen treffen, die nicht nur kurzfristige Ziele, sondern auch langfristige Auswirkungen berücksichtigen. Futures Literacy bietet den Abgeordneten somit Werkzeuge, um eine proaktive, langfristig orientierte und resiliente Politik zu gestalten, die den Herausforderungen einer sich

³⁸ Der Begriff Futures Literacy leitet sich aus dem Englischen ab, wobei Literacy ein Set an Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen beschreibt, dass die Entwicklung des Lesens und Schreibens fördert. Im Kontext der Zukunft bedeutet Literacy eine Form von Zukunftsalphabetisierung oder Zukunftskompetenz. Es bezieht sich auf die Fähigkeit, zu verstehen, auf welcher Grundlage die Zukunft entsteht, wie bestimmte Zukunftsbilder sich entwickeln und welche Auswirkungen unterschiedliche Vorstellungen von der Zukunft auf unser heutiges Handeln haben können (UNESCO o. J.).

ständig verändernden Welt besser begegnen kann. Zur Stärkung dieser Kompetenzen könnten gezielte Bildungsangebote der strategischen Vorausschau entwickelt bzw. genutzt werden (z. B. der BAKS). Auch die Bereitstellung von Ressourcen und der Zugang zu relevanten Informationen über zukünftige Trends, Technologien und soziale Entwicklungen können die Grundlage für Futures Literacy legen. Hierbei können Formate eines erweiterten Foresightprozesses als Aktivität parlamentarischer TA, im Fall des TAB das neu etablierte Resilienzradar und der Resilienzcheck, hilfreich und zielführend sein (Kap. 7.2.2).

Die Bundesakademie für Sicherheitspolitik (BAKS) und das von ihr betriebene nationale »Kompetenzzentrum Strategische Vorausschau«

Strategische Vorausschau ist ein Prozess, der in Vorbereitung auf ganz unterschiedliche Krisensituationen in Gesellschaft und Staat bei notwendigen Entscheidungsfindungen Unterstützung geben kann und soll. Die BAKS (o. J.a) benennt als wichtiges Ziel, dass zukünftige Herausforderungen und Problemlagen frühzeitig identifiziert und in notwendige Entscheidungen einbezogen werden (können), um diese und resultierende Handlungen zugleich so zukunftsrobust zu gestalten, dass sie ganz unterschiedlichen Ereignissen und Szenarien gerecht werden können. Dabei geht es nicht um Prognose und/oder Vorhersage, sondern um den Umgang mit Ungewissheiten und die Frage, wie Gesellschaft und Politik insgesamt sich darauf (besser und zielführender als bisher) einstellen können (Brozus 2018). Der Blick richtet sich dabei auf global einschneidende Ereignisse wie Kriege, Anschläge, Staatskrisen, Naturkatastrophen und Flüchtlingsbewegungen, aber auch auf Epi- und Pandemien, wie etwa die weltweite Ausbreitung des Coronavirus mit seinen auslösenden Erkrankungs- und Sterbewellen seit 2020.

In diesem Kontext bietet die BAKS seit 2016 (im Auftrag des Bundeskanzleramts) in Modulform Seminare zu unterschiedlichen Methoden in der strategischen Vorausschau an.³⁹ Anhand praktischer Anwendungen werden grundlegende Konzepte und zentrale Techniken wie Horizon Scanning, Delphi-Methoden, Szenariotechniken, Backcasting oder Trendanalyse vermittelt (BAKS o. J.b). Mittlerweile hat die BAKS zehn Seminare (Module) zur Vermittlung von Foresightmethoden durchgeführt. Darauf aufbauend fand im Oktober 2023 ein Themenfindungsworkshop statt, dem 2024 und 2025 drei thematische Workshops folgen werden, bei denen ausgewählte Methoden ressortübergreifend angewendet werden sollen.

Kasten 7.1 Foresightmethode »Intelligent Analysis/Red Teams«

Im Kontext von behördlichen strategischen Foresightaktivitäten werden in den USA seit einigen Jahren »Red Teams« eingesetzt. Dies sind aus Querdenkern bestehende Einheiten, die behördliche Planungen auf mögliche Denkfallen, Fehler, falsche Annahmen oder kognitive Filter analysieren sollen. Der Mehrwert für die Praxis besteht aber auch darin, dass im Zuge (solcher) politisch-strategischer Vorausschau gänzlich neue und akute Aspekte als bedeutsam und entscheidungsrelevant erkannt werden können (die in historischen Datenbeständen nicht abgebildet und in abgeleiteten Übertragungen und Extrapolationen nicht auftauchen). Im Vorfeld von Planungen können mittels solcher Foresightprozesse Vorfestlegungen und Annahmen überprüft, neue Lösungswege aufgezeigt und zusätzliche Handlungs- und Gestaltungsoptionen entwickelt werden (Reetz 2018, S. 286, u. 2016, S. 11).

Auch angesichts der durch die COVID-19-Pandemie mitausgelösten verschiedenen Krisensituationen etablierte die BAKS das Kompetenzzentrum Strategische Vorausschau, die Seminare wurden weiterentwickelt und deutlich ausgebaut. Vornehmliches Ziel ist, insbesondere Bundesministerien und ihre Ressorts sowie die nachgeordneten Bundesbehörden (aber auch Landesbehörden) mit deren diversen Geschäftsbereichen dabei zu unterstützen, den Blick auf alternative Zukünfte in der strategischen Arbeit der Institutionen zu verankern und weiter auszubauen. Erklärte Absicht ist es, die BAKS zu einem nationalen Kompetenzzentrum für strategische Vorausschau auszubauen, um allen an strategischer Vorausschau interessierten Personen und Institutionen (grundsätzlich und zukünftig noch dezidiierter) einen umfassenden sicherheitspolitischen Ansatz sowohl in der Methodenlehre als auch mittelfristig eigene nationale Kapazitäten und Ressourcen der operativen Politikbegleitung und Strategiebegleitung zu bieten. Die Foresightweiterbildung soll auf hohem Niveau ausgebaut werden und als Dienstleistung für

³⁹ Ein Vorreiter war seit 2006 das Planungsamt der Bundeswehr mit dem Referat für Zukunftsanalysen, das sich auch mit Methoden der strategischen Vorausschau beschäftigte.

die Pflege des Netzwerks einer strategischen Vorausschau auftreten – für den intensivierten Informationsaustausch und die ressortübergreifende Zukunftsanalyse (BAKS o. J.a).

Erweiterung der Aktivitäten der BAKS in Richtung Legislative

In den gegenwärtigen, vorrangig auf die Exekutive orientierten Foresightprozessen besteht das Interesse der Beteiligten insbesondere darin, die zum Teil ganz unterschiedlichen Einheiten in den Behörden und Institutionen (und deren inhärente Aufgaben und Interessen) zusammenzubringen. Dabei zeigt sich, dass sich viele Mitarbeiter/innen in der Bundesverwaltung im Rahmen ihrer Aufgaben durchaus systematisch mit möglichen Zukünften befassen, wenngleich zumeist mit ganz unterschiedlichen Perspektiven und Zugängen bzw. Methoden (Horizon Scanning, Risiko-, Trend- und Zukunftsanalysen etc.) (Reetz 2018, S. 286). Zu konstatieren ist, dass in Ministerien und Behörden die ersten Schritte einer strategischen Vorausschau getan wurden, weil es als sinnvoll erkannt wurde, strategische Vorausschau zukünftig konsequent in der Strategieformulierung und in der politischen Entscheidungsfindung systematisch einzusetzen. Um die Institutionalisierung voranzutreiben und damit den Ausbau sowie die Verstärkung bisheriger Ansätze zu gewährleisten, empfiehlt sich eine intensiviertere Koordination und Zusammenführung der verschiedenen Aktivitäten innerhalb der Ressorts sowie die Integration bereits etablierter Elemente in ein umfassendes Gesamtkonzept (Warnke et al. 2021, S. 89).

Kasten 7.2 Wissenschaftsjahr »Resilienz«?

Eine Möglichkeit, das Thema Krisenvorsorge und Resilienz in die Gesellschaft hineinzutragen, wäre die Thematisierung im Rahmen eines Wissenschaftsjahres. Gemeinsam mit der Initiative »Wissenschaft im Dialog« richtet das BMBF seit 2000 dieses Format der Wissenschaftskommunikation aus. Das Ziel ist, die Menschen stärker für Wissenschaft zu interessieren und den gesellschaftlichen Dialog über Forschung zu befördern. Entwicklungen in der Forschung sollen für Bürger/innen transparenter und zugänglicher werden, gleichzeitig sollen die Wissenschaftsjahre gesellschaftliche Debatten über diese Entwicklungen anstoßen und vorantreiben.

Nachdem zunächst einzelne Disziplinen im Mittelpunkt der Wissenschaftsjahre standen, geht es seit 2010 vor allem um fächerübergreifende Zukunftsthemen wie Gesundheitsforschung, Forschung zur Zukunft der digitalen Gesellschaft, Meere und Ozeane, künstliche Intelligenz und Bioökonomie.

2024 erreicht nun eine weitere Abstraktions- oder Integrationsstufe, indem das Wissenschaftsjahr das Motto »Freiheit« erhalten hat. Angesichts der Bedeutung des Themas des hier durchgeführten TA-Projekts könnte durchaus erwogen werden, in einem der kommenden Jahre Resilienz als Motto zu wählen und dadurch den öffentlichen Diskurs zusätzlich anzuregen.

Quelle: <https://www.wissenschaftsjahr.de/> (4.6.2024)

Anknüpfend an die Zielstellung in der Strategieformulierung und in der politischen Entscheidungsfindung einsetzen könnten die bisherigen Aktivitäten der BAKS in ihrer Ausrichtung auf die (anzusprechenden) Zielgruppen und Adressaten darüber hinaus substanziell erweitert werden – inhaltlich und in Bezug auf die politische Gewaltenteilung. In diesem Sinne wäre zu überlegen, die Angebote des Kompetenzzentrums Strategische Vorausschau der BAKS grundsätzlich auch an den Bundestag bzw. die Abgeordneten in den relevanten Ausschüssen sowie an die Mitarbeiter/innen der Abgeordneten und die fachspezifischen Fraktionsangestellten zu adressieren. Ganz konkret könnte dies bedeuten, über die prinzipielle Möglichkeit einer Erweiterung von Schulungsmaßnahmen zum Thema Resilienz ein weiteres Ausrollen der von der BAKS durchgeführten Weiterbildung (Methodenseminare Strategische Vorausschau) insbesondere mit Blick auf Bundestagsabgeordnete in den relevanten Ausschüssen nachzudenken.

7.2.2 Erweiterung der Aufgaben der parlamentarischen TA im Bereich Foresight: Resilienzradar und Resilienzcheck

Parlamentarische TA, wie sie vom TAB und den anderen Mitgliedern des EPTA-Netzwerks durchgeführt wird, kann angesichts ihrer limitierten Ressourcenausstattung kein umfassendes, systematisches Pendant zur Expertise darstellen, auf die die jeweilige Regierung zurückgreifen kann. Selbst wenn es gar nicht so wenige Beispiele gibt, wo parlamentarische TA relevante Analysen auch in hochkomplexen und aktuellen Feldern vorgelegt hat, die politisch wirksam wurden (das TAB u. a. zum Forschungsbedarf und zu ethischen Fragestellungen in der Bio- und Nanotechnologie, bei der Abschätzung der Folgen eines großflächigen und langandauernden Stromausfalls oder zu neuen Energietechnologien).

Parlamentarische TA hat sich zwar in den Jahrzehnten ihres Bestehens auch mit Risiken (vor allem neuer Technologien), mit möglichen krisenhaften Entwicklungen und Handlungsoptionen zum Umgang damit (beispielsweise Strategien zur Treibhausgasreduktion oder zur Bewahrung der Biodiversität) beschäftigt, aber in keinem uns bekannten Fall (bzw. Land) systematisch und kontinuierlich im Sinne einer strategischen Vorausschau zur Früherkennung und -warnung. Auch auf Außen- und Sicherheitspolitik richtet sich parlamentarische TA eher selten. Besonders sicherheitsrelevante Themen bzw. Technologien, beispielsweise Biowaffen oder kryptografische Verfahren, deren Entwicklung der Geheimhaltung unterliegt, können von TA-Einrichtungen wie dem TAB, die auf die Auswertung öffentlich zugänglicher Quellen beschränkt sind und ihre Ergebnisse grundsätzlich veröffentlichen, nicht mit Tiefgang analysiert werden, weshalb entsprechende Untersuchungsvorschläge nicht aufgegriffen werden konnten.

Anders als früher häufig und auch heute immer noch (zumindest vereinzelt) als Kritikpunkt am Konzept TA vorgebracht, stehen im Mittelpunkt vieler TA-Untersuchungen nicht mögliche Risiken, sondern vielmehr das Innovationspotenzial neuer Technologien, für dessen Ausschöpfung die Befassung mit möglichen Folgen ihrer Anwendung allerdings unumgänglich erscheint; beispielsweise um frühzeitig eine gesellschaftliche und politische Debatte (wie bei vielen bioethisch heiklen Technologien im Bereich der genetischen Diagnostik oder der Reproduktionsmedizin, aber auch bei Standortfragen von Infrastrukturgroßprojekten) oder auch konkret die Anpassung von Zulassungserfordernissen und -bedingungen zu ermöglichen (TAB 2023).

Es kann wohl kaum behauptet werden, dass die 1980er, 1990er oder 2000er Jahre besonders krisenarm gewesen wären. Vieles verblasst mit zeitlichem Abstand, u. a. was die gesellschaftliche Wahrnehmung und Stimmung anbelangen. Aber es scheint doch einen recht weitreichenden politischen und wissenschaftlichen Konsens zu geben, dass nach der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009, der Euro- und der Flüchtlingskrise in den 2010er Jahren, der COVID-19-Pandemie seit Anfang 2020 und dem Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine im Februar 2022 in Verbindung mit den zunehmenden Folgeereignissen des Klimawandels ein besonders starkes Bewusstsein für die Gefährdung durch Naturereignisse und menschengemachte Risiken in Gesellschaft und Politik entstanden ist. Die resultierenden systemischen, multiplen oder Polykrisen (Kap. 5.3) sowie drohende Kippunkte (Kap. 5.2) erhöhen den Druck zu ökologischen, ökonomischen, sozialen und institutionellen Transformationen kontinuierlich. Mit Blick auf das TAB hat diese Ausgangslage konkret zu diesem Projekt geführt, das wie alle TAB-Themen einstimmig von allen Fraktionen des Deutschen Bundestages in Auftrag gegeben wurde. Die Befassung mit dem Thema, einschließlich des öffentlichen Fachgesprächs im Deutschen Bundestag am 22. Juni 2022, führte auch dazu, dass das Betreiberkonsortium des TAB in der aktuellen Vertragslaufzeit von 2023 bis 2028 die Foresightaktivitäten substanziell erweitert hat, um angesichts wachsender Herausforderungen und komplexer Risikolagen relevante Entwicklungen frühzeitig zu erkennen und besser zu verstehen.

Neben dem etablierten Horizon-Scanning, das dem frühzeitigen Erkennen potenziell chancenreicher sozio-technischer Innovationen und wissenschaftlicher Trends in frühen Entwicklungsstadien dient, werden mit einem Resilienzradar Trends und Entwicklungen identifiziert, die mit Herausforderungen und Risiken für kritische Infrastruktursysteme einhergehen. Der jährlich ab dem Frühjahr 2024 erscheinende Foresightreport bietet einen zusammenfassenden Überblick, der als *Grundlage* für die Auswahl eines Infrastruktursystems durch die Berichterstattergruppe TA dient. Das TAB führt daraufhin mit ausgewählten Fokusthemen eine vertiefende Resilienzprüfung (Resilienzcheck) durch. Das Ziel besteht darin, Vulnerabilitäten und systemische Risiken zu identifizieren und belastbare Resilienzstrategien zu entwickeln. Beispielsweise werden für das Gesundheitssystem die Lieferketten für medizinische Produkte, für das Verkehrssystem die Cybersicherheit von digital-autonomen Mobilitätskonzepten und für das Energiesystem die kritischen Rohstoffe für die Wasserstoffversorgung im Rahmen plau-

sibler Zukunftsszenarien überprüft und darauf bezogen Möglichkeiten zur Stärkung des jeweiligen Infrastruktursystems identifiziert. Die Zukunftsszenarien und die Resilienzstrategien werden unter Beteiligung von externen Expert/innen aus Wissenschaft und der jeweiligen Versorgungspraxis des Infrastruktursystems, aus Politik und Administration, sowie ausgewählten Vertreter/innen der Bürgerschaft entwickelt. Die Ergebnisse des Resilienzchecks werden in einem Resilienz Dossier zusammengefasst und im Rahmen einer öffentlichen Fachveranstaltung im Deutschen Bundestag mit den Bundestagsabgeordneten und der Zivilgesellschaft diskutiert.

Die exemplarischen Resilienzchecks können definitionsgemäß nur beispielhaft ausgewählte kritische Infrastrukturbereiche behandeln, und das im Rahmen begrenzter personeller und finanzieller Budgets. Auch wenn die Untersuchungskapazitäten des TAB erweitert werden könnten, kann es, wie eingangs betont, weder die Funktion einer systematischen strategischen Vorausschau zur Früherkennung und -warnung von Krisen noch einer kontinuierlichen, umfassenden Erarbeitung gesellschaftlicher und politischer Resilienzstrategien für das Parlament übernehmen. Daher stellt sich die Frage, welche sonstigen Gremien des deutschen Bundestages dafür geeignet sein könnten, sich systematisch und längerfristig mit den Themen Krisenfrüherkennung und Stärkung der präventiven, transformativen Resilienz zu befassen oder ob dafür institutionelle Innovationen im Parlament nötig erscheinen.

7.2.3 Einsetzung einer Enquete-Kommission zum Themenkreis Krisenvorsorge, Resilienz und gesellschaftlicher Zusammenhalt

Die Fragestellungen des TAB-Projekts »Krisenradar – Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken« haben sich im Lauf der Bearbeitung als noch anspruchsvoller und ihre Beantwortung als noch voraussetzungsreicher erwiesen, als zu Beginn eingeschätzt wurde. Schon allein die Fragen bisheriger Schwächen und möglicher Verbesserungen der Früherkennung von und der Frühwarnung vor systemischen Risiken sind ein komplexes Thema, können aber unserer Einschätzung nach durchaus angemessen wissenschaftlich erfasst, untersucht und auch weitgehend beantwortet werden (wobei selbstverständlich auch außerwissenschaftliche Wissensbestände und Wissensformen genutzt und in Auseinandersetzung mit unterschiedlichen gesellschaftlichen Perspektiven aufgearbeitet werden sollten).

Demgegenüber gerät eine vorrangig wissenschaftliche Herangehensweise bei der Reaktion bzw. Vorbereitung auf die erkannten absehbaren oder möglichen Risiken im Sinne der Gestaltung einer präventiven Resilienzpolitik sehr schnell an ihre Grenzen bzw. Wissenschaft – auch im Rahmen großer interdisziplinärer Vorhaben – kann hier nur begrenzte, wenngleich durchaus substanzielle Beiträge leisten.

Vielmehr muss angesichts grundsätzlich begrenzter Ressourcen materieller, personeller und institutioneller Art immer wieder neu politisch bzw. gesamtgesellschaftlich ausgehandelt werden, welche Kritischen Infrastruktursysteme mit welchen Mitteln und zu welchen Zwecken in welchem Umfang verstärkt präventiv abgesichert werden sollen gerade angesichts der Herausforderungen anhaltender ökonomischer, ökologischer und sozialer Veränderungsprozesse auf nationaler und internationaler Ebene.

Für die nachhaltige Gestaltung einer transformativen, präventiv ausgerichteten Resilienzpolitik erscheint es notwendig, in einen intensiven Dialog mit der Zivilgesellschaft zu treten. Angesichts grundlegender Veränderungen durch Resilienzpolitiken beispielsweise im Bereich Verkehr, Gesundheit oder Energie ist die Akzeptanz ein wesentlicher Erfolgsfaktor für transformative Resilienz.

Mit Blick auf den deutschen Gesetzgeber stellt sich die Frage, ob die etablierten Prozeduren der Beteiligung gesellschaftlicher Akteure an seiner Entscheidungsfindung ausreichen oder ob es nicht anderer Formen der Partizipation bedürfte. In diesem Zusammenhang ist auch zu fragen, ob ein etabliertes Gremium des Bundestages – ein Ausschuss, ein Unterausschuss oder ein Beirat – den Themen- und Aufgabenkomplex Krisenradar und -vorsorge angemessen abdecken kann. Im Rahmen dieses TA-Projekts konnte hierzu keine tiefergehende Einschätzung entwickelt werden. Allerdings deutet einiges darauf hin, dass zumindest eine Beiratslösung wohl nicht ausreichend wäre. Beim thematisch durchaus verbundenen Parlamentarischen Beirat für nachhaltige Entwicklung (PBNE), der zum ersten Mal 2004 eingerichtet wurde, wird seit Langem diskutiert, wie seine Zuständigkeit erweitert und sein Einfluss gestärkt werden kann – zuletzt in zwei Anhörungen im Mai und Juni 2023 (PBNE 2023a u. 2023b), aber auch bereits im Rahmen eines TAB-Projekts zum Thema Nachhaltigkeit und Parlamente (TAB 2012) Als zentrale Schwachstellen werden die fehlende dauerhafte Verankerung (der Beirat muss in jeder Legislatur neu eingerichtet werden), die (viel) zu beschränkten Zuständigkeiten (vor allem im gesetzgeberischen Be-

reich) und die fehlenden finanzbasierten Gestaltungsmöglichkeiten gesehen (Calliess 2023; Rose 2023). Dementsprechend dürfte eine wichtige Rolle spielen, ob der mögliche Ausschuss, Unterausschuss o. ä. haushälterische Kompetenzen (und in welchem Umfang) erhält (und beispielsweise in der Vergangenheit zentral an den Beratungen über die Ausgestaltung des Deutschen Aufbau- und Resilienzplans zu beteiligen gewesen wäre).

Einsetzung einer Enquete-Kommission »Stabilität und Sicherheit in Zeiten multipler Krisen: Herausforderungen und Perspektiven einer resilienten Gesellschaft«

Angesichts des Umfangs und der Bedeutung, aber auch der vielen offenen Fragen des Themas erscheint die Einsetzung einer Enquete-Kommission (möglicher Arbeitstitel: »Stabilität und Sicherheit in Zeiten multipler Krisen: Herausforderungen und Perspektiven einer resilienten Gesellschaft«) als naheliegende, zumindest prüfungswerte Handlungsmöglichkeit für den Deutschen Bundestag. Grob umrissen könnten ihre Leitfragen lauten: Welches sind die wichtigsten kurz-, mittel- und langfristig absehbaren krisenhaften Entwicklungen und wie kann darauf reagiert werden? Was macht eine Gesellschaft resilient und wie stellt sich die Situation für die deutsche Gesellschaft dar? Was können wir von anderen Nationen/Ländern lernen, was ist möglicherweise übertragbar und was davon kann durch politisches Handeln gefördert werden? Welche sozialen, technischen und institutionellen Innovationen erscheinen vielversprechend? Gerade mit Blick auf den Bundestag sollte die Frage der institutionellen Innovation zur dauerhaften Verankerung der Aufgabenstellung eine wichtige Rolle spielen.

Ein großer Vorteil einer Enquete-Kommission wäre, dass sie relativ frei in der Wahl ihrer Prozesse und Beteiligten ist, auch wenn das auf Kosten der Verbindlichkeit ihrer Resultate gehen kann. So wäre es möglich und naheliegend, in einen intensiven Dialog mit der Zivilgesellschaft zu treten, wie es die Enquete-Kommission »Internet und digitale Gesellschaft« (2013) praktizierte.

In Baden-Württemberg arbeitet seit März 2022 die Enquetekommission »Krisenfeste Gesellschaft« zu ähnlichen Fragestellungen auf Landesebene (Kasten 7.3).

Kasten 7.3 Die Enquetekommission »Krisenfeste Gesellschaft« in Baden-Württemberg

Im März 2022 hat der Landtag von Baden-Württemberg die Enquetekommission »Krisenfeste Gesellschaft« eingesetzt, um Lehren aus den damals zwei zurückliegenden Jahren der Pandemie und aus den zu ihrer Bewältigung angewandten Strategien zu ziehen. Schwerpunktmäßig werden vier Handlungsfelder bearbeitet: Gesundheitsversorgung, staatliche Krisenvorsorge (Früherkennung und Bekämpfung von Krisen unter Einbeziehung von Wissenschaft und Zivilgesellschaft), Schutz vulnerabler Bevölkerungsgruppen und Stärkung des gesellschaftlichen Zusammenhalts sowie Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Wirtschaft und Nutzung ihrer Potenziale zur Krisenvorsorge und Krisenbewältigung (Landtag Baden-Württemberg o. J.). Parallel zur Tätigkeit der Enquetekommission beschäftigte sich ein Bürgerforum »Krisenfeste Gesellschaft« mit der Frage, wie sich das baden-württembergische Gemeinwesen auf künftige Krisen vorbereiten kann. Dessen Ergebnisse lagen im Mai 2023 vor (Bürgerrat 2023), der Abschlussbericht der Enquetekommission soll im Sommer 2024 vorgestellt werden (Landtag Baden-Württemberg 2023).

Da die Einsetzung einer Enquete-Kommission im Bundestag erst in der nächsten Wahlperiode sinnvoll wäre, könnten die Fragestellungen in einem Vorbereitungsprozess eventuell bereits schon in der laufenden Legislaturperiode entwickelt werden, auch wenn die eigentliche Entscheidung darüber nicht vom jetzigen Bundestag vorgezogen werden kann. Hierbei könnte das TAB als Beratungseinrichtung des Bundestages, eventuell aber auch die BAKS im Rahmen eines auf die Legislative hin erweiterten Arbeitsauftrags (Kap. 7.2.1) Unterstützung bieten (und beide ggf. auch während der eigentlichen Arbeitsphase der Enquete-Kommission).

8 Literatur

8.1 In Auftrag gegebene Gutachten

Aminova, E.; Astor, M.; Kuropka, F.; Wahle, M.; Stache, M. (2022): Lessons Learnt: Reallabor Corona – internationale Erfahrungen mit Frühwarnsystemen in der aktuellen Pandemiekrise. Prognos AG, Berlin

Denecke, H.; Karsten, A.; Kern, E.; Thiele, R.; Wienholt, W. (2022): Lessons Learnt: Reallabor Corona – nationale Erfahrungen mit Frühwarnsystemen in der aktuellen Pandemiekrise (Deutschland). Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH, Ottobrunn

Scholz, R.; Hofmann, K.; Köckler, H. (2022): Transdisziplinäre Vulnerabilitätsanalyse des Gesundheitssystems in Deutschland. STTM – Scholz Technology Transition Management, Arbeitsgemeinschaft DiDaT Next Level, Kreuzlingen

Schweizer, P.-J., Chabay, I. (2021): Vorausschauende Analyse und Kategorisierung von systemischen Risiken und Gefahren mit hohem Krisenpotential. Institute for Advanced Sustainability Studies e. V. (IASS), Potsdam

8.2 Weitere Literatur

Acatech; Leopoldina; Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften (Hg.) (2017): Das Energiesystem resilient gestalten. Maßnahmen für eine gesicherte Versorgung: Stellungnahme. Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung, Berlin

Agora Energiewende; Prognos AG; Consentec GmbH (2023): Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann, Berlin

Albrecht, H. (2020): Wettlauf mit dem Virus. Die Zeit, 22.1.2020, www.zeit.de/2020/05/coronavirus-china-infektionskrankheit-epidemie-bekaempfung-gefahr (28.3.2024)

Álvarez, S.; Friebe, R.; Heine, H.; Zahout, M.; Portmann, K.; Reuter, B. (2020): Frankreich bestätigt drei mit 2019-nCoV Infizierte. Tagesspiegel, 25.1.2020, www.tagesspiegel.de/politik/coronavirus-aus-wuhan-erreicht-europa-frankreich-bestaetigt-drei-mit-2019-ncov-infizierte/25461576.html (26.3.2024)

Anthony, S.; Epstein, J.; Murray, K.; Navarrete-Macias, I.; Zambrana-Torrelío, C.; Solovyov, A.; Ojeda-Flores, R.; Arrigo, N.; Islam, A.; Khan, S.; Hosseini, P. et al (2013): A strategy to estimate unknown viral diversity in mammals. In: *mBio* 4(5), Art. e00598-13

Armstrong McKay, D.; Staal, A.; Abrams, J.; Winkelmann, R.; Sakschewski, B.; Loriani, S.; Fetzer, I.; Cornell, S.; Rockström, J.; Lenton, T. (2022): Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. In: *Science* 377(6611), Art. eabn7950

Ärzte.de (2020): Wie sich der Klimawandel auf die Gesundheit auswirkt. <https://www.aerzte.de/gesundheitsratgeber/wie-sich-der-klimawandel-auf-die-gesundheit-auswirkt> (4.6.2024)

Astor, M. (2020): Vorausschauende Resilienz. Trendletter 2/2020, Prognos (Hg.), trendletter.prognos.com/de/2020/vorausschauende-resilienz (25.8.2023)

Augustin, J. (2019): Gesundheitliche Bedeutungen von Partikelbelastungen. In: Lozán J.; Breckle, S.-W.; Grassl, H.; Kuttler, W.; Matzarakis, A. (Hg.): Warnsignal Klima: Die Städte. Hamburg, S. 128–132

Augustin, J.; Sauerborn, R.; Burkart, K.; Endlicher, W.; Jochner, S.; Koppe, C.; Menzel, A.; Mücke, H.-G.; Herrmann, A. (2017): Gesundheit. In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Berlin/Heidelberg, S. 137–149

Augustin, J.; Stephan, B.; Augustin, M. (2021): Klimawandelbedingte Veränderungen in der UV-Exposition: Herausforderungen für die Prävention UV-bedingter Hauterkrankungen. In: Günster, C.; Klauber, J.; Robra, B.-P.; Schmuker, C.; Schneider, A. (Hg.): Versorgungs-Report: Klima und Gesundheit. Berlin, S. 119–131

- Auswärtiges Amt (2023): Integrierte Sicherheit für Deutschland. Wehrhaft. Resilient. Nachhaltig. Nationale Sicherheitsstrategie. Berlin
- BABS (Bundesamt für Bevölkerungsschutz) (2020a): Bericht zur nationalen Risikoanalyse. Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020. Bern
- BABS (2020b): Welche Risiken gefährden die Schweiz? Katastrophen und Notlagen Schweiz 2020. Bern
- BAKS (Bundesakademie für Sicherheitspolitik) (o. J.a): Kompetenzzentrum Strategische Vorausschau. <https://www.baks.bund.de/de/ueber-uns-kompetenzzentrum-strategische-vorausschau/kompetenzzentrum-strategische-vorausschau> (26.3.2024)
- BAKS (o. J.b): Methoden zur Strategische Vorausschau. <https://www.baks.bund.de/de/ueber-uns-kompetenzzentrum-strategische-vorausschau/methoden-zur-strategischen-vorausschau> (26.3.2024)
- BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) (o. J.a): Was sind Kritische Infra-strukturen und warum sind sie so wichtig? https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/kritische-infrastrukturen_node.html (17.2.2024)
- BBK (o. J.b): Cybergefahren. www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/KRITIS-Gefahrenlagen/Cybergefahren/cybergefahren_node.html (5.5.2023)
- BBK (2016): Modulares Warnsystem (MoWaS). Leistungsspektrum. Bonn
- BBK (2019): Sendai Rahmenwerk für Katastrophenvorsorge 2015–2030. Bonn
- BBK (2021): 10 Jahre Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz Bund. Hintergründe, Ergebnisse und Ausblick. Bonn
- BBK (2022a): LÜKEX – Krisenübung für den Bevölkerungsschutz. www.bbk.bund.de/DE/Themen/Krisenmanagement/LUEKEX/luekex_node.html (25.8.2022)
- BBK (2022b): Warn-App NINA. www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/Warn-App-NINA/warn-app-nina_node.html (25.8.2022)
- BBK (2023): Risikomanagement. https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Risikomanagement/risikomanagement_node.html (26.3.2024)
- Beaussier, A.-L.; Cabane, L. (2020): Strengthening the EU's Response Capacity to Health Emergencies: Insights from EU Crisis Management Mechanisms. In: *European Journal of Risk Regulation* 11(4), S. 808–820
- Becker, C.; Herrmann, A.; Haefeli, W.; Rapp, K.; Lindemann, U. (2019): Neue Wege zur Prävention gesundheitlicher Risiken und der Übersterblichkeit von älteren Menschen bei extremer Hitze. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 62(5), S. 565–570
- Becker Büttner Held (2021): Der Bundesverkehrswegeplan: Status Quo, Reformbedarf und Änderungsmöglichkeiten. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/BVWP-Gutachten/Gutachten_-_Bundesverkehrswegeplan.pdf (26.3.2024)
- Beer, F.; Rammler, S. (2021): Zwischen den Zeitenwenden. Transformative Resilienz als Leitbild der Zukunftsgestaltung. In: *Politische Ökologie* 39(166), S. 17–25
- Beerheide, R. (2023): Klimaschutz und Gesundheit: Ärztliche Expertise gefordert. *Deutsches Ärzteblatt* 120(21-22), S. A970–A971
- Behrendt, S.; Kollosche, I.; Uhl, A. (2021): Was wäre, wenn? Resilienz und Zukunftsforschung. In: *Politische Ökologie* 39(166), S. 33–38
- Benzler, J.; Gilsdorf, A.; Kirchner, G. (2013): DEMIS – Deutsches elektronisches Meldesystem für Infektionsschutz. In: *Das Gesundheitswesen* 75(04), DOI: 10.1055/s-0033-1337477
- BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) (2020): Erreger von Zoonosen in Deutschland im Jahr 2017. Berlin
- Biontech (2022): BioNTech und InstaDeep entwickeln und testen erfolgreich ein Frühwarnsystem zur Erkennung potenzieller Hochrisikovarianten von SARS-CoV-2. <https://investors.biontech.de/de/news-releases/news-release-details/biontech-und-instadeep-entwickeln-und-testen-erfolgreich-ein> (26.3.2024)
- BJA (Bundeskriminalamt) (2020): Cybercrime – Bundeslagebild 2020. Wiesbaden

- Blättner, B.; Grewe, H.; Janson, D. (2021): Hitzeaktionspläne für Kliniken und Pflegeheime. In: *Pflegezeitschrift* 74(4), S. 14–17
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2023): Richtlinie zur Förderung von Projekten zum Thema »Sicherstellung und Verbesserung der Handlungsfähigkeit von Staat und Verwaltung bei krisenhaften Ereignissen« im Rahmen des Programms »Forschung für die zivile Sicherheit 2018 – 2023« der Bundesregierung. www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2023/03/2023-03-14-Bekanntmachung-ZivileSicherheit.html (10.8.2023)
- BMDV (Bundesministerium für Digitales und Verkehr) (o. J.a): BMDV-Expertennetzwerk – das verkehrsträgerübergreifende Format in der Ressortforschung. www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Netzwerk/Netzwerk_node.html (25.8.2023)
- BMDV (o. J.b): Forschungsschwerpunkte und Handlungsfelder. bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/ressortforschungsrahmen-forschungsschwerpunkte.html (26.3.2024)
- BMDV (2023): Klimaschutzziele und Beschlüsse. bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/Klimaschutz-im-Verkehr/klimaschutz-ziele-und-beschluesse.html (25.8.2023)
- BMF (Bundesministerium der Finanzen) (2021): Deutscher Aufbau- und Resilienzplan. Berlin
- BMG (Bundesministerium für Gesundheit) (2022): Unser Gesundheitssystem. www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/user_upload/221213_BMG_Infografik_Gesundheitssystem_382x520_barrierefrei.pdf (3.2.2023)
- BMI (2022a): Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen. Umsetzung des Sendai Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge (2015–2030) – Der Beitrag Deutschlands 2022–2030. Berlin
- BMI (2022b): Unser Land gegen Krisen und Klimafolgen wappnen. Neustart im Bevölkerungsschutz. Berlin
- BMI (2023): Bekanntmachung der Verwaltungsvereinbarung des Bundes und der Länder über die Errichtung des Gemeinsamen Kompetenzzentrums Bevölkerungsschutz (Däbritz, J.). *Bundesanzeiger*
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit); UBA (Umweltbundesamt) (2019): Umweltbewusstsein in Deutschland 2018. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin/Dessau-Roßlau
- BMU (2020): Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) (2023): Bundesumweltministerin Lemke eröffnet das 9. DAS-Vernetzungstreffen. (<https://www.bmuv.de/meldung/bundesumweltministerin-lemke-eroeffnet-das-9-das-vernetzungstreffen>) (4.6.2024)
- BMVg (Bundesministerium der Verteidigung) (2020): Hybride Bedrohung: Fake News und Desinformation. www.bmvg.de/de/aktuelles/fake-news-und-desinformation-186254 (25.8.2022)
- BMVI (Bundesministerium für Digitales und Verkehr) (2016): Bundesverkehrswegeplan 2030. Berlin
- BMVI (2020): Das BMVI-Expertennetzwerk »Wissen – Können – Handeln«. Synthesebericht zur Forschungsphase 2016–2019. Berlin
- BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) (2022): Covid-19 – ein Weckruf. www.bmz.de/de/themen/one-health (16.5.2023)
- Böhmer, J.; Hösker, C. (2020): Infektionsschutzgesetz (IfSG). In: Langheid, T. (Hg.): COVID-19. Versicherungs- und haftungsrechtliche Aspekte: IfSG – EGBGB – AGB-Recht – Betriebsschließung – Veranstaltungsausfall – D&O – Haftpflicht (inkl. Produkthaftung) – Personalschäden – Medizinrecht – Reiseversicherung – Krankenversicherung – Lebensversicherung – Rückversicherung – Aufsichts- und Unternehmensrecht. Karlsruhe, S. 15–32
- Boin, A. (2019): The Transboundary Crisis: Why we are unprepared and the road ahead. In: *Journal Contingencies and Crisis Management* 27(1), S. 94–99

- Bolte, G.; Bunge, C.; Hornberg, C.; Koeckler, H. (2018): Umweltgerechtigkeit als Ansatz zur Verringerung sozialer Ungleichheiten bei Umwelt und Gesundheit. In: Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 61(6), S. 674–683
- Bopp, E.; Gisclard, B.; Douvinet, J.; Weiss, K.; Gilles, M. (2021): How to improve alert systems: The technical, human, environmental and structural aspects. In: Australian Journal of Emergency Management 36(1), S. 67–75
- Bott, F.; Lohrengel, A.-F.; Forbriger, M.; Haller, M.; Jensen, C.; Löwe, P.; Ganske, A.; Herrmann, C. (2020): Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext von Stürmen - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Sturmgefahren (SP-104) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNBF2020.2020.05
- Bpb (Bundeszentrale für politische Bildung) (2022): Deutschlands Abhängigkeit von russischem Gas. [www.bpb.de/kurz-knapp/hintergrund-aktuell/507243/deutschlands-abhaengigkeit-von-russischem-gas/\(5.5.2023\)](http://www.bpb.de/kurz-knapp/hintergrund-aktuell/507243/deutschlands-abhaengigkeit-von-russischem-gas/(5.5.2023))
- Bratzel, S. (2008): Mobilität und Verkehr. [www.bpb.de/shop/zeitschriften/izpb/umweltpolitik-287/9005/mobilitaet-und-verkehr/\(21.5.2023\)](http://www.bpb.de/shop/zeitschriften/izpb/umweltpolitik-287/9005/mobilitaet-und-verkehr/(21.5.2023))
- Braun, J. (2017): Lösungsansätze der Bioökonomie zur Begegnung der großen globalen Herausforderungen. [www.forum-wirtschaftsethik.de/loesungsansaeetze-der-biooekonomie-zur-begegnung-der-grossen-globalen-herausforderungen/\(20.1.2023\)](http://www.forum-wirtschaftsethik.de/loesungsansaeetze-der-biooekonomie-zur-begegnung-der-grossen-globalen-herausforderungen/(20.1.2023))
- Breakwell, G. (2014): The psychology of risk. Cambridge
- Brinckmann, H.; Harendt, C.; Heinemann, F.; Nover, J. (2017): Ökonomische Resilienz. Schlüsselbegriff für ein neues wirtschaftspolitisches Leitbild? [www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/NW_Oekonomische_Resilienz.pdf\(26.3.2024\)](http://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/NW_Oekonomische_Resilienz.pdf(26.3.2024))
- Bröckling, U. (2012): Dispositive der Vorbeugung: Gefahrenabwehr, Resilienz, Precaution. [https://zeithistorische-forschungen.de/sites/default/files/medien/material/2013-3/Broeckling_2012.pdf\(26.3.2024\)](https://zeithistorische-forschungen.de/sites/default/files/medien/material/2013-3/Broeckling_2012.pdf(26.3.2024))
- Brozus, L. (2018a): Einleitung – Wissenschaft und Politik auf dem Weg zu besserer Vorausschau. In: SWP-Studie 5, Berlin, S. 5–9
- Brozus, L. (2018b): Fahren auf Sicht. Effektive Früherkennung in der politischen Praxis. SWP-Studie Nr. 24, [www.swp-berlin.org/publications/products/studien/2018S24_bzs.pdf\(28.3.2024\)](http://www.swp-berlin.org/publications/products/studien/2018S24_bzs.pdf(28.3.2024))
- BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) (2022): CERT-Bund. [www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Cyber-Sicherheitslage/Reaktion/CERT-Bund/cert-bund_node.html\(25.8.2022\)](http://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Cyber-Sicherheitslage/Reaktion/CERT-Bund/cert-bund_node.html(25.8.2022))
- Buda, S.; Tolksdorf, K.; Schuler, E.; Kuhlen, R.; Haas, W. (2017): Establishing an ICD-10 code based SARI-surveillance in Germany – description of the system and first results from five recent influenza seasons. In: BMC Public Health 17(1), S. 612
- Budde, J. (2020): Erkenntnisgewinn zwischen SARS und Schweinegrippe. Deutschlandfunk, [https://www.deutschlandfunk.de/pandemieplaene-erkenntnisgewinn-zwischen-sars-und-100.html\(17.1.2024\)](https://www.deutschlandfunk.de/pandemieplaene-erkenntnisgewinn-zwischen-sars-und-100.html(17.1.2024))
- Bürgerrat (2023): Empfehlungen für »krisenfeste Gesellschaft«. [https://www.buergerrat.de/aktuelles/empfehlungen-fuer-krisenfeste-gesellschaft/\(26.3.2024\)](https://www.buergerrat.de/aktuelles/empfehlungen-fuer-krisenfeste-gesellschaft/(26.3.2024))
- Bugaj, T.; Eichinger, M.; Schiwnehorst-Stich, E.-M. (2023): Planetare Gesundheit in der medizinischen Ausbildung. In: Nikendei, C.; Bugaj, T.; Cranz, A.; Herrmann, A.; Tabatabai, J. (Hg.): Heidelberger Standards der Klimamedizin. Wissen und Handlungsstrategien für den klinischen Alltag und die medizinische Lehre im Klimawandel. Heidelberg, S. 269–279
- BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) (2013): Jahresbericht 2013. Salzgitter
- Bundesärztekammer (2021a): 125. Deutscher Ärztetag – Beschlussprotokoll 01. [https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/BAEK/Aerztetag/125.DAET/pdf/Beschlussprotokoll_125DAET2021_Stand_24112021.pdf\(26.3.2024\)](https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/BAEK/Aerztetag/125.DAET/pdf/Beschlussprotokoll_125DAET2021_Stand_24112021.pdf(26.3.2024))

- Bundesärztekammer (2021b): Ärztetag für Klimaneutralität des Gesundheitswesens bis 2030. <https://www.bundesaerztekammer.de/presse/aktuelles/detail/aerztetag-fuer-klimaneutralitaet-des-gesundheitswesens-bis-2030> (26.3.2024)
- Bundesärztekammer (2023): Positionspapier der Bundesärztekammer zum gesundheitsbezogenen Hitzeschutz. Ärztinnen und Ärzte übernehmen eine zentrale Rolle in der Prävention und Behandlung von hitzebedingten Gesundheitsschäden. Berlin
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin
- Bundesregierung (2011): Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2011. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Deutscher Bundestag, Drucksache 17/8250, Berlin
- Bundesregierung (2013): Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2012. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Deutscher Bundestag, Drucksache 17/12051, Berlin
- Bundesregierung (2022): Zivilschutz und Zivile Verteidigung in Deutschland. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion CDU/CSU – Drucksache 20/4592 –, Drucksache 20/5112, Berlin
- Bundesregierung (2023a): Illegitime Einflussnahme fremder Staaten. Desinformation als hybride Bedrohung. www.bundesregierung.de/breg-de/themen/umgang-mit-desinformation/cybersicherheit-desinformation-1872752 (28.4.2023)
- Bundesregierung (2023b): Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-318846> (26.3.2024)
- Bundesverband der Hygieneinspektoren (2014): Der Hygieneinspektor. Kleinostheim
- Bunz, M.; Mücke, H.-G. (2017): Klimawandel – physische und psychische Folgen. In: Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 60(6), S. 632–639
- Burkart, K.; Canário, P.; Breitner, S.; Schneider, A.; Scherber, K.; Andrade, H.; Alcoforado, M.; Endlicher, W. (2013): Interactive short-term effects of equivalent temperature and air pollution on human mortality in Berlin and Lisbon. In: Environmental pollution 183, S. 54–63
- Buth, M.; Kahlenborn, W.; Greiving, S.; Fleischhauer, M.; Zebisch, M.; Schneiderbauer, S.; Schausser, I. (2017): Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen. Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung. Dessau-Roßlau
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2021): Zoonosen-Monitoring 2020. www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/04_Zoonosen_Monitoring/Zoonosen_Monitoring_Bericht_2020.pdf;jsessionid=FA1AF055160C384F3A0C7CD207579879.2_cid372?__blob=publicationFile&v=6 (19.7.2022)
- Caggiano, G.; Calice, P.; Leonida, L.; Kapetanios, G. (2016): Comparing logit-based early warning systems: Does the duration of systemic banking crises matter? In: Journal of Empirical Finance 37, S. 104–116
- Calliess, C. (2023): Schriftliche Stellungnahme zur Öffentlichen Anhörung des Parlamentarischen Beirats für nachhaltige Entwicklung des Deutschen Bundestages am Mittwoch, den 21. Juni 2023 zum Thema »Weiterentwicklung des Parlamentarischen Beirats für nachhaltige Entwicklung«. Deutscher Bundestag, Parlamentarischer Beirat für nachhaltige Entwicklung, Ausschussdrucksache 20(26)72, <https://www.bundestag.de/resource/blob/954318/8de31987367e83bd259840bf39d1ca8a/Stellungnahme-Prof-Dr-Calliess.pdf> (26.3.2024)
- Canzler, W.; Knie, A. (1998): Möglichkeitsräume. Grundrisse einer modernen Mobilitäts- und Verkehrspolitik. Wien
- Capellaro, M.; Sturm, D.; Mücke, H.-G. (2015): Welchen Nutzen haben Hitzewarnsystem, UV-Index, Pollenflug- und Ozonvorhersage für die Bevölkerung. Umwelt und Mensch – Informationsdienst (UMID) Nr. 2
- Casas, L.; Cox, B.; Nemery, B.; Deboosere, P.; Nawrot, T. (2022): High temperatures trigger suicide mortality in Brussels, Belgium: A case-crossover study (2002–2011). In: Environmental research 207, Art. 112159
- Černý, J.; Potančok, M.; Castro Hernandez, E. (2021): Toward a typology of weak-signal early alert systems: functional early warning systems in the post-COVID age. In: Online Information Review (46), S. 904–919

- Claessens, D. (1966): Angst, Furcht und gesellschaftlicher Druck und andere Aufsätze. Hagen
- Czock, D.; Haefeli, W. (2023): Medikamente und die Nebenwirkungen des Klimawandels. In: Nikendei, C.; Bugaj, T.; Cranz, A.; Herrmann, A.; Tabatabai, J. (Hg.): Heidelberger Standards der Klimamedizin. Wissen und Handlungsstrategien für den klinischen Alltag und die medizinische Lehre im Klimawandel. Heidelberg, S. 66–72
- Degreif, S.; Buchert, M.; Bulach, W.; Behrendt, S.; Müller, F. (2017): Kritische Rohstoffe. Substitution als Minderungsstrategie für die Kritikalität von Rohstoffen, die für Umwelttechnologien benötigt werden. In: ReSource, S. 9–17
- DERA (Deutsche Rohstoffagentur) (2022): Rohstoffmonitoring. www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Rohstoffinformationen/Monitoring/monitoring_node.html (25.8.2022)
- Der Standard (2018): Glaxo Smith Kline pfuschte bei Schweinegrippe-Impfstoff. <https://www.derstandard.de/story/2000087815876/glaxo-smith-kline-pfuschte-bei-schweinegrippe-impfstoff> (17.1.2024)
- Deutsche Diabetes Hilfe (o. J.): GLP-1-Rezeptor-Agonisten, www.diabetesde.org/ueber_diabetes/was_ist_diabetes_/diabetes_lexikon/glp-1-rezeptor-agonisten (20.7.2023)
- WD (Wissenschaftliche Dienste) (2007): Zur Kompetenz des Bundes für den Bevölkerungsschutz. Deutscher Bundestag, Ausarbeitung WD 3 - 423/07, Berlin
- WD (2021): Zur Verwendung des Inzidenzwertes als Kenngröße für das Pandemiegeschehen. Sachstand WD 8 - 3000 - 050/21, Berlin
- Deutscher Landkreistag (2020): Umfrage Modernisierung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes – Digitale Ausstattung, www.landkreistag.de/images/stories/themen/egovernment/2009_DLT_Umfrage_digitale_Ausstattung_Gesundheits%C3%A4mter.pdf (10.8.2022)
- Deutscher Städtetag (2023): Städtetag Aktuell. Nr. 5, Berlin
- DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.) (o. J.): Logit-/Probit-Modell. https://www.diw.de/de/diw_01.c.413341.de/presse/glossar/logit_/probit_modell.html (26.3.2024)
- Dotd, C.; Hinzmann, D. (2022): Steuerung der Notfallversorgung während der Pandemie. In: Klauber, J.; Wasem, J.; Beivers, A.; Mostert, C. (Hg.): Patientenversorgung während der Pandemie. Berlin, S. 207–215
- Durani, B. (2023): Umwelt, Klima und Haut. In: Nikendei, C.; Bugaj, T.; Cranz, A.; Herrmann, A.; Tabatabai, J. (Hg.): Heidelberger Standards der Klimamedizin. Wissen und Handlungsstrategien für den klinischen Alltag und die medizinische Lehre im Klimawandel. Heidelberg, S. 82–85
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (o. J.a): FAQ. www.hitzewarnungen.de/faq.jsp?warnkrit (15.6.2023)
- DWD (o. J.b): Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes. <https://www.hitzewarnsystem.de/faq.jsp> (4.6.2024)
- EC (European Commission) (2020): 2020 Strategic Foresight Report. Charting the course towards a more resilient Europe. Brüssel
- EC (2021): Drawing the early lessons from the COVID-19 pandemic. Brüssel
- ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control) (2006): Meeting Report Epidemic intelligence in the EU Stockholm. https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/media/en/publications/Publications/0601_MER_Epidemic_Intelligence_in_the_EU.pdf (28.5.2024)
- ECDC (2021): EpiPulse – the European surveillance portal for infectious diseases. European Centre for Disease Prevention and Control (Hg.), www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/epipulse-european-surveillance-portal-infectious-diseases (12.5.2023)
- Edwards, C. (2009): Resilient Nation. London
- Eichinger, M.; Herrmann, M. (2020): Gesundheitswesen und Klimaschutzpolitik: Synergien für eine gesunde und nachhaltige Gesellschaft. In: Public Health Forum 28(1), S. 10–13
- EMPAG (2022): Krisenvermeidung. Emergency Management and Preparedness Advisory Group (Hg.), München, www.empag.eu/emergency-preparedness/krisenvermeidung/ (8.6.2022)

- Enquete-Kommission »Internet und digitale Gesellschaft« (2013): Schlussbericht der Enquete-Kommission »Internet und digitale Gesellschaft«. Deutscher Bundestag, Drucksache 17/12550, Berlin
- EPTA (European Parliamentary Technology Assessment) (o. J.): Members. <https://eptanetwork.org/members> (4.6.2024)
- Espinosa, L.; Wijermans, A.; Orchard, F.; Höhle, M.; Czernichow, T.; Coletti, P.; Hermans, L.; Faes, C.; Kissling, E.; Mollet, T. (2021): Epi tweeter: Early warning of public health threats using Twitter data. *European Communicable Disease Bulletin* 27(39), Art. 2200177
- Europäischer Rat (2023): Wie die EU auf Krisen reagiert und Resilienz schafft, www.consilium.europa.eu/de/policies/eu-crisis-response-resilience/ (10.8.2023)
- Evers-Wölk, M.; Uhl, A.; Behrendt, S. (2023): Frühwarnung in Zeiten von COVID-19. In: *TATuP* 32(2), S. 24–29
- Ewald, F. (1999): Risk in contemporary society. In: *Connecticut Insurance Law Journal* 6, S. 365–380
- EZB (Europäische Zentralbank) (2022): Stresstests. www.bankingsupervision.europa.eu/banking/tasks/stresstests/html/index.de.html (25.8.2022)
- Fathi, K. (2019): Resilienz im Spannungsfeld zwischen Entwicklung und Nachhaltigkeit. Anforderungen an gesellschaftliche Zukunftssicherung im 21. Jahrhundert. Wiesbaden
- Fehr, R.; Augustin, J. (2022): Nachhaltige StadtGesundheit Hamburg. Neue Ziele, Wege, Initiativen. München
- Filser, M.; Levsen, A. (119) (2022): Hitze im Krankenhaus: Möglichkeiten der Kühlung. *Deutsches Ärzteblatt*, 119(43), S. A-1851/B-1539
- FM Global (2023): FM Global Resilience Index, www.fmglobal.com/research-and-resources/tools-and-resources/resilienceindex/explore-the-data/ (5.5.2023)
- Formella, C.; Giesing, Y. (2022): Klimawandel und Migration aus Entwicklungsländern. *Ifo Schnelldienst* 75(5), S. 19–22
- Fouillet, A.; Bousquet, V.; Pontais, I.; Gallay, A.; Caserio-Schönemann, C. (2015): The French Emergency Department OSCOUR Network: Evaluation After a 10-year Existence. In: *Online Journal of Public Health Informatics* 7(1), Art. e74
- Fraunhofer HHI (2021): KI-Frühwarnsystem zur Stabilisierung der Wirtschaft für bedrohliche Krisensituationen: Fraunhofer HHI startet Konsortialprojekt DAKI-FWS. <https://www.hhi.fraunhofer.de/news/nachrichten/2021/ki-fruehwarnsystem-zur-stabilisierung-der-wirtschaft-fuer-bedrohliche-krisensituationen-fraunhofer-hhi-startet-konsortialprojekt-daki-fws.html> (4.6.2024)
- Fraunhofer ISI (o. J.): Projekt MobileCityGame und MobileCity-App. <https://www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/nachhaltigkeit-infrastruktursysteme/projekte/mobilecitygame.html> (4.6.2024)
- Friesendorf, C.; Lüttschwager, S. (2021): Das Gesundheitssystem in Deutschland. In: *Digitale Gesundheitsanwendungen*, S. 1–5
- Furutani, T.; Minami, M. (2021): Drones for Disaster Risk Reduction and Crisis Response. In: Sakurai, M.; Shaw, R. (Hg.): *Emerging Technologies for Disaster Resilience*. Singapur, S. 51–62
- Geffert, K.; Voss, S.; Rehfuess, E.; Rechel, B. (2017): Die Rolle des Öffentlichen Gesundheitsdienstes in der Umsetzung von Hitzeaktionsplänen: Eine Politikfeldanalyse mit Expert:inneninterviews. In: *Das Gesundheitswesen* 85(S01), S. 89
- Gesundheitsministerkonferenz (2020): Beschlüsse der GMK 30.9.–1.10.2020. TOP: 5.1 Der Klimawandel – eine Herausforderung für das deutsche Gesundheitswesen. www.gmkonline.de/Beschluesse.html?id=1018&jahr=2020 (19.5.2023)
- Gießelmann, K.; Osterloh, F. (2021): Klimaschutz im Gesundheitswesen: Klimaneutralität bis 2030. *Deutsches Ärzteblatt* 118(45), S. A2088–A2091
- Gong, Z.; Wang, Y.; Wei, G.; Li, L.; Guo, W. (2020): Cascading disasters risk modeling based on linear uncertainty distributions. In: *International Journal of Disaster Risk Reduction* 43, S. 101385

- Goujon, A.; Natale, F.; Ghio, D.; Conte, A. (2021): Demographic and territorial characteristics of COVID-19 cases and excess mortality in the European Union during the first wave. In: *Journal of Population Research*, S. 1–24
- Greinert, R.; Breitbart, E.; Volkmer, B. (2008): UV-induzierte DNA-Schäden und Hautkrebs. In: Kappas, M. (Hg.): *Klimawandel und Hautkrebs*. Stuttgart, S. 145–173
- Grunert, D. (2015): Infektionskrankheiten: Klimawandel als Katalysator, *Deutsches Ärzteblatt* 112(23), S. A-1043/B-877/C-847
- Gunderson, L.; Holling, C. (2002): *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Washington, D.C.
- Günster, C.; Klauber, J.; Robra, B.-P.; Schmuker, C.; Schneider, A. (Hg.) (2021): *Versorgungs-Report: Klima und Gesundheit*. Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft. Berlin
- Hafner, S.; Hehn, N.; Miosga, M. (2019): Resilienz und Landentwicklung. Pfadwechsel: Vitalität und Anpassungsfähigkeit in ländlich geprägten Kommunen Bayerns stärken. Hummeltal/Bayreuth
- Hall, K. (2020): Über die Möglichkeiten und Grenzen von Frühwarnsystemen. www.soziopolis.de/ueber-die-moeglichkeiten-und-grenzen-von-fruehwarnsystemen.html (26.3.2024)
- Hänsel, S.; Herrmann, C.; Jochumsen, K.; Klose, M.; Nilson, E.; Norpoth, M.; Patzwahl, R.; Seiffert, R. (2020a): Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertenetzwerk für die Forschungsphase 2016–2019. Berlin
- Hänsel, S.; Hillebrand, G.; Nilson, E.; Rauthe, M.; Lohrengel, A.-F.; Meine, L.; Herrmann, C.; Brendel, C.; Forbriger, M.; Kirsten, J.; Klose, M. et al. (2020b): Klimawirkungsanalyse für die Bundesverkehrswege – Methodik und erste Ergebnisse. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Klimawirkungsanalyse (SP-102) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. Berlin
- Hartmann, D.; Klein Tank, A.; Rusticucci, M.; Alexander, L.; Brönnimann, S.; Charabi, Y.; Dentener, F.; Dlugokencky, E.; Easterling, D.; Kaplan, A.; Soden, B. et al. (2013): Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. 159–254
- Haße, C.; Abeling, T.; Baumgarten, C.; Burger, A.; Rechenberg, J. (2021): *Klimaresilienz fördern: Bausteine für eine strategische Klimarisikoversorge*. Dessau-Roßlau
- Hauff, S. (2009): Konzeptionen der Früherkennung. Diskussionspapiere des Schwerpunktes Unternehmensführung am Fachbereich BWL der Universität Hamburg. www.hsu-hh.de/apo/wp-content/uploads/sites/801/2019/11/Hauff-2009-Konzeptionen-der-Fruherkennung.pdf (26.3.2024)
- Haug, G.; Spath, D.; Hatt, H. (2021): Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Wie können Blackout-Risiken begrenzt werden? Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung, Halle
- Hess, J. (2023): Heat and health inequity: acting on determinants of health to promote heat justice. In: *Nature reviews Nephrology* 19(3), S. 143–144
- Hitze.info (o. J.): Musterhitzeschutzpläne. <https://hitze.info/hitzeschutz/hitzeschutzplane/> (4.6.2024)
- Hochrainer-Stigler, S.; Colon, C.; Boza, G.; Brännström, Å.; Linnerooth-Bayer, J.; Pflug, G.; Poledna, S.; Rovenskaya, E.; Dieckmann, U. (2020): Measuring, modeling, and managing systemic risk: the missing aspect of human agency. In: *Journal of Risk Research* 23(10), S. 1301–1317
- Hoffmann, C.; Maglakelidze, M.; von Schneidmesser, E.; Witt, C.; Hoffmann, P.; Butler, T. (2022): Asthma and COPD exacerbation in relation to outdoor air pollution in the metropolitan area of Berlin, Germany. In: *Respiratory Research* 23(1), S. 64
- Homer-Dixon, T.; Renn, O.; Rockstrom, J.; Donges, J.; Janzwood, S. (2022): A Call for An International Research Program on the Risk of a Global Polycrisis. In: *SSRN Journal*, Potsdam
- Hooghe, L.; Marks, G. (2001): Multi-level governance and European integration. *Governance in Europe*. Lanham
- Hooghe, L.; Marks, G. (2003): Unraveling the Central State, but How? Types of Multi-level Governance. In: *American Political Science Review* 97(02)

- Ilukkumbure, S.; Samarasiri, V.; Mohamed, M.; Selvaratnam, V.; Samantha Rajapaksha, U. (2021): Early Warning for Pre and Post Flood Risk Management by Using IoT and Machine Learning. In: 2021 3rd International Conference on Advancements in Computing (ICAC). Colombo, IEEE, S.252–257
- Innenministerkonferenz (2022): Sicherheit durch föderale Partnerschaft und sektorale Vorsorge. https://www.innenministerkonferenz.de/IMK/DE/termine/to-beschluesse/20220603/anlage-zu-top-43.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (26.3.2024)
- IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) (2020): IPBES Workshop on Biodiversity and Pandemics. Bonn
- IRGC (International Risk Governance Council) (2017): Introduction to the IRGC Risk Governance Framework. Revised Version 2017. <https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/IRGC.-2017.-An-introduction-to-the-IRGC-Risk-Governance-Framework.-Revised-version..pdf> (28.3.2024)
- Janson, D.; Kaiser, T.; Hannemann, L.; Nickl, J.; Grewe, H. (2023): Analyse von Hitzeaktionsplänen und gesundheitlichen Anpassungsmaßnahmen an Hitzeextreme in Deutschland. Umwelt und Gesundheit Nr. 3. Dessau-Roßlau
- Jendritzky, G. (2009): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: Geographische Rundschau 61(9), S.36–42
- Kaeding, N. (2023): Klimaschutz und Klimaanpassung in der akut-stationären Gesundheitsversorgung. In: Medizinrecht 41(1), S.16–22
- Kagermann, H.; Süssenguth, F.; Körner, J.; Liepold, A.; Behrens; Jan Henning (2021): Resilienz als wirtschafts- und innovationspolitisches Gestaltungsziel. acatech IMPULS, München
- Kahlenborn, W.; Porst, L.; Voß, M.; Hölscher, L.; Undorf, S.; Wolf, M.; Schönthaler, K.; Crespi, A.; Renner, K.; Zebisch, M.; Fritsch, U.; Schauser, I. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 6: Integrierte Auswertung – Klimarisiken, Handlungserfordernisse und Forschungsbedarfe. Climate Change Nr. 25, Dessau-Roßlau
- Karliner, J.; Slotterbeck, S.; Boyd, Richard Ashby, Ben; Steele, K. (2019): Health Care’s climate footprint. How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. Health Care Without Harm; Arup (Hg.), Greenpaper Number One. London
- Karthe, D. (2015): Bedeutung des Klimawandels (insbesondere hydrometeorologischer Extremereignisse) für die Trinkwasserhygiene in Deutschland. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Nr. 35
- Katenkamp, S. (2011): Schweinegrippe-Impfstoff wird vernichtet: 130 Millionen Euro landen im Brennofen. In: Stern, www.stern.de/panorama/wissen/mensch/schweinegrippe-impfstoff-wird-vernichtet-130-millionen-euro-landen-im-brennofen-3442134.html (28.3.2024)
- Kaufhold, M.-A.; Rupp, N.; Reuter, C.; Habdank, M. (2020): Mitigating information overload in social media during conflicts and crises: design and evaluation of a cross-platform alerting system. In: Behaviour & Information Technology 39(3), S.319–342
- Kazmierczak, A. (2022): Auswirkungen klimabedingter Gefahren auf Gesundheit und Wohlbefinden vulnerabler Gruppen in Europa. In: Journal of Health Monitoring 7(54), S.16–17
- Kemen, J.; Schäffer-Gemein, S.; Kistemann, T. (2020): Klimaanpassung und Hitzeaktionspläne. Ein idealtypisches Thema der geografischen Gesundheitsforschung. Informationen zur Raumentwicklung Nr. 1/2020
- Kind, C.; Terenzi, A.; Hauer, M. (2021): Adaptation Standard: Analyse bestehender Normen auf Anpassungsbedarfe bezüglich Folgen des Klimawandels. Umweltbundesamt (Hg.), Climate Change Nr. 56, Dessau-Roßlau
- KLUG (Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit e. V.) (o. J.): Handlungsfeld Hitze. <https://www.klimawandel-gesundheit.de/handlungsfelder-und-projekte/hitze/> (4.6.2024)
- Köckler, H.; Simon, D.; Agatz, K.; Flacke, J. (2020): Gesundheitsfördernde Stadtentwicklung. Das SUHEI-Modell nutzt hierfür Indikatoren. Informationen zur Raumentwicklung Nr. 1/2020, S.96–109
- Komin, N. (2021): Kann Wikipedia die Grippezahlen voraussagen? Berliner Zeitung, <https://www.berliner-zeitung.de/open-source/kann-man-wikipedia-die-grippezahlen-voraussagen-li.197284> (17.1.2024)

- Kosfeld, C. (2023): Spurensuche im Fall Corona. Das Parlament, <https://www.das-parlament.de/inland/gesundheit/spurensuche-im-fall-corona> (4.6.2024)
- Krause, G. (2022): Chancen der Digitalisierung im Epidemie-Management – eine persönliche Sicht. In: Lohse, A.; Mettenleiter, T. (Hg.): Infektionen und Gesellschaft. Berlin/Heidelberg, S. 134–144
- Krause, G.; Gilsdorf, A.; Becker, J.; Bradt, K.; Dreweck, C.; Gärtner, B.; Löwer, J.; Marcic, A.; Nicoll, A.; Pott, E.; Schaade, L. et al. (2010): Erster Erfahrungsaustausch zur H1N1-Pandemie in Deutschland 2009/2010: Bericht über einen Workshop am 22. und 23. März 2010 in Berlin. In: Bundesgesundheitsblatt 53(5), S. 510–519
- Krebs, S.; Lietz, A.; Hasseler, M. (2021): Notwendige Anpassungen in Einrichtungen der Gesundheitsversorgung aufgrund hitzebedingter Dehydrationsrisiken. In: Günster, C.; Klauber, J.; Robra, B.-P.; Schmucker, C.; Schneider, A. (Hg.): Versorgungsreport. Klima und Gesundheit. Berlin, S. 191–203
- Krug, A.; Mücke, H. (2018): Auswertung Hitze-bezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung. In: UMID Umwelt und Mensch – Informationsdienst 2/2018, S. 67–79
- Künzel, V.; Wirsching, S. (2017): Migration, Vertreibung & Flucht infolge des Klimawandels. Handlungsbedarf für die Bundesregierung. Berlin
- Landtag Baden-Württemberg (o. J.): Enquetekommission »Krisenfeste Gesellschaft«. https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/aktuelles/Veranstaltungen/2022/ausschuesse/enquete%20krisenfest/20220712_Vorstellung_EK_Krisenfest.pdf (26.3.2024)
- Landtag Baden-Württemberg (2023): Enquetekommission »Krisenfeste Gesellschaft« will erneut Ministerpräsident Kretschmann anhören. <https://www.landtag-bw.de/home/aktuelles/pressemitteilungen/2023/oktober/124-2023.html> (26.3.2024)
- Landtag Nordrhein-Westfalen (2023): Antwort der Landesregierung auf die Kleine Anfrage 1062 vom 13. Januar 2023 des Abgeordneten Dr. Werner Pfeil FDP – Drucksache 18/2524, Weiterentwicklung der Europaschulen durch die Landesregierung in Nordrhein-Westfalen. Drucksache 18/3079, Düsseldorf
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz) (2022): Radioaktivität. www.lanuv.nrw.de/umwelt/strahlung/radioaktivitaet (25.8.2022)
- Lehmkuhl, D. (2023): Divestment im Gesundheitswesen. In: Nikendei, C.; Bugaj, T.; Cranz, A.; Herrmann, A.; Tabatabai, J. (Hg.): Heidelberger Standards der Klimamedizin. Wissen und Handlungsstrategien für den klinischen Alltag und die medizinische Lehre im Klimawandel. Heidelberg, S. 313–319
- Lehr, U.; Flaute, M.; Ahmann, L. (2020): Vertiefte ökonomische Analyse einzelner Politikinstrumente und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Abschlussbericht. Climate Change Nr. 43. Dessau-Roßlau
- IOER (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V.) (o. J.): Bio-Mo-D. <https://www.ioer.de/projekte/bio-mo-d> (4.6.2024)
- Leitritz, L. (2022): Erkenntnisse aus SARS-CoV-2/COVID-19 – Ein persönlicher Erfahrungsbericht zur fehlenden Harmonisierung seuchenrechtlicher Regelungen in der EU am Beispiel Österreichs und Deutschlands. In: Cassens, M.; Städter, T. (Hg.): Erkenntnisse aus COVID-19 für zukünftiges Pandemiemanagement. Multiperspektivische Analyse mit Fokus auf eHealth und Society. Wiesbaden, S. 1–22
- Lenton, T.; Held, H.; Kriegler, E.; Hall, J.; Lucht, W.; Rahmstorf, S.; Schellnhuber, H. (2008): Tipping elements in the Earth's climate system. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105(6), S. 1786–1793
- Lewis, J. III (2022): Volumenmangel. MSD Manual (Hg.), <https://www.msmanuals.com/de-de/profi/endokrine-und-metabolische-krankheiten/fl%C3%BCssigkeitsstoffwechsel/volumenmangel?query=Volumenmangel> (28.3.2024)
- LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (o. J.): Das bayerische Kernreaktor-Fernüberwachungssystem (KFÜ). www.lfu.bayern.de/strahlung/kfue/index.htm (26.3.2024)
- Li, M.; Zheng, T.; Zhang, J.; Fang, Y.; Liu, J.; Zheng, X.; Peng, H. (2019): A New Risk Assessment System Based on Set Pair Analysis – Variable Fuzzy Sets for Underground Reservoirs. In: Water Resources Management 33(1), S. 4997–5014

- Lohrengel, A.-F.; Brendel, C.; Herrmann, C.; Kirsten, J.; Forbriger, M.; Klose, M.; Stube, K. (2020): Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext gravitativer Massenbewegungen. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hangrutschungen (SP-105) im Themenfeld 1 des BMVI-ExpertenNetzwerks. Berlin
- Luschkova, D.; Traidl-Hoffmann, C.; Ludwig, A. (2022): Climate change and allergies. In: *Allergo journal international* 31(4), S. 114–120
- Luther, J.; Hainsworth, A.; Tang, X.; Harding, J.; Torres, J.; Fanchiotti, M. (2017): World Meteorological Organization (WMO) – Concerted International Efforts for Advancing Multi-hazard Early Warning Systems. In: Sassa, K.; Mikoš, M.; Yin, Y. (Hg.): *Advancing Culture of Living with Landslides*. Cham, S. 129–141
- MAGS NRW (Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen) (2021): Land weist neue Leitindikatoren zur Bewertung des Infektionsgeschehens aus. <https://www.mags.nrw/pressemitteilung/land-weist-neue-leitindikatoren-zur-bewertung-des-infektionsgeschehens-aus> (26.3.2024)
- Matthies, F.; Bickler, G.; Cardenosa Marin, N.; Hales, S. (2008): Heat-health action plans. Guidance. WHO (World Health Organization) (Hg.), Kopenhagen
- Matthies, V. (2000): Frühwarnung als Voraussetzung für Präventives Handeln. In: Matthies, V. (Hg.): *Krisenprävention. Vorbeugen ist besser als Heilen*. Opladen, S. 43–55
- Matzarakis, A. (2023): Hitze und Hitzewellen – Auswirkungen und Maßnahmen. In: Nikendei, C.; Bugaj, T.; Cranz, A.; Herrmann, A.; Tabatabai, J. (Hg.): *Heidelberger Standards der Klimamedizin. Wissen und Handlungsstrategien für den klinischen Alltag und die medizinische Lehre im Klimawandel*. Heidelberg, S. 47–53
- Matzarakis, A.; Fröhlich, D. (2020): Hitze in der Stadt – Mikroklima und Anpassungsmaßnahmen: ein Fallbeispiel aus Freiburg. In: *Public Health Forum* 28(1), S. 46–49
- Meinke, I. (2021): Meeresspiegelanstieg an der deutschen Ostseeküste. Küstenentwicklung im Klimawandel. Broschüre Ostsee 2021, Geesthacht
- Meissen, U.; Voisard, A. (2010): Towards a Reference Architecture for Early Warning Systems. 2010 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (Hg.), Berlin
- Mezger, N.; Thöne, M.; Wellstein, I.; Schneider, F.; Litke, N.; Führer, A.; Clar, C.; Kantelhardt, E. (2021): Klimaschutz in der Praxis – Status quo, Bereitschaft und Herausforderungen in der ambulanten Versorgung. In: *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* 166, S. 44–54
- Michelozzi, P.; Accetta, G.; Sario, M. de; D'Ippoliti, D.; Marino, C.; Baccini, M.; Biggeri, A.; Anderson, H.; Katsouyanni, K.; Ballester, F.; Bisanti, L. et al. (2009): High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. In: *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 179(5), S. 383–389
- Moon, S.-H.; Kim, Y.-H.; Lee, Y.; Moon, B.-R. (2019): Application of machine learning to an early warning system for very short-term heavy rainfall. In: *Journal of Hydrology* 568, S. 1042–1054
- Moreira, J.; Pires, L.; Dockhorn Costa, P.; van Sinderen, M. (2018): Semantic Interoperability of Early Warning Systems: a Systematic Literature Review. In: Zelm, M.; Jaekel, F.-W.; Doumeingts, G.; Wollschlaeger, M. (Hg.): *Enterprise Interoperability*. Hoboken, S. 407–413
- Moßgraber, J. (2016): Ein Rahmenwerk für die Architektur von Frühwarnsystemen. *Karlsruher Schriften zur Anthropomatik*. Band 29, Karlsruhe
- Müller, B.; Haase, M.; Kreienbrink, A.; Schmid, S. (2012): Klimamigration. Definitionen, Ausmaß und politische Instrumente in der Diskussion. Nürnberg
- Müller, O.; Jahn, A.; Gabrysch, S. (2018): Planetary Health: Ein umfassendes Gesundheitskonzept. In: *Deutsches Ärzteblatt* (115), S. 1751–1752
- Muthers, S.; Matzarakis, A. (2018): Hitzewellen in Deutschland und Europa. In: Lozán, J.; S.-W. Breckle; D. Kasang; R. Weisse (Hg.): *Warnsignal Klima: Extremereignisse*. Hamburg, S. 83–91

- Nagels, M.; Winter, A.; Schmidt, J.; Peperhove, R.; Gerhold, L.; Mundt, A.; Leichtle, D.; Tietze, N. (2021): Von fachlicher Risikoanalyse zu politischer Risikobewertung: Die Vermittlung von Risikoanalysen im Bevölkerungsschutz in die Bundespolitik. Schriftenreihe Forschungsforum Öffentliche Sicherheit Nr. 29, Freie Universität Berlin, Berlin
- Nahari, G.; Glicksohn, J.; Nachson, I. (2010): Credibility judgments of narratives: language, plausibility, and absorption. In: *The American Journal of Psychology* 123(3), S. 319–335
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2021): Energiewirtschaftliche Auswirkungen der Sektorkopplung – Energiebedarfe. Arbeitsgruppe 5 »Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung«. BMVI (Hg.), Berlin
- NDR (2022): Städtetag fordert mehr Aufklärung über Blackout-Risiken, www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Staedtetag-fordert-mehr-Aufklaerung-ueber-Blackout-Risiken,katastrophenschutz310.html (5.5.2023)
- Nikendei, C. (2022): Traumata und einschneidende Lebensereignisse im Rahmen von Naturkatastrophen und der Veränderung unseres Lebensraumes. In: van Bronswijk, K; Hausmann, C. (Hg.): *Climate Emotions*, Gießen, S. 43–66
- Nikendei, C.; Bugaj, T.; Cranz, A.; Herrmann, A.; Tabatabai, J. (Hg.) (2023): *Heidelberger Standards der Klimamedizin. Wissen und Handlungsstrategien für den klinischen Alltag und die medizinische Lehre im Klimawandel*. Heidelberg
- Nilson, E.; Krahe, P.; Klein, B.; Lingemann, I.; Horsten, T.; Carambia, M.; Larina, M.; Maurer, T. (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf das Abflussgeschehen und die Binnenschifffahrt in Deutschland. KLIWAS Schriftenreihe Nr. 43, Koblenz
- Norf, C. (2020): Vulnerabilität und Resilienz als Trends der Risikoforschung. Eine Rekonstruktion ihrer quantitativen und qualitativen Entwicklung und Verbreitung in der Risikoforschung und in ihren Perspektiven von 1973 bis 2017 auf der Basis einer disziplinübergreifenden Internetanalyse. Stuttgart
- OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) (2023): *OECD-Umweltprüfberichte: Deutschland 2023*. Paris
- Olfermann, E.; Vogel, D.; Schehle, C. (2023): Hitze-Resilienz in der stationären Pflege erreichen. In: *Pflegezeitschrift* 76(4), S. 36–39
- Olsson, L.; Jerneck, A.; Thoren, H.; Persson, J.; O’Byrne, D. (2015): Why resilience is unappealing to social science: Theoretical and empirical investigations of the scientific use of resilience. In: *Science Advances* 1(4), S. 1–11
- Overbeck, F.-J. (2018): Verfügbare Zukunft? Friedensethische Reflexionen unter der Perspektive des gerechten Friedens und der vorausschauenden Klugheit. In: *Ethik und Militär* 1, S. 27–31
- PBNE (Parlamentarischer Beirat für nachhaltige Entwicklung) (2023a): 39. Sitzung – Öffentliches Fachgespräch zum Thema „Weiterentwicklung des Parlamentarischen Beirates für nachhaltige Entwicklung“. Deutscher Bundestag, https://www.bundestag.de/ausschuesse/weitere_gremien/pbne/anhoerungen/948912-948912 (30.5.2024)
- PBNE (2023b): 43. Sitzung - Öffentliches Fachgespräch zum Thema „Weiterentwicklung des Parlamentarischen Beirates für nachhaltige Entwicklung“. Deutscher Bundestag, https://www.bundestag.de/ausschuesse/weitere_gremien/pbne/anhoerungen/951392-951392 (30.5.2024)
- Peng, C.; Jiang, P.; Ma, Q.; Wu, P.; Su, J.; Zheng, Y.; Yang, J. (2021): Performance Evaluation of an Earthquake Early Warning System in the 2019–2020 M6.0 Changning, Sichuan, China, Seismic Sequence. In: *Frontiers in Earth Science* 9, Art. 699941
- Perrow, C. (1984): *Normal Accidents Living with High Risk Technologies*. New York
- PIK (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung) (o.J.): *Kippelemente – Großrisiken im Erdsystem*. <https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/infothek/kippelemente/kippelemente> (4.6.2024)

- Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Stiftung Klimaneutralität; Agora Energiewende; Agora Verkehrswende (Hg.), Berlin
- Prüfer-Krämer, L.; Krämer, A. (2013): Klimawandel und Infektionskrankheiten. In: Jahn, H.; Krämer, A.; Wörmann, T. (Hg.): Klimawandel und Gesundheit. Berlin/Heidelberg, S. 99–110
- Pryce, R. (2009): Diabetic ketoacidosis caused by exposure of insulin pump to heat and sunlight. In: BMJ 338, Art. a2218
- Rahmstorf, S.; Levermann, A.; Winkelmann, R.; Donges, J.; Caesar, L.; Sakschewski, B.; Thonicke, K. (2019): Kippunkte im Klimasystem. Eine kurze Übersicht. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam
- Rammner, S.; Schwedes, O. (2019): Mobilität für alle! Gedanken zur Gerechtigkeitslücke in der Mobilitätspolitik. Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin
- Rammner, S.; Thomas, D.; Uhl, A.; Beer, F. (2021): Resiliente Mobilität. Ansätze für ein krisenfestes und soziales Verkehrssystem. Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin
- Rasquin, C. (2021): Die deutsche Bucht: mögliche Zukünfte im Klimawandel. Hydrographische Nachrichten Nr. 118, Rostock
- Rauthe, M.; Brendel, C.; Helms., L.; Meine, L.; Nilson, E.; Norpoth, M.; Rasquin, C.; Rudolph, E.; Schade, N.-H.; Deutschländer, T.; Forbriger, M. et al. (2020): Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext Hochwasser: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hochwassergefahren (SP-103) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. Berlin
- Reese, G.; Menzel, C. (2020): Klimawandel und psychische Gesundheit – Handeln, nicht hadern! In: Public Health Forum 28(1), S. 68–71
- Reetz, N. (2018): Prospektive Politikberatung. In: SIRIUS 2(3), S. 285–287
- Reisch, V. (2022): Das Rennen um die Rohstoffe. Stiftung Wissenschaft und Politik (Hg.), Berlin
- Rendtel, U.; Liebig, S.; Meister, R.; Wagner, G.; Zinn, S. (2021): Die Erforschung der Dynamik der Corona-Pandemie in Deutschland: Survey-Konzepte und eine exemplarische Umsetzung mit dem Sozio-oekonomischen Panel (SOEP). In: AStA Wirtschafts- und Sozialstatistisches Archiv 15(3-4), S. 155–196
- Renn, O. (Hg.) (2017): Das Energiesystem resilient gestalten. Szenarien – Handlungsspielräume – Zielkonflikte. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft, München
- Renn, O. (2019): Gefühlte Wahrheiten. Orientierung in Zeiten postfaktischer Verunsicherung, Opladen
- Renn, O.; Burns, W.; Kasperson, J.; Kasperson, R.; Slovic, P. (1992): The Social Amplification of Risk: Theoretical Foundations and Empirical Applications. In: Journal of Social Issues 48(4), S. 137–160
- Renn, O.; Laubichler, M.; Lucas, K.; Kröger, W.; Schanze, J.; Scholz, R.; Schweizer, P.-J. (2020): Systemic Risks from Different Perspectives. In: Risk Analysis 42(9) S. 1902–1920
- Renn, O.; Lucas, K. (2021): Systemic Risk: The Threat to Societal Diversity and Coherence. In: Risk Analysis 42(9), S. 1921–1934
- Richardson, K.; Steffen, W.; Lucht, W.; Bendtsen, J.; Cornell, S.; Donges, J.; Drüke, M.; Fetzer, I.; Bala, G.; von Bloh, W.; Feulner, G. et al. (2023): Earth beyond six of nine planetary boundaries. In: Science Advances 9(37), Art. eadh2458
- RKI (Robert Koch-Institut) (2017): Nationaler Pandemieplan Teil I. Berlin
- RKI (2021): Internationale Meldungen. 1.2.2023, https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Preparedness_Response/Internationale_Meldungen.html (28.5.2024)
- RKI (2022a): »Systematische Überwachung von SARS-CoV-2 im Abwasser« – Start eines nationalen Pilotprojekts. Epidemiologisches Bulletin Nr. 13, Berlin
- RKI (2022b): West-Nil-Fieber. https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/W/WestNilFieber/West-Nil-Fieber_node.html (26.3.2024)

- RKI (o. J.a): AMELAG: Abwassermonitoring für die epidemiologische Lagebewertung.
<https://www.rki.de/DE/Content/Institut/OrgEinheiten/Abt3/FG32/Abwassersurveillance/Abwassersurveillance.html> (4.6.2024)
- RKI (o. J.b): Informationen des RKI zu MERS-Coronavirus. www.rki.de/DE/Content/InfAZ/M/MERS_Coronavirus/MERS-CoV.html (4.6.2024)
- Robine, J.-M.; Cheung, S.; Le Roy, S.; van Oyen, H.; Griffiths, C.; Michel, J.-P.; Herrmann, F. (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. In: *Comptes Rendus Biologies* 331(2), S. 171–178
- Rogers, D.; Anderson-Berry, L.; Bogdanova, A.-M.; Fleming, G.; Gitay, H.; Kahandawa, S.; Kootval, H.; Staudinger, M.; Suwa, M.; Tsirkunov, V.; Wang, W. (2020): COVID-19 and lessons from multi-hazard early warning systems. In: *Advances in Science and Research* 17, S. 129–141
- Romanello, M.; McGushin, A.; Di Napoli, C.; Drummond, P.; Hughes, N.; Jamart, L.; Kennard, H.; Lampard, P.; Solano Rodriguez, B.; Arnell, N.; Ayebe-Karlsson, S. et al. (2021): The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. In: *The Lancet* 398(10311), S. 1619–1662
- Rose, M. (2023): Thesenpapier zum Fachgespräch zum Thema »Weiterentwicklung des Parlamentarischen Beirats für nachhaltige Entwicklung«. <https://www.bundestag.de/resource/blob/949772/8acd75c7b0ca9672b3067318db140728/Thesenpapier.pdf> (26.3.2024)
- Roth, F.; Herzog, M. (2016): Strategische Früherkennung – Instrumente, Möglichkeiten und Grenzen. In: *Zeitschrift für Außen- und Sicherheitspolitik* 9, S. 201–211
- Rudloff, B. (2022): Wirtschaftliche Resilienz: Kompass oder Catchword? Welche Fallstricke und Folgeeffekte die EU im Krisenmanagement beachten muss. Stiftung Wissenschaft und Politik, SWP-Studie Nr. 1, Berlin
- Rudloff, B.; Schmieg, E. (2016): Zerfall der Europäischen Union. Handels- und wirtschaftspolitisch steht viel auf dem Spiel. Stiftung Wissenschaft und Politik, SWP-Aktuell Nr. 24, Berlin
- Sachverständigenrat für Integration und Migration (2023): Jahresgutachten 2023. Klimawandel und Migration: was wir über den Zusammenhang wissen und welche Handlungsoptionen es gibt. Berlin
- SHAPE (Supreme Headquarters Allied Powers Europe) (o. J.): NATO Airborne Warning and Control System (AWACS), <https://shape.nato.int/about/aco-capabilities2/nato-awacs> (28.3.2024)
- Scheffer, M. (2010): Complex systems: Foreseeing tipping points. In: *Nature* 467(7314), S. 411–412
- Schelewsky, M.; Canzler, W. (2017): Vulnerabilität und Resilienz im Verkehrssektor. In: *Ökologisches Wirtschaften* 32(4), S. 25–26
- Scherenberg, V. (2022): ePublic Health: Umweltassoziierte App-basierte Informations- und Frühwarnsysteme zum gesundheitsbezogenen Bevölkerungsschutz. In: 8. Jahrbuch Nachhaltige Ökonomie – Im Brennpunkt: Kommunale Wärmewende. Marburg
- Schilling, M. (2022): Nachhaltigkeit im Gesundheitswesen braucht innovative Ideen und interdisziplinäre Zusammenarbeit. In: *Endo-Praxis* 38(4), S. 171–173
- Schmiemann, G.; Steuber, C.; Gogolewska, J.; Lehmkuhl, D.; Herrmann, M.; Schulz, C. (2021): Ärztliche Verantwortung in der Klimakrise – zwischen Ethik und Monetik. Divestment im und durch das Gesundheitssystem. KLUG – Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit e. V., Bremen
- Schmitz, J.; Klapper, S.; Holzgrabe, U. (2019): Richtig lagern bei Hitze. Wenn anhaltende Hitzewellen Arzneimitteln zusetzen. In: *Deutsche Apothekerzeitung* 35, S. 50
- Schoierer, J.; Böse-O'Reilly, S.; Roeßler, C. (2022): Klimawandel und Kindergesundheit. In: Stiftung Kindergesundheit (Hg.): *Kindergesundheitsbericht der Stiftung Kindergesundheit 2022*. München
- Schwedes, O.; Daubitz, S.; Rammert, A.; Sternkopf, B.; Hoor, M. (2018): Kleiner Begriffskanon. Der Mobilitätsforschung. Technische Universität Berlin, IVP-Discussion Paper Nr. 1, Berlin
- Schweizer, P.-J.; Goble, R.; Renn, O. (2022): Social Perception of Systemic Risks. In: *Risk Analysis* 42(7), S. 1455–1471

- Schweizer, P.-J.; Renn, O. (2019): Governance of systemic risks for disaster prevention and mitigation. In: DPM 28(6), S. 862–874
- Semenza, J.; Rocklöv, J.; Penttinen, P.; Lindgren, E. (2016): Observed and projected drivers of emerging infectious diseases in Europe. In: Annals of the New York Academy of Sciences 1382(1), S. 73–83
- Senatsverwaltung für Wissenschaft, Gesundheit und Pflege (2022): Tödliche Hitze: Neues Aktionsbündnis entwickelt Hitzeschutzpläne für Berlin. <https://www.berlin.de/sen/wgp/service/presse/2022/pressemitteilung.1218221.php> (26.3.2024)
- Siegrist, M.; Árvai, J. (2020): Risk Perception: Reflections on 40 Years of Research. In: Risk Analysis 40(S1), S. 2191–2206
- Slovic, P. (1987): Perception of risk. In: Science 236(4799), S. 280–285
- Smith, E.; Mayer, A. (2018): A social trap for the climate? Collective action, trust and climate change risk perception in 35 countries. In: Global Environmental Change 49, S. 140–153
- Stadt Köln (o. J.): Hitzeaktionsplan für Menschen im Alter. <https://www.stadt-koeln.de/artikel/67953/index.html> (4.6.2024)
- Stell, M. (2021): Überprüfung von Regelwerken und Normen im Straßenwesen im Hinblick auf den Klimawandel. BMDV-Expertenetzwerk, https://www.bmdv-expertenetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/Kurzberichte/TF1/Stell_2021.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (26.3.2024)
- Steul, K.; Latasch, L.; Jung, H.; Heudorf, U. (2018): Erkrankungsrisiken und Sterblichkeit durch Hitze(-wellen) – Daten aus Frankfurt am Main im Kontext internationaler Untersuchungen. In: Gesundheitswesen 80(04), Art. 413
- Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2021): Klimastresstest für den Bundesverkehrswegeplan. Vorschlag für eine kurzfristige Reform. Berlin
- Straff, W.; Mücke, H.-G. (2017): Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin
- SVR (Sachverständigenrat zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen) (2023): Resilienz im Gesundheitswesen. Wege zur Bewältigung künftiger Krisen. Bonn
- SWP (Stiftung Wissenschaft und Politik) (2022): Russlands Krieg gegen die Ukraine und seine Folgen. www.swp-berlin.org/themen/dossiers/russlands-krieg-gegen-die-ukraine (5.5.2023)
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2010): Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung. (Petermann, T.; Bradke, H.; Lüllmann, A.; Poetzsch, M.; Riehm, U.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 141, Berlin
- TAB (2012): Nachhaltigkeit und Parlamente – Bilanz und Perspektiven Rio+20. (Petermann, T.; Poetzsch, M.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 155, Berlin
- TAB (2022): Resilienz von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft durch Krisenvorhersage stärken – Lehren aus der Coronakrise. https://www.tab-beim-bundestag.de/veranstaltungen-2022_fachgesprach_resilienz-von-gesellschaft-politik-und-wirtschaft-durch-krisenvorhersage-staerken.php (4.6.2024)
- TAB (2023): Bakteriophagen in Medizin, Land- und Lebensmittelwirtschaft – Anwendungsperspektiven, Innovations- und Regulierungsfragen. (König, H.; Sauter, A.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 206, Berlin
- Tagesschau.de (2023): Deutschland bekommt einen Hitzeschutzplan. <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/lauterbach-hitzeschutzplan-100.html> (4.6.2024)
- Taleb, N. (2016): The black swan. The impact of the highly improbable. Incerto Band 2, New York
- Tappe, D.; Frank, C.; Homeier-Bachmann, T.; Wilking, H.; Allendorf, V.; Schlottau, K.; Muñoz-Fontela, C.; Rottstegge, M.; Port, J.; Rissland, J.; Eisermann, P. et al. (2019): Analysis of exotic squirrel trade and detection of human infections with variegated squirrel bornavirus 1, Germany, 2005 to 2018. Euro Surveillance 24(8), Art. 1800483

- The Lancet Countdown on Health and Climate Change (2021): Policy Brief für Deutschland 2021.
https://www.klimawandel-gesundheit.de/wp-content/uploads/2021/10/20211020_Lancet-Countdown-Policy-Germany-2021_Document_v2.pdf (4.6.2024)
- Thurner, S. (2020): Die Zerbrechlichkeit der Welt. Kollaps oder Wende. Wir haben es in der Hand. Wiesbaden
- Thomas, D.; Kollosche, I.; Steck L.; Flores Trãn, S. (2023): Resiliente Mobilität in Baden-Württemberg. Herausforderungen für und Anforderungen an ein elektrifiziertes Mobilitätssystem der Zukunft. e-mobil BW GmbH – Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg, Stuttgart
- Traidl-Hoffmann, C. (2020): Klima und Gesundheit: Klimaresilienz – Weg der Zukunft. In: Deutsches Ärzteblatt, 117(33-34), S. A1556–A1558
- Triguero, I.; García-Gil, D.; Maillou, J.; Luengo, J.; García, S.; Herrera, F. (2018): Transforming big data into smart data: An insight on the use of the k-nearest neighbors algorithm to obtain quality data. In: WIREs Data Mining and Knowledge Discovery 9(2), Art. e1289
- UBA (Umweltbundesamt) (2020): Verstärktes Einrichten von natürlichen Überflutungsflächen.
www.umweltbundesamt.de/verstaerktes-einrichten-von-natuerlichen#undefined (26.3.2024)
- UBA (2023a): Emissionen des Verkehrs. www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs (21.5.2023)
- UBA (2023b): Klimaschutzziele im Verkehrssektor. www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr#ziele (26.3.2023)
- UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk) (2015): Resolution adopted by the General Assembly on 3 June 2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. Genf
- UNDRR (2016): Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. Genf
- UNDRR; WHO (2021): Working Paper: Inclusion of the impacts of the COVID-19 pandemic on health and health services in reporting for Sendai Framework Monitoring in 2021. Genf
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (o.J.): What is Futures Literacy (FL)? <https://www.unesco.org/en/futures-literacy/about> (4.6.2024)
- Vitzthum, T. (2020): Deutschland bereitet sich auf erste Corona-Fälle vor, 26.1.2020, www.welt.de/politik/deutschland/article205359037/Lungenvirus-Deutschland-bereitet-sich-auf-erste-Corona-Faelle-vor.html (26.3.2024)
- Vogel, P.; Schaub, G. (2021): Neue Infektionskrankheiten in Deutschland und Europa. Wiesbaden
- Vogt, M. (2018): Wandel als Chance oder Katastrophe. München
- Voss, M. (2021): Stellungnahme: Zustand und Zukunft des Bevölkerungsschutzes in Deutschland – Vorschlag für ein »Forschungs- und Kompetenzzentrum Resilienz und Bevölkerungsschutz«. Deutscher Bundestag, Ausschuss für Inneres und Heimat, Ausschussdrucksache 19(4)793E, Berlin
- Voß, M.; Kahlenborn, W.; Porst, L.; Dorsch, L.; Nilson, E.; Rudolph, E.; Lohrengel, A.-F. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teilbericht 4: Risiken und Anpassung im Cluster Infrastruktur. Dessau-Roßlau
- Wagner, G. (2022): Grenzen und Fortschritte indikatorengestützter Politik am Beispiel der Corona-Pandemie. In: AStA Wirtschafts- und Sozialstatistisches Archiv 16(3-4), S. 171–187
- Waidyanatha, N. (2010): Towards a typology of integrated functional early warning systems. In: International Journal of Critical Infrastructures 6(1), S. 31–51
- Walinski, A.; Sander, J.; Gerlinger, G.; Clemens, V.; Meyer-Lindenberg, A.; Heinz, A. (2023): The Effects of Climate Change on Mental Health. In: Deutsches Ärzteblatt international 120(8), S. 117–124
- Wang, T.; Zhao, S.; Zhu, G.; Zheng, H. (2021): A machine learning-based early warning system for systemic banking crises. In: Applied Economics 53(26), S. 2974–2992
- Warnke, P.; Priebe, M.; Veit, S. (2021): Studie zur Institutionalisierung von Strategischer Vorausschau als Prozess und Methode in der deutschen Bundesregierung. Karlsruhe

- Wasem, J.; Richter, A.-K.; Schillo, S. (2019): Untersuchung des Einflusses von Hitze auf Morbidität. Lehrstuhl für Medizinmanagement der Universität Duisburg-Essen, Essen
- WEF (2022): The global risks report 2022. 17th edition: insight report. Genf
- Weinheimer, H.-P. (2022): Die Corona-Pandemie und die föderale Kompetenzordnung. Anmerkungen zu einer »epidemischen Lage von nationaler Tragweite«. o.O.
- Weisfeld, H.; de Carvalho Filho, I.; Comelli, F.; Giri, R.; Hellwig, K.-P.; Huang, C.; Liu, F.; Lizarazo Ruiz, S.; Meyer-Cirkel, A.; Presbitero, A. (2020): Predicting Macroeconomic and Macrofinancial Stress in Low-Income Countries. IMF Working Paper Nr. 20/289, Washington, D.C.
- WHO (2009): Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHEAT. Technical summary. Genf
- WHO (2014): Early detection, assessment and response to acute public health events: Implementation of early warning and response with a focus on event-based surveillance. Interim Version, Genf
- WHO (2020): Basic Documents. Genf
- WHO (2021): World Health Assembly agrees to launch process to develop historic global accord on pandemic prevention, preparedness and response. www.who.int/news/item/01-12-2021-world-health-assembly-agrees-to-launch-process-to-develop-historic-global-accord-on-pandemic-prevention-preparedness-and-response (26.3.2024)
- WHO (2022): Strengthening of the International Health Regulations (2005) through a process for revising the regulations through potential amendments – Draft decision proposed by Australia, Canada, Colombia, India, Japan, Monaco, Montenegro, Peru, Republic of Korea, Member States of the European Union, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland and United States of America. Genf
- WHO (Regionalbüro für Europa) (2008): Die Charta von Tallinn: Gesundheitssysteme für Gesundheit und Wohlstand. Tallinn
- WHO; WMO (World Meteorological Organization); UNEP-Task Force (1996): Climate change and human health. An assessment prepared by a Task Group on behalf of the World Health Organization, the World Meteorological Organization and the United Nations Environment Programme. McMichael, A.; Haines, A.; Slooff, R. (Hg.), Genf
- Wieczorrek, Y.; Marcol, B.; Grünewald, J.; Hey, M.; Schäffer-Gemein, S.; Kemen, J.; Müller, H.; Kistemann, T. (2022): Hitzeaktionsplan für Menschen im Alter für die Stadt Köln. Köln
- Wieler, L. (2022): Klimawandel – ein brennendes Thema für Public Health. In: Journal of Health Monitoring 2022(7), S. 3–5
- Wilson, K.; Halabi, S.; Hollmeyer, H.; Gostin, L.; Fidler, D.; Packer, C.; Wilson, L.; Labonté, R. (2021): National focal points and implementation of the International Health Regulations. In: Bulletin of the World Health Organization 99(7), S. 536–538
- Winklmayr, C.; Muthers, S.; Niemann, H.; Mücke, H.-G.; Heiden, M. (2022): Heat-Related Mortality in Germany from 1992 to 2021. In: Deutsches Ärzteblatt international 119(26), S. 451–457
- WMO (2018): Multi-hazard Early Warning Systems: A Checklist. Outcome of the first Multi-hazard Early Warning Conference. Genf
- Xu, Y.; Wilson, K. (2021): Early Alert Systems During a Pandemic: A Simulation Study on the Impact of Concept Drift. In: Scheffel, M.; Dowell, N.; Joksimovic, S.; Siemens, G. (Hg.): LAK21: 11th International Learning Analytics and Knowledge Conference. New York, S. 504–510
- Zacharias, S.; Koppe, C. (2015): Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland. UBA-Texte Nr. 6, Dessau-Roßlau
- Zielo, B.; Matzarakis, A. (2018): Bedeutung von Hitzeaktionspläne für den präventiven Gesundheitsschutz in Deutschland. In: Gesundheitswesen 80(4), S. e34-e43
- Zimmermann, R.; Zimmermann, I.; Bornschlegl, P.; Günther, K. (2021): Wellenreiten im Gesundheitsamt – Digitaler Wandel im Corona-Containment. In: HMD 58(4), S. 712–738

Zürner, P. (2021): Klimaschutz ist Gesundheitsschutz. Hessisches Ärzteblatt 12/2021, S. 666–668

Zweck, A.; Holtmannspötter, D.; Braun, M.; Hirt, M.; Kimpeler, S.; Warnke, P. (2015): Gesellschaftliche Veränderungen 2030. Ergebnisband 1 zur Suchphase von BMBF-Foresight Zyklus II. Düsseldorf

9 Anhang

9.1 Abbildungen

	Seite
Abb. 2.1 Konzept der transformativen Resilienz	30
Abb. 2.2 Gestaltungsansätze entlang der Handlungsfelder im Resilienzyklus.....	31
Abb. 3.1 Phasen eines Frühwarnsystems	36
Abb. 3.2 Der Risikogovernanceansatz des International Risk Governance Council	37
Abb. 3.3 Frühwarnsystem für multiple Gefahren (MHEWS)	38
Abb. 4.1 Modell für Epidemic Intelligence.....	48
Abb. 4.2 Administrativen Strukturen und Kommunikationswege an die WHO bzw. die EU bei relevanten biologischen Ereignissen in Deutschland	50
Abb. 6.1 Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Gesundheit (I).....	69
Abb. 6.2 Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Gesundheit (II).....	75
Abb. 7.1 Krisenradar als Mehrebenensystem.....	100

9.2 Tabellen

Tab. 3.1 Vorlaufzeiten für die Frühwarnung	34
Tab. 3.2 Übersicht über Anwendungsbereiche von Frühwarnsystemen.	39
Tab. 5.1 Systemische Risiken.....	62

9.3 Kästen

Kasten 2.1 Das »Sendai Rahmenwerk«.....	28
Kasten 4.1 Privatwirtschaftliche Frühwarnsysteme.....	54
Kasten 7.1 Foresightmethode »Intelligent Analysis/Red Teams«.....	108
Kasten 7.2 Wissenschaftsjahr »Resilienz«?.....	109
Kasten 7.3 Die Enquetekommission »Krisenfeste Gesellschaft« in Baden-Württemberg	112

