



Journal of Health Monitoring · 2023 8(S4)

DOI 10.25646/11646

Robert Koch-Institut, Berlin

Carsten Butsch^{1,2}, Liza-Marie Beckers³,
Enno Nilson³, Marieke Frassl³,
Nicole Brennholt⁴, René Kwiatkowski⁵,
Mareike Söder⁶

¹ Universität Bonn
Geographisches Institut

² Universität zu Köln
Geographisches Institut

³ Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

⁴ Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz NRW, Düsseldorf
Abteilung für Wasserwirtschaft und
Gewässerschutz

⁵ Bundesamt für Bevölkerungsschutz und
Katastrophenhilfe, Bonn
Abteilung für Risikomanagement,
Internationale Angelegenheiten

⁶ Johann Heinrich von Thünen-Institut,
Braunschweig
Stabsstelle Klima und Boden

Eingereicht: 23.12.2022

Akzeptiert: 26.04.2023

Veröffentlicht: 06.09.2023

Gesundheitliche Auswirkungen von Extremwetterereignissen – Risikokaskaden im anthropogenen Klimawandel

Abstract

Hintergrund: Extremwetterereignisse stellen eine der greifbarsten Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels dar. Sie haben in Zahl und Ausprägung zugenommen und eine weitere Zunahme wird erwartet. Damit gehen unmittelbare und mittelbare negative Folgen für die menschliche Gesundheit einher.

Methode: Überschwemmungsereignisse, Stürme und Dürren werden hier für Deutschland aus systemischer Perspektive auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche analysiert, wobei über das konkrete Schadensereignis hinausgehende Risikokaskaden in den Blick genommen werden, um auch nachgelagerte Folgen darzustellen.

Ergebnisse: Neben den unmittelbaren gesundheitlichen Belastungen durch Extremwetterereignisse, wie Verletzungen, treten langfristige Folgen, wie psychische Belastungsstörungen, auf. Diese Belastungen betreffen bestimmte vulnerable Gruppen, z. B. ältere Menschen, Kinder, Schwangere oder Einsatzkräfte, in besonderem Maße.

Schlussfolgerungen: Der Blick auf die in der internationalen Literatur beschriebenen Risikokaskaden erlaubt es, Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu entwickeln. Viele Anpassungsmaßnahmen schützen dabei vor unterschiedlichen Risiken gleichzeitig. Neben planerischen Maßnahmen ist dies vor allem auch die Erhöhung der Selbstschuttfähigkeit in der Bevölkerung durch Wissen und die Stärkung sozialer Netzwerke.

Dieser Artikel ist Teil der Beitragsreihe zum Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023.

◆ VULNERABILITÄT · ÜBERSCHWEMMUNGEN · STÜRME · DÜRREN · BRÄNDE · KLIMAWANDELANPASSUNG

1. Einleitung

Extreme Wetterereignisse stellen in der öffentlichen Wahrnehmung eine der greifbarsten Auswirkungen des Klimawandels dar. Einzelne Ereignisse, die Katastrophen auslösen, werden häufig mit dem Klimawandel erklärt. Das ist aus wissenschaftlicher Perspektive schwierig, weil sich mit dem Klimawandel zwar die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Extremen verändert, dies aber noch keine hin-

reichende Erklärung für das jeweilige Einzelereignis darstellt (**Infobox**). Jedoch deutet vieles darauf hin, dass zumindest einige Arten von Extremwetterereignissen in Frequenz und Magnitude (Ausmaß) aufgrund des anthropogenen Klimawandels zugenommen haben [1]. Damit gehen negative Folgen für die menschliche Gesundheit einher – unmittelbar und mittelbar.

Extremwetterereignisse werden in der Literatur unterschiedlich definiert. Im Bereich der Klimafolgenforschung

Es ist zu erwarten, dass durch den Klimawandel Frequenz und Magnitude von Extremwetterereignissen zunehmen.

sind zwei Sichtweisen etabliert. Für die erste ist die Seltenheit und hohe Magnitude ausschlaggebend, z. B. eine statistisch zu erwartende Wiederkehrzeit von 100 Jahren oder seltener. Für die zweite sind die Folgen des Ereignisses für die menschliche Gesellschaft (hier: Gesundheit) ausschlaggebend, wenn diese Ereignisse soziale, technische oder

Umweltsysteme (zer)stören [2, 3]. Im Folgenden werden beide Sichtweisen verknüpft.

Zunächst wird die klimawandelbedingte Änderung der Frequenz potenziell gesundheitsgefährdender Ereignisse wie Überschwemmungen, Stürme, Dürren und Brände dargestellt. Ausgenommen sind Hitzewellen, denen sich

Infobox

Evidenz: Die Zunahme von Extremwetterereignissen als Folge des Klimawandels

Der sechste Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) konstatiert in seinen zentralen Aussagen, dass sich der anthropogene Klimawandel bereits auf viele Wetter- und Klimaextreme in allen Regionen der Welt auswirkt und dass sich die Beweislage für die Zuordnung zum menschlichen Einfluss in den letzten Jahren verstärkt hat [8].

Jedoch kann nicht jedes extreme Wetter- oder hydrologische Phänomen dem Klimawandel zugeordnet werden. Diese Zuordnung ist den Konventionen der Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization, WMO) zufolge erst möglich, wenn sich systembeschreibende Größen (z. B. Temperatur-, Niederschlags- oder Hochwasserkennwerte, hier: Extremwerte) im vieljährigen Mittel merklich verschieben [9]. Dieser Nachweis ist aufgrund der hohen natürlichen Variabilität im Klimasystem, meist recht kurzer Beobachtungsreihen und der Seltenheit von Extremwetterereignissen schwer zu erbringen. Da das Klima auch unter natürlichen Bedingungen auf multidekadischen Zeitskalen schwankt, ist es besonders schwierig, den Anteil des anthropogen verstärkten Klimawandels eindeutig abzugrenzen. Für Deutschland kann eine Änderung in Bezug auf die Ereignistypen Hitze, Dürre, Sturmflut und Flusshochwasser festgestellt werden (Vergangenheitsanalyse, Daten meist seit 1950), dabei nimmt die Robustheit – d. h. die Eindeutigkeit, mit der der Klimawandel als Grund für die Änderungen identifiziert werden kann – der festgestellten Änderungen in der genannten Reihung ab. Nahezu alle gängigen Hitzeindikatoren zeigen signifikante Änderungen mit immer neuen Extremwerten [4, 10], die teilweise dem anthropogenen Beitrag zum Klimawandel zuge-

ordnet werden können [11]. Festgestellte Trends für Dürren sind je nach Dürreindikator mehr oder weniger ausgeprägt. Während meteorologische Kennwerte wie die klimatische Wasserbilanz oder auch der Waldbrandindex vielerorts vergleichsweise klare Änderungen zeigen [12, 13], treten in den hydrologischen Kennwerten nur regional signifikante Trends zutage [14]. Grund sind teilweise kompensierende Effekte innerhalb des hydrologischen Systems, z. B. durch Wasserbewirtschaftung oder Gletscherschmelze. In Bezug auf Flusshochwasser können an vielen Pegeln Zunahmen der jährlichen Höchstabflüsse festgestellt werden. Bei Extremhochwassern in der Größenordnung von 100-jährlichen Ereignissen ist ein entsprechender Nachweis oft nicht zu erbringen (z. B. [15]). Ein ähnliches Bild zeigt sich an den Nordseepegeln in Bezug auf Sturmfluten: Während die jährlichen Sturmfluten hinsichtlich Magnitude zunehmen, ist bei den „sehr schweren Sturmfluten“ mangels vergangener Ereignisse und Daten keine Tendenz auszumachen [16].

Generell gilt: Je extremer und damit seltener ein betrachtetes Ereignis, desto mehr beeinflusst die limitierte Länge von Beobachtungsreihen die Möglichkeiten zum Nachweis von Änderungen. Daher ist es schwer, Änderungen im Auftreten extremer und zerstörerischer Starkregen- bzw. Sturzflutereignisse und Stürme belastbar nachzuweisen [17]. Die erforderlichen raumzeitlich sehr hochauflösenden Datenreihen liegen erst für wenige Jahrzehnte vor. Dies bedeutet jedoch nicht, dass mit dem Klimawandel in Bezug auf diese Größen keine Änderungen einhergehen. Unter Hinzunahme von Klimamodellen konnte z. B. gezeigt werden, dass Niederschlagsereignisse wie jenes, welches im Juli 2021 die Hochwasserkatastrophe in Westdeutschland und Belgien ausgelöst hat, durch den anthropogen verstärkten Klimawandel wahrscheinlicher geworden sind [18].

Extremwetterereignisse haben eine Vielzahl mittelbarer Folgen, die als Risikokaskaden dargestellt werden können.

Winklmayr et al. [4] in einem separaten Artikel dieses Sachstandsberichts widmen. Darauf aufbauend werden die Folgen dieser Ereignisse entlang sogenannter Risikokaskaden analysiert und systematisch unmittelbare und mittelbare Folgen dargestellt.

Extremwetterereignisse werden hier als „dynamischer, zeitlich begrenzter Vorgang, der die normale Funktionsweise eines Systems stört“ (eigene Übersetzung nach [2, S. 4]) verstanden. Sie lösen Katastrophen aus, wenn sie auf vulnerable gesellschaftliche Verhältnisse treffen und Menschen, Infrastruktur, Wirtschaft oder die Umwelt in einem Maße schädigen, dass externe Hilfe notwendig wird (in Anlehnung an [5]). Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) befasste sich in einem Sonderbericht mit Vulnerabilität und Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen [5]. Menschliche Gesundheit wird dort als gefährdetes Gut und als potenziell vulnerabilitätssteigernd konzeptualisiert, da Menschen mit Vorerkrankungen von Extremwetterereignissen oftmals stärker betroffen sind.

In Anbetracht der aktuellen Kenntnislage ist trotz bestehender Unsicherheiten aus Vorsorgegründen davon auszugehen, dass mit fortschreitendem Klimawandel meteorologische und hydrologische Extremwetterereignisse in Deutschland an Magnitude und Frequenz in Zukunft weiter zunehmen werden (Infobox) [1, 6]. Die Belege sind für temperatur- und meeresspiegelgesteuerte Wirkungsketten robuster als für niederschlags- und windgesteuerte Wirkungskaskaden und für raumzeitlich großskalige Phänomene wie Dürren größer als für kleinskalige wie Starkregen oder Tornados. Das Ausmaß der zukünftigen Zunahme fällt stärker aus, je größer der anthropogene Beitrag zum Klimawandel sein wird. Extreme Wetterereignisse sind aber unter allen

Szenarien möglich, nur unterschiedlich wahrscheinlich. Ein einführender Artikel dieses Sachstandsberichts erläutert die Grundlagen der verschiedenen Klimaszenarien [7].

Die Wirkungen dieser Ereignisse auf die menschliche Gesundheit werden nachfolgend beschrieben. Grundlage ist dabei eine umfassende Auswertung wissenschaftlicher Literatur, die in Web of Knowledge, PubMed und Scopus recherchiert wurde. Hierbei wurden vor allem systematische Übersichten und Metaanalysen einbezogen. Der Text gibt nicht alle gefundenen Quellen wieder, sondern stellt eine auf die Themenstellung fokussierte Auswahl dar, die nicht den Ansprüchen eines systematischen Reviews genügen kann.

2. Gesundheitliche Folgen ausgewählter Extremwetterereignisse

Im Folgenden wird zunächst die theoretische Perspektive auf Risikokaskaden skizziert. Diese wird anschließend auf die betrachteten Extremwetterereignisse – Überschwemmungen, Stürme, Dürren und Brände – angewendet, um die gesundheitlichen Folgen dieser Ereignisse systematisch darzustellen. Abschließend wird betrachtet, inwiefern vulnerable Gruppen besonders von den Folgen verschiedener Extremwetterereignisse betroffen sind.

2.1 Risikokaskaden – konzeptionelle Grundlagen

Die Internationale Dekade zur Reduzierung von Naturkatastrophen (1990–1999) führte zu einer intensiven konzeptionell-theoretischen Beschäftigung mit Risiken. Als federführende Institution entstand das United Nations

Extremwetterereignisse können durch komplexe Wechselwirkungen mit verstärkenden Faktoren Katastrophen auslösen.

Office for Disaster Risk Reduction; das Hyogo Framework und das Sendai Framework wurden als international verbindliche politische Leitdokumente zur Reduzierung von Risiken im Rahmen der Vereinten Nationen verabschiedet [19]. Parallel dazu entstanden in der wissenschaftlichen Diskussion neue theoretische Zugänge. Katastrophen werden als komplexe Ereignisse konzeptualisiert, bei denen die Exposition von Gruppen und Systemen sowie deren Vulnerabilität analysiert wird [19]. Sie sind demnach nicht das Ergebnis einzelner Ereignisse, sondern entstehen im Zusammenspiel unterschiedlicher Prozesse und Gegebenheiten [20]. Verbundrisiken, die über die Wirkung von Einzelereignissen hinausgehende Katastrophen auslösen können, entstehen, wenn (1) mehrere Extremereignisse gleichzeitig auftreten, (2) sie auf verstärkende Faktoren treffen oder (3) sie durch die ungünstige Kombination mehrerer individuell unkritischer Vorkommnisse ausgelöst werden [20]. Eine besondere Form sind natürliche Ereignisse, die Technikversagen und in Folge dessen Katastrophen auslösen (NaTech-Ereignisse), z. B. die durch einen Tsunami ausgelöste Reaktorkatastrophe in Fukushima.

Zuletzt entstanden Konzepte kaskadierender Risiken, die sich mit den mittelbaren Auswirkungen von Katastrophen befassen. Durch die Vernetzung von Systemen auf lokaler, regionaler und globaler Skala pflanzen sich Störungen fort und können dabei verstärkt werden und ganz neue Risiken hervorrufen [20, 21]. Dieses Konzept basiert auf der Annahme Komplexer Adaptiver Systeme (KAS). Die Komplexität bringt es mit sich, dass Prozesse nicht zwangsläufig linear ablaufen. So entstehen unvorhersehbare Dynamiken, auch weil die Zahl der Verbindungen zwischen Teilsystemen sehr groß ist und Wechselwirkungen kaum vorherseh-

bar sind. Dadurch können kleine Änderungen sehr große Auswirkungen haben. Wenn Kippunkte überschritten werden, können KAS neue Gleichgewichtszustände erreichen. KAS sind meist dynamisch und es kommt zu Co-Evolutionen – Entwicklungen einzelner Teilsysteme beeinflussen Entwicklungen anderer [22].

Die KAS-Perspektive bietet einen Rahmen für die Analyse der Umstände, die zu einer Katastrophe führen. Eine darauf basierende Reduzierung von Vulnerabilität durch Anpassungsmaßnahmen kann Katastrophen idealerweise verhindern oder deren Folgen zumindest verringern, ein aktives Katastrophenmanagement die Entstehung kaskadierender Risiken unterbinden oder zumindest einschränken.

Für die gesundheitlichen Folgen von Extremwetterereignissen bedeutet dies, dass nicht allein die unmittelbaren Folgen dieser Ereignisse in den Blick genommen werden dürfen. Eine umfassende Analyse muss auch die mittelbaren und nachgelagerten Folgen systematisch untersuchen.

2.2 Todesfälle, Verletzungen und monetäre Schäden infolge von Extremwetterereignissen

Aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge ist eine vollständige Erfassung der gesundheitlichen Folgen von Extremwetterereignissen nicht möglich. Offizielle Statistiken bilden Todesursachen nach der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (International Classification of Diseases, ICD) ab, weitergehende Informationen werden nicht erhoben. Wenn zum Beispiel eine Person von einem Baum erschlagen wird, ist in der Todesursachenstatistik nicht unterscheidbar, ob der Baum aufgrund eines Sturms oder aufgrund eines anderen Auslösers umgefallen

ist. Eine alternative Quelle stellt vor diesem Hintergrund die Datenbank Emergency Events Database (EM-DAT) des Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) dar [23]. Hier werden Daten verschiedener Quellen zu den gesundheitlichen Folgen von Katastrophenereignissen (inkl. der hier betrachteten Extremwetterereignisse) seit dem Jahr 1900 weltweit gesammelt und ausgewertet. Am Stichtag 11.11.2022 enthielt sie für Deutschland 89 Ereignisse, beginnend mit einem Überschwemmungsereignis im Donaugebiet 1920. Insgesamt sind 63 Sturmereignisse mit 718 Todesfällen, 25 Überschwemmungen mit 271 Todesfällen und ein Waldbrand ohne Todesfälle dokumentiert. Hierbei wird in der Datenbank nicht explizit zwischen Stürmen und Sturmfluten differenziert. Der Vorteil der Datenbank EM-DAT ist der weltweite Überblick, jedoch kommen regionale Datenbanken teilweise zu anderen Ergebnissen. Die europäische Umweltagentur verzeichnete zwischen 1980 und 2013 bei 1.500 Ereignissen über 4.700 Todesfälle und Schäden in Höhe von 150 Milliarden Euro [24]. Dabei waren Überschwemmungen die häufigsten Katastrophen auslösenden Ereignisse.

Tabelle 1 zeigt die zehn gravierendsten Ereignisse in Deutschland, basierend auf der in der EM-DAT hinterlegten Anzahl der registrierten, unmittelbar geschädigten Personen (Todesfälle und verletzte Personen). Für das Starkregenereignis, das Mitte Juli 2021 zu großflächigen Überschwemmungen vor allem in Rheinland-Pfalz (RP) und Nordrhein-Westfalen (NW) führte, wurden die meisten Verletzten registriert und das Ereignis forderte mit 197 Todesfällen die zweitmeisten Todesopfer in Deutschland. Die meisten Todesfälle traten infolge der Sturmflut von 1962 auf (347).

Im weltweiten Vergleich ist die Exposition Deutschlands gegenüber Schadensereignissen relativ gering und das Risikoprofil unterscheidet sich, sodass hier einige global relevante Ereignistypen bisher keine Katastrophen ausgelöst haben. Global wurden in der EM-DAT Datenbank 25.722 Schadensereignisse mit 38,4 Millionen Toten und 10,8 Millionen Verletzten erfasst. Die fünf Schadensereignisse, die in den letzten 122 Jahren global die meisten Todesfälle verursacht haben, sind (1) Dürren, (2) Epidemien und Pandemien, wobei die COVID-19-Pandemie (noch) nicht in der Datenbank erfasst wird, (3) Überschwemmungen und Überflutungen, (4) NaTech-Ereignisse und (5) Erdbeben. Gleichzeitig ist ab den 1930er-Jahren ein Rückgang der Todesfallzahlen zu beobachten (**Abbildung 1**). In Anbetracht der wachsenden Weltbevölkerung und der steigenden Zahl der Schadensereignisse bedeutet dies ein sinkendes individuelles Sterberisiko, was mit einem effektiveren Risikomanagement und verbesserter internationaler Zusammenarbeit zusammenhängt.

Für die im Folgenden betrachteten Extremwetterereignisse weist die Datenbank weltweit 12.341 Schadensereignisse mit 20,2 Millionen Todesfällen auf (**Abbildung 2**). Die größten Einzelereignisse sind dabei Hungerkatastrophen, die mit Überschwemmungen oder Dürren als auslösenden Ereignissen erklärt werden. Dies stellt eine Komplexitätsreduktion dar, die Wirkungszusammenhänge verdeckt. Die Hungersnot in Bengalen 1943 beispielsweise wird hier primär als Dürre erfasst, wobei Sen [25] zeigte, dass es in Bengalen nicht zu wenige Nahrungsmittel gab, sondern die arme Bevölkerung keinen Zugang zu diesen hatte. In Deutschland sind Stürme und Überschwemmungen die häufigsten Extremwetterereignisse

Tabelle 1

Zusammenstellung der zehn gravierendsten Schadensereignisse in Deutschland (unmittelbare gesundheitliche Folgen), nach der erfassten Zahl Betroffener sortiert
Quelle: Eigene Darstellung nach EM-DAT [23]

Jahr	Ereignis	Region/Ort	Registrierte Todesfälle	Registrierte verletzte Personen	Erfasste Zahl Betroffener	Schäden ¹	Versicherte Schäden ¹	Bemerkung
2021	Überschwemmung	BW, BY, HE, NW, RP, SN, ST, TH	197	1.000	1.197	40,0	9,7	
1962	Sturm	HH, Nordsee	347	Keine Angabe	347	5,4	Keine Angabe	Sturmflut
1984	Sturm	München	3	250	253	2,5	1,3	Hagelsturm
2006	Sturm	BW, BY, HE	10	200	210	Keine Angabe	Keine Angabe	
2007	Sturm	BB, BE, BW, BY, HB, HE, HH, MV, NI, NW, RP, SH, SL, SN, ST, TH	11	130	141	7,2	4,1	Orkan (Kyrill)
2002	Überschwemmung	BB, BW, BY, NI, SN, ST, TH	27	108	135	17,5	2,7	
2006	Sturm	BW	1	100	101	Keine Angabe	Keine Angabe	Hagel
1972	Sturm	NI, DDR	54	Keine Angabe	54	2,7	Keine Angabe	Orkan (Quimburga)
2020	Sturm	Frankfurt, Kiel, Köln, Paderborn, Saarbrücken	0	33	33	Keine Angabe	Keine Angabe	Orkan (Sabine)
2017	Sturm	Altötting, Freyung-Grafenau, Passau	3	24	27	0,2	Keine Angabe	Hagel

¹in Mrd. US Dollar, Preise von 2020

BB=Brandenburg, BE=Berlin, BW=Baden-Württemberg, BY=Bayern, DDR=Deutsche Demokratische Republik, HB=Bremen, HE=Hessen, HH=Hamburg, Mrd.=Milliarden, MV=Mecklenburg-Vorpommern, NI=Niedersachsen, NW=Nordrhein-Westfalen, RP=Rheinland-Pfalz, SH=Schleswig-Holstein, SL=Saarland, SN=Sachsen, ST=Sachsen-Anhalt, TH=Thüringen

mit den höchsten Zahlen an Betroffenen und Todesfällen ([Abbildung 2](#)).

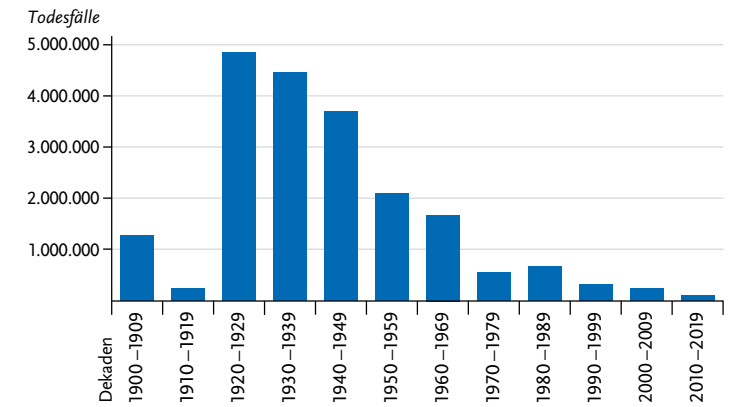
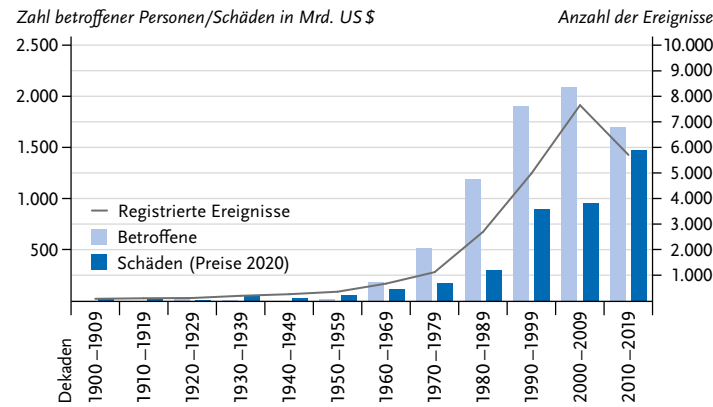
In Bezug auf Extremwetterereignisse sind global gegenläufige Trends festzustellen: Die Zahl der Ereignisse, der Betroffenen und der Schäden steigt, während die Zahl der Todesfälle sinkt ([Abbildung 1](#)) [26]. Für Deutschland sind

diese Trends nicht gleichermaßen eindeutig. Durch die Überschwemmungen im Juli 2021 wurden bereits jetzt in der laufenden Dekade mehr Todesfälle verzeichnet als in den vorangegangenen fünf Dekaden. Die höchsten versicherten Schäden wurden in Deutschland für die Dekade 2000–2009 registriert.

Abbildung 1
Globale Trends dokumentierter
Schadensereignisse
(hier betrachtete Ereignistypen) seit 1900
 Quelle: Eigene Darstellung nach EM-DAT [23]

Abbildung 1a (links)
Betroffene Personen und monetäre Schäden

Abbildung 1b (rechts)
Todesfälle



2.3 Risikokaskaden infolge von Überschwemmungen, Starkregen und Sturmfluten

Überschwemmungen können durch verschiedene Phänomene ausgelöst werden. Sturmfluten können in Deutschland auftreten, wenn starke Winde aus nördlichen/nordwestlichen Richtungen Wasser an die Küsten drücken (Nord- und Ostsee) und diese Situation mit dem Tidehochwasser zusammentrifft (v. a. Nordsee). Flusshochwasser treten als Folge langanhaltender und großflächiger Niederschläge und ggf. mit Schneeschmelzen in den Flusseinzugsgebieten auf. Sturzfluten sind das Ergebnis lokaler Starkniederschläge mit hohen Magnituden, oft auf der Zeitskala von Stunden und in Verbindung mit einer ausgeprägten Reliefierung des Geländes (z. B. enge Täler, große Höhenunterschiede auf kleinem Raum). Die aktuelle Kenntnislage deutet darauf hin, dass alle drei Ereignistypen (Sturmfluten, Flusshochwasser und Sturzfluten) in Zukunft an Frequenz und Magnitude zunehmen könnten (Infobox, [6]). Bis Ende 2100 könnten in Europa jährlich 3,7

Millionen Menschen von Küstenüberschwemmungen betroffen sein [27].

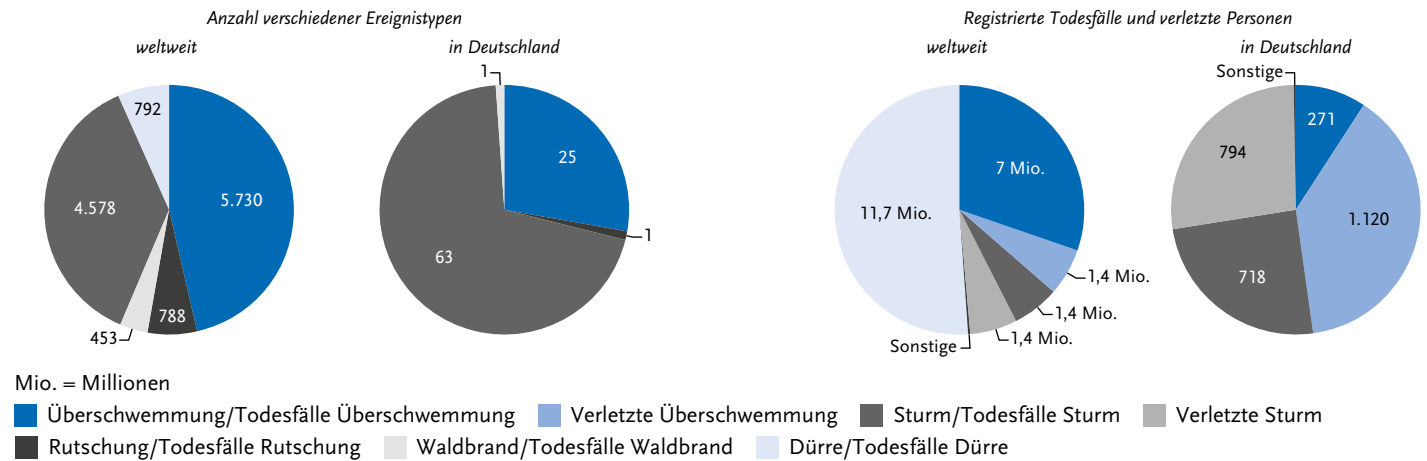
Diese Ereignisse können zu großen Schäden führen, wenn sie auf vulnerable Gruppen oder Strukturen treffen. Neben Magnitude und Dauer der Ereignisse sind u. a. lokale hydrodynamische Gegebenheiten wie Fließquerschnitte oder Bebauung im Gerinne ausschlaggebend [28]. Das Vorhandensein von Risikomanagementmaßnahmen [27] und von Gefahrenquellen (z. B. Industrieanlagen, Deponien, Kläranlagen, Tankstellen [29, 30]) in den potenziellen Überschwemmungsgebieten entscheidet darüber, ob Extremereignisse zu Schäden führen.

Unmittelbar durch das Ereignis hervorgerufene Gesundheitsfolgen können Todesfälle aufgrund von Ertrinken sein, auch durch Einschluss in Gebäuden und Fahrzeugen, sowie (tödliche) Verletzungen. Infolge großflächiger Beschädigungen bzw. Überschwemmungen können weitere Todesfälle und weitere physische Gesundheitsfolgen, z. B. durch Herzinfarkte, Stromschläge, Brände, Benzin- und Gasaustritte (v. a. CO, CO₂) aufgrund technischer Defekte und einstürzen-

Abbildung 2

Personenschäden durch verschiedene Ereignistypen. Anzahl verschiedener Ereignistypen weltweit bzw. in Deutschland und registrierte Todesfälle und verletzte Personen durch verschiedene Ereignistypen weltweit bzw. in Deutschland.

Quelle: Eigene Darstellung nach EM-DAT [23]

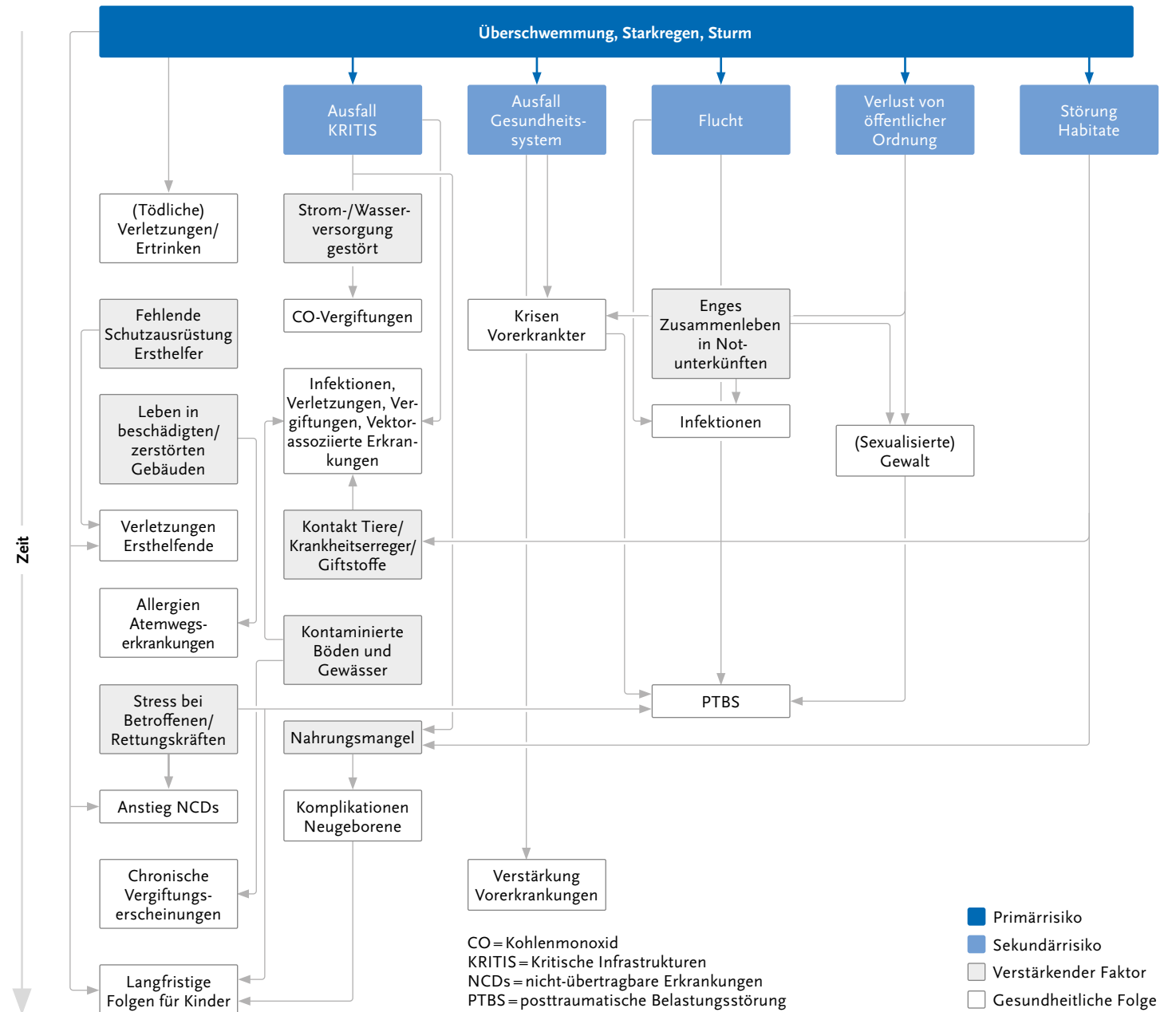


der Bauteile, zu verzeichnen sein [28, 31, 32] (vgl. [Abbildung 3](#), diese zeigt auch die Risikokaskaden des [Abschnitts 2.4 Risikokaskaden infolge von Stürmen](#)).

Mittelbar kann die Störung Kritischer Infrastrukturen (KRITIS, u. a. Energieversorgung, Wasserver- und -entsorgung, Transport und Verkehr, Einrichtungen des Gesundheitssystems) zu Engpässen bei der medizinischen Versorgung (wie durch Ausfall geplanter Behandlungen, Medikamentenmangel) und zu Verzögerungen in der Erstversorgung (z. B. Wasser, Lebensmittel, Notunterkünfte) führen [27, 31–33]. In der Literatur wird zudem ein Anstieg von Herz-Kreislauf-Beschwerden nach Überschwemmungsereignissen beschrieben [31, 34, 35]. Jedoch ist nicht dokumentiert, ob dieser auf den psychischen Stress in der Ereignissituation oder auf den Ausfall medizinischer Grundversorgung zurückzuführen ist. Weitere mittelbare Gesundheitsfolgen durch erhöhte Exposition gegenüber Hitze, Kälte oder feuchten Räumen aufgrund inadäquater Unterkünfte werden

bisher nicht systematisch erfasst. Dabei kann es durch Schimmelpilzentwicklung in hochwasserbeschädigten Gebäuden zu Atemwegserkrankungen kommen [30, 36]. Schäden an Trink- und Abwasserinfrastruktur, sowie der Ausfall der Kühlschränke durch Stromausfälle können zu vermehrtem Auftreten lebensmittelbedingter Infektionen führen, deren Zusammenhang mit dem Klimawandel von Dietrich et al. [37] näher betrachtet wird. Vektor-assoziierte Krankheiten können nach Überschwemmungen zunehmen, wenn z. B. Nagetiere in Innenräumen Schutz suchen [38, 39]. Ein weiterer Beitrag dieses Sachstandsberichts widmet sich detailliert Vektor- und Nagetier-assoziierten Krankheiten infolge des Klimawandels [40]. Zudem kann der Verlust landwirtschaftlicher Flächen durch Überschwemmungen und Erosion die regionale Nahrungsmittelproduktion gefährden und die Verunreinigung durch Salzwasserintrusionen aufgrund von Sturmfluten kann die Trinkwassergewinnung beeinträchtigen [41].

Abbildung 3
Risikokaskaden, die durch Überschwemmungen, Starkregen und Stürme ausgelöst werden können.
 Pfeile kennzeichnen mögliche kausale Zusammenhänge zwischen Risiken, verstärkenden Faktoren und gesundheitlichen Folgen.
 Quelle: Eigene Darstellung



Für die detaillierte Analyse von Risikokaskaden fehlt bisher die notwendige Datenbasis.

Starkregen und Überschwemmungen können über Oberflächenabfluss, Mischwasserabschläge [42–44] und die Zerstörung der Abwasserinfrastruktur zum Eintrag von Schadstoffen und Keimen in Gewässer führen [41, 45]. Zudem können Schadstoffe, u. a. persistente organische Spurenstoffe (persistent organic pollutants, POPs), Schwermetalle, Pestizide, Radionuklide und Keime aus Sedimenten und belasteten Böden mobilisiert werden [29, 45]. Der Kontakt zu verunreinigtem Wasser birgt ein erhöhtes Risiko für Infektionen [29, 32], z. B. durch die Aufnahme von antibiotikaresistenten Bakterien [46]. In Halle (Saale) wurde 2013 nach einem Hochwasserereignis eine erhöhte Infektionszahl mit dem Parasit *Cryptosporidium hominis* bei Kindern festgestellt, die sich nach der Flut in Auen und Überschwemmungswiesen aufhielten [47].

Mittelfristige gesundheitliche Schäden können durch die Schadstoffexposition über die Luft, z. B. in kontaminierten Gebäuden, über Wasser und über die Nahrungsaufnahme hervorgerufen werden. Letztere sind eine Folge der Anreicherung von Schwermetallen und POPs z. B. in Ackerböden und Fischen [28, 29]. Unmittelbar dokumentierte Auswirkungen nach Überschwemmungen wie Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Atemwegs- und Hautreizungen konnten bisher jedoch nicht eindeutig einer erfassten erhöhten Exposition gegenüber halogenierten Pestiziden (d. h. organische Verbindungen, bei denen mindestens ein Wasserstoffatom durch Chlor, Fluor, Brom oder Iod ersetzt wurde), flüchtigen organischen Verbindungen oder Schwermetallen nach Überschwemmungsereignissen zugewiesen werden [45]. Problematisch ist bei der Abschätzung der Folgen die geringe Datenlage, v. a. hinsichtlich der Exposition vor und nach dem Ereignis und der zeitgleichen Er-

fassung von Symptomen. Neben den akuten gesundheitlichen Folgen ereignisbezogener Chemikalienexposition ist der Rückbezug der potenziellen chronischen Auswirkungen, die sich erst mehrere Monate nach dem Ereignis bemerkbar machen, besonders herausfordernd [45]. Dabei stehen viele anorganische und organische Schadstoffe im Verdacht kanzerogene, kardiovaskuläre, neuro-, leber-, immuno- oder reproduktionstoxische Auswirkungen hervorzurufen [29, 48]. Aufgrund der Vielzahl der Schadstoffe bestehen hier jedoch noch einige Forschungsdefizite.

Eine bedeutende Folge von Überschwemmungsereignissen ist die Beeinträchtigung der psychischen Gesundheit [49, 50]. Für Europa wurde ein Anstieg an posttraumatischen Belastungsstörungen (PTBS), Angststörungen und Depressionen bis hin zu Suiziden im Vergleich zu der Zeit vor einem Ereignis benannt [32, 50]. Diese Auswirkungen sind auch lange nach dem Ereignis zu beobachten [50]. Neben dem direkten traumatischen Erleben des Ereignisses sind die psychischen Gesundheitsfolgen auch auf materielle Verluste und den teils langwierigen Wiederaufbau zurückzuführen [51]. In einer Studie zu den Folgen der Hochwasser an Elbe und Donau 2013 korrelierte der Erfolg der Erholung negativ mit der Dauer bis zum Beginn des Erhalts von Kompensationszahlungen, der gesundheitlichen Konstitution, dem Finanzstatus und der Verpflichtung durch Eigentum. Angst und Sorge aufgrund eines (subjektiv wahrgenommenen) unzureichenden Hochwasserschutzes und den damit verbundenen Konsequenzen zukünftiger Ereignisse stellten ebenfalls negative Einflussfaktoren auf die Erholung dar [51].

In den letzten 20 Jahren wurden in Deutschland zwölf Flutereignisse in der EM-DAT Datenbank registriert [23].

Besonders verheerend waren die Flutkatastrophe in Westdeutschland im Juli 2021, sowie die Elbe-Hochwasser 2002 und 2013.

An der deutschen Nord- und Ostseeküste kommt es, vor allem im Winterhalbjahr, regelmäßig zu Sturmfluten. An der Nordsee gab es seit 1967 64 schwere Sturmfluten (> 2,50 m über mittlerem Hochwasser, MHW), davon 13 sehr schwere Sturmfluten (> 3,50 m ü. MHW) [52]. Jedoch wurde vielerorts ein wirkungsvoller Küstenschutz aufgebaut. Vor allem die Erfahrung der Sturmflut im Februar 1962 („Hamburger Sturmflut“) führte zu vermehrten Küstenschutzmaßnahmen in Deutschland [53], sodass die Schäden und gesundheitlichen Folgen nachfolgender, extremerer Ereignisse (z. B. 1976, 1990, 1994 und 2013 an der Nordsee sowie 1995 und 2006 an der Ostsee) stark reduziert wurden [53].

2.4 Risikokaskaden infolge von Stürmen

Großflächige Sturmereignisse treten in Deutschland auf, wenn große Tiefdruckwirbel – Zyklone – vom Atlantik kommend über Mitteleuropa ziehen. Sie können Winde von bis zu 200 km/h auslösen [54]. Zu den schwersten beobachteten Ereignissen der letzten Dekaden gehören die Orkane Lothar (1999), Jeanett (2002), Kyrill (2007) und Zeynep (2022). In der Datenbank EM-DAT sind für Deutschland seit 1900 insgesamt 63 Sturmereignisse dokumentiert, davon entfallen 33 auf die Jahre seit 2000 [23]. Die größten Schäden löste in den letzten beiden Dekaden 2007 das Sturmtief Kyrill aus. Aus den Vergangenheitsdaten lässt sich kein eindeutiger Trend hinsichtlich der Entwicklung von Sturmereignissen feststellen. Wenngleich keine gesi-

cherten Aussagen getätigt werden können, muss zukünftig mit einer Zunahme der Frequenz und Magnitude von Sturmereignissen gerechnet werden [54, 55]. Neben großflächigen Sturmereignissen treten in Deutschland zudem jährlich ca. 20–60 Tornados auf, die kleinräumig starke Schäden verursachen können [56].

Im globalen Vergleich ist Deutschland weniger von starken Sturmereignissen betroffen als Länder in den Tropen und Subtropen, in denen tropische Wirbelstürme regelmäßig mit hohen Windgeschwindigkeiten und Niederschlägen schwere Schäden auslösen. Dies spiegelt sich auch in der Literatur zu den gesundheitlichen Folgen von Stürmen wider. Insgesamt wurden 22 Review-Artikel zu gesundheitlichen Folgen von Stürmen identifiziert, von denen 14 zugänglich waren und für diesen Abschnitt ausgewertet wurden. Dabei wird deutlich, dass es in Bezug auf das Wissen über die gesundheitlichen Folgen von Extremwetter global sehr große Unterschiede gibt [34, 57]. Das Sturmereignis, dessen Folgen am eingehendsten analysiert wurden, ist der Hurricane Katrina (2005, Südosten der USA).

Die gesundheitlichen Folgen von Stürmen lassen sich in mittelbare und unmittelbare Folgen auf unterschiedlichen Ebenen gruppieren (Abbildung 3). Zu den unmittelbaren gesundheitlichen Folgen von Stürmen gehören Verletzungen, für die in zahlreichen Studien umfassende Daten vorliegen [34, 58]. Verletzungen treten aber auch mittelbar auf, wenn Rettungskräfte bei Aufräumarbeiten zu Schaden kommen, bei denen sie auch Vergiftungen erleiden können [58, 59]. Der Stress, dem Sturmopfer während des Ereignisses ausgesetzt sind, aber auch die durch das Ereignis ausgelöste Veränderung der Lebensumstände

(z. B. Obdach-, Arbeitslosigkeit) manifestieren sich mittelfristig in einem Anstieg nicht-übertragbarer Erkrankungen (non-communicable diseases, NCDs) [60]. Die Stresserfahrung führt auch zu langfristig beobachtbaren Entwicklungsverzögerungen bei Kindern, deren Mütter während der Schwangerschaft ein schweres Sturmereignis erlebt haben. Diese manifestieren sich allerdings auch unmittelbar durch nachgeburtliche Komplikationen und werden – vor allem im Entwicklungskontext – auch durch zeitweise erschwerten Zugang zu Nahrungsmitteln verstärkt [61–63].

Mittelbar ruft der Ausfall Kritischer Infrastruktur negative gesundheitliche Folgen hervor, z. B. einen Anstieg von Kohlenmonoxidvergiftungen, wenn während Stromausfällen mit Holz, Kohle oder Gas in Innenräumen gekocht wird [34, 58, 64]. Ausfälle von Wasserver- und -entsorgung können Infektionen begünstigen, häufig nimmt der ungeschützte Kontakt zu Tieren zu, deren Fäkalien Pathogene übertragen können, die Menschen aber auch durch Bisswunden verletzen können [34, 65]. Da häufig auch Einrichtungen des Gesundheitssystems während Sturmereignissen nicht zugänglich sind, können für Vorerkrankte kritische Situationen entstehen, zum Beispiel Patientinnen und Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (chronic obstructive pulmonary disease, COPD), die auf eine dauerhafte Sauerstoffversorgung angewiesen sind, oder dialysepflichtige Personen [60, 64]. Die akute Unterversorgung chronisch Erkrankter manifestiert sich auch in einer beobachteten dauerhaften Verschlechterung des Gesundheitszustandes [34, 60].

Schwere Sturmereignisse, wie z. B. Tropenstürme, zwingen Menschen zur Flucht. Das Zusammenleben in beengten Notunterkünften kann der Verbreitung von Infektions-

krankheiten Vorschub leisten [62]. Die Flucht, aber auch andere traumatische Ereignisse während des Sturmes können langfristige Folgen für die psychische Gesundheit, etwa PTBS, nach sich ziehen [62, 64, 66].

Der Verlust der öffentlichen Ordnung wirkt sich vor allem auf vulnerable Gruppen aus, neben Kindern und älteren Menschen [67] sind häufig Frauen besonderen Gefahren ausgesetzt (vgl. auch [Abschnitt 2.6 Vulnerable Gruppen und Betroffenheit](#)). In der Literatur finden sich auch Hinweise darauf, dass Frauen sexualisierte Gewalt erfahren, was weitere Belastungen nach sich zieht [61].

2.5 Risikokaskaden infolge von Dürren und Bränden

Bei Dürren wird nach Ursache und Folge zwischen drei unterschiedlichen Typen unterschieden:

(1) Meteorologische Dürre herrscht, wenn Niederschlagsarmut und hohe Temperaturen zusammentreffen. Aufgrund einer hohen potenziellen Verdunstung ergibt sich eine negative klimatische Wasserbilanz (typischer Indikator).

(2) Agrarische Dürre beschreibt den Trockenstress von landwirtschaftlichen Anbauprodukten aufgrund von Wassermangel im durchwurzelten Boden. Dieser stellt sich in unseren Breiten erst nach mehrwöchigen Trockenphasen ein. In Extremfällen kann es zu Ertragseinbußen oder gar Ernteaussfällen kommen.

(3) Hydrologische Dürre wird anhand von Pegelraten erfasst und ist das Ergebnis eines angespannten Landschaftswasserhaushalts. Auch hier sind lange und großräumige Trockenperioden ausschlaggebend.

Abgesehen von den unmittelbaren Wirkungen niedriger Wasserstände und Wasservolumina, z. B. auf die Trinkwas-

serverfügbarkeit, ergeben sich Auswirkungen auf die Wasserqualität und die Gefahr von Bränden. Zukunftsprojektionen zeigen, dass Dürren in Mitteleuropa im weiteren Verlauf des 21. Jahrhunderts an Frequenz, Magnitude und Dauer zunehmen könnten [6]. Niederschlagsarmut, hohe Temperaturen und vielfältige Nutzungsansprüche könnten insbesondere im Sommer und den Übergangsjahreszeiten zu zunehmendem Wasserstress führen.

Risikokaskaden infolge von Dürren können unterschiedliche gesundheitliche Folgen hervorrufen (Abbildung 4). In extremen Fällen führen sie zu Unter- bzw. Mangelernährung mit erhöhter Sterblichkeit bei vulnerablen Gruppen. Dies wird vor allem im Globalen Süden beobachtet [68]. Im Globalen Norden stellt die Versorgung mit Lebensmitteln und Trinkwasser derzeit eine geringe Gefahr dar und die ökonomischen Folgen dominieren.

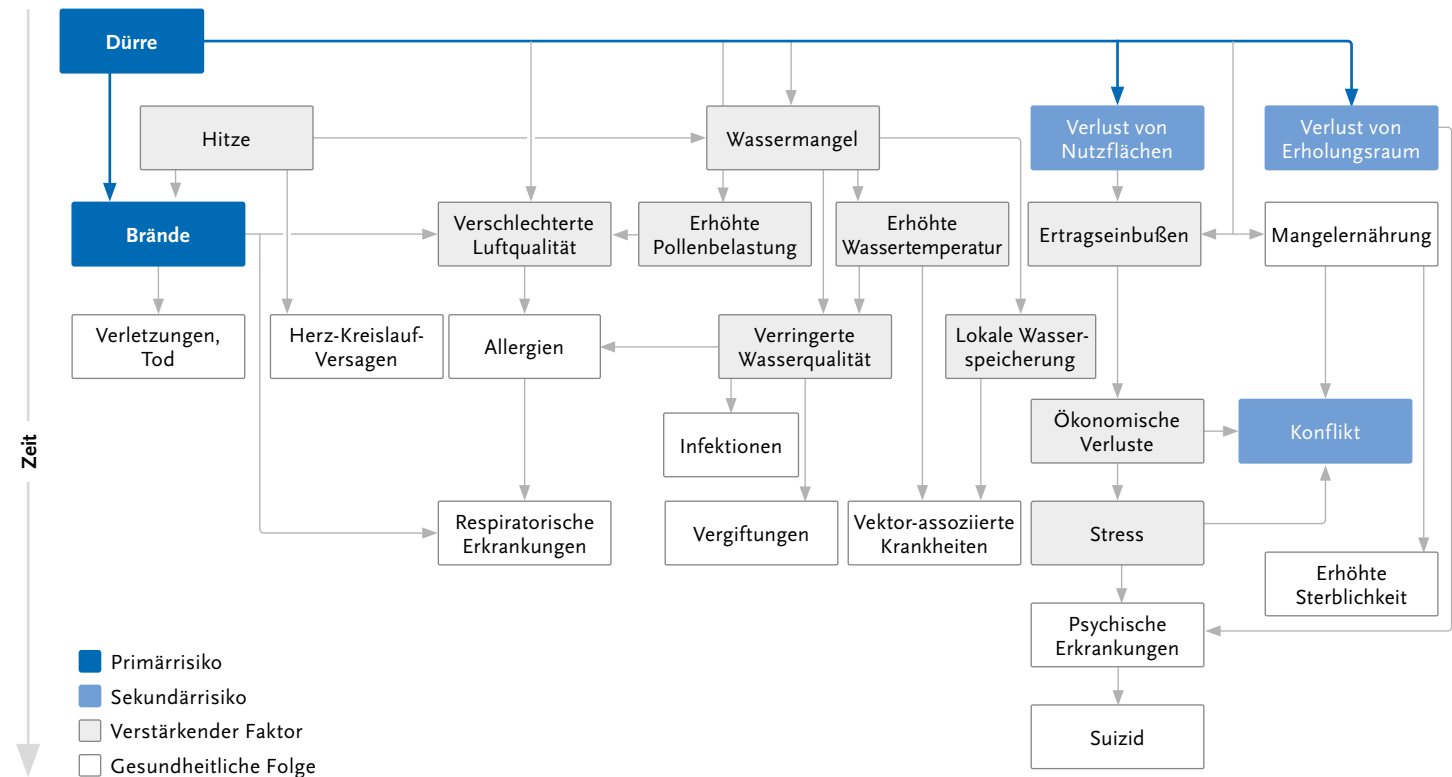
Meist gehen Dürren mit einer stabilen Wetterlage und damit einem verringerten Austausch von Luftmassen einher. Dadurch kommt es zu einer Anreicherung von Schadstoffen in der Atmosphäre und damit einer Verschlechterung der Luftqualität mit entsprechenden Folgen für die Gesundheit [69]. Im Rahmen dieses Sachstandsberichts werden die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels durch erhöhte Luftschadstoffbelastungen von Breitner-Busch et al. [70] näher betrachtet.

Den zunehmenden agrarischen Dürren, oft verbunden mit Hitzeperioden und starker Sonneneinstrahlung, sind die in der Landwirtschaft tätigen Personen besonders ausgesetzt, weshalb mögliche Gesundheitsgefährdungen wie Hitzschlag, Herz-Kreislauf-Versagen und Hautkrebs diese Personengruppe besonders betreffen [4, 71]. Die betriebswirtschaftlichen Unsicherheiten durch Dürren können auch

die psychische Gesundheit von Personen, die in der Land- und Forstwirtschaft arbeiten, beeinträchtigen und das Suizidrisiko erhöhen [72–75] (s. auch den Scoping Review von Gebhardt et al. [76] zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die psychische Gesundheit im Rahmen dieses Sachstandsberichts).

Niedrigwasser kann sich nachteilig auf die Wasserqualität auswirken. Durch das verringerte Wasservolumen und die höheren Verweilzeiten des Wassers erwärmt sich dieses stärker und Keime und Schadstoffe werden weniger verdünnt [77]. Hohe Wassertemperaturen und geringere Fließzeiten während sommerlicher Niedrigwasser werden mit dem Massenaufkommen von potenziell toxischem Phytoplankton (Algenblüte) in Verbindung gebracht, siehe hierzu auch einen Artikel zu wasserbürtigen Infektionen und Intoxikationen in diesem Sachstandsbericht [78]. Der direkte Kontakt mit kontaminiertem Wasser erfolgt durch berufliche Tätigkeiten im und am Wasser oder Freizeitaktivitäten, z. B. Wassersport. Für die Trinkwasserversorgung in Deutschland ist die verringerte Wasserqualität nur in speziellen Fällen ein potenzielles Risiko. Eine mögliche Zunahme von Leitwertüberschreitungen kann ressourcenaufwändigere Verfahren der Trinkwasseraufbereitung erfordern. Dies kann sich z. B. bei Uferfiltraten ergeben, wenn angereicherte Schadstoffe oder Toxine nicht ausreichend aus dem Wasser filtriert werden. In Trinkwassertalsperren können toxinbildende Cyanobakterienblüten die Aufbereitung des Wassers erschweren. Ein Kontakt mit dem verunreinigten Wasser kann zu gastrointestinalen Infektionen und Erkrankungen sowie zu zoonotischen und Vektor-assoziierten Krankheiten führen [69, 78]. Für den Kontakt mit Cyanotoxinen wurden zusätzlich Hautirritationen und respira-

Abbildung 4
Risikokaskaden, die durch Dürre und Brände ausgelöst werden können. Pfeile kennzeichnen mögliche kausale Zusammenhänge zwischen Risiken, verstärkenden Faktoren und gesundheitlichen Folgen.
Quelle: Eigene Darstellung



torische Erkrankungen berichtet, diese sind aber oft nicht eindeutig auf Cyanobakterienexposition zurückzuführen [79].

Mittelbar können Dürren zukünftig zu einer Ausbreitung von Vektor-assoziierten Krankheiten führen, wenn z. B. in Abwesenheit von Prädatoren (Raubtieren) eine starke Vermehrung von Stechmücken in Wasserlachen oder in Gefäßen zur Wasserspeicherung stattfindet [40, 80].

Dürren können auch als Teil von Verbundrisiken gesundheitliche Folgen auslösen, z. B. wenn Starkregenereignisse

während einer Dürrephase auftreten. Einerseits ist die Infiltration trockener Böden gehemmt, sodass es zu einem erhöhten oberflächlichen Direktabfluss und zu einer Erhöhung von Sturzflutgefahren und damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen kommen kann ([Abschnitt 2.3 Risikokaskaden infolge von Überschwemmungen, Starkregen und Sturmfluten](#)). Andererseits kann es durch Eintrag von Schadstoffen oder Keimen zu einer Verschlechterung der Wasserqualität kommen.

Sommerliche Dürren gehen häufig mit Hitzewellen einher. Dadurch sind wesentliche Rahmenbedingungen für das Entstehen von Bränden gegeben, die durch geringe Einflüsse ausgelöst werden können (z. B. durch Blitze oder unachtsames Verhalten der Bevölkerung), wodurch das Waldbrandrisiko steigt [81, 82]. Neben den klimatischen Veränderungen spielen auch andere Faktoren wie die Baumartenzusammensetzung (z. B. ein hoher Anteil an Nadelbäumen) eine Rolle [6]. Wald- und Buschbrände gefährden die physische Gesundheit von Betroffenen und Rettungskräften unmittelbar durch Verbrennungen, durch die Rauchentwicklung und die damit verbundenen Folgen für die Atemwege, aber auch durch Auswirkungen auf die psychische Gesundheit oder mittelbar durch die Beeinträchtigung der physischen Infrastruktur [83–85].

Nach dem extrem trockenen Jahr 1959 weisen vor allem die Jahre 2003, 2018, 2019, 2022 ein hohes Niederschlagsdefizit und Dürreperioden auf, wobei weitere regional wirksame Dürreereignisse hinzukommen [12, 14, 86]. Die mehrjährige Dürre von 2018–2020 stellt die gravierendste Dürre in Europa der letzten 250 Jahre dar [87].

In der EM-DAT Datenbank ist für Deutschland kein Dürreereignis gelistet [23] und in der jüngeren Vergangenheit gab es in Deutschland keine in der Literatur belegten unmittelbaren gesundheitlichen Auswirkungen einer Dürre. Die hydrologischen Dürren der letzten Jahre führten aber zu ausgeprägten Niedrigwassersituationen mit zu beobachtenden Verschlechterungen der Wasserqualität, z. B. durch massive Phytoplanktonblüten wie sie seit 2017 wiederkehrend an der Mosel und 2022 an der Oder zu beobachten waren.

Im Zeitraum zwischen 1991 und 2021 sind die Jahre 1991, 1992 und 2003 die mit der größten Anzahl an Waldbränden [88]. Bezogen auf die Fläche hat mit 4.900 Hektar in 1992 mit Abstand die meiste Fläche gebrannt, gefolgt von 2019 mit 2.700 Hektar und 2018 mit 2.300 Hektar [88]. Das Europäische Waldbrandinformationssystem (European Forest Fire Information System, EFFIS) geht für 2018 sogar von 3.600 Hektar aus und für 2022 von 4.300 Hektar [89]. In den besonders durch steigende Temperaturen und Dürren betroffenen Regionen im Osten Deutschlands und im Oberrheingebiet sind bis zur Mitte des Jahrhunderts im Mittel mehr als 40 Tage mit einer hohen oder sehr hohen Waldbrandgefahr möglich [6].

2.6 Vulnerable Gruppen und Betroffenheit

Die Betroffenheit durch Extremwetterereignisse unterscheidet sich regional und für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen. Die naturräumliche Ausstattung ist häufig die Vorbedingung für das Auftreten einzelner Ereignistypen. Sturmfluten sind ein Phänomen der Küsten- und Ästuarregionen (Mündungsbereiche großer Flüsse ins Meer). Hier treten auch besonders starke Winde auf, ebenso wie in exponierten Gebirgslagen des Binnenlandes. Sturmschäden können aber auch kleinräumig dort auftreten, wo die Anfälligkeit erhöht ist (z. B. Wälder, Städte, vulnerable Verkehrsinfrastrukturen – etwa Bahn-Oberleitungen). Flusshochwasser betreffen Gebiete entlang der Fließgewässer, Sturzfluten entfalten in stark reliefierten Gebieten besonderes Schadenspotenzial – extreme Starkregenereignisse aber können jeden Ort in Deutschland treffen.

Ein erhöhtes Risiko für Dürren und ihre potenziellen Folgen ist nicht direkt verortbar, aber es ergeben sich, je nach Dürretyp (agrarisches, hydrologisch), unterschiedliche Betroffenheiten. In Regionen und Jahreszeiten mit einem ohnehin angespannten Wasserhaushalt sind die Folgen deutlicher (z. B. Ostdeutschland) als in Regionen mit gewissen Reserven im System (z. B. Rheinland).

Vier Bevölkerungsgruppen sind aus unterschiedlichen Gründen besonders von den gesundheitlichen Folgen von Extremwetterereignissen betroffen:

(1) Kinder, ältere Menschen und Menschen mit körperlichen Einschränkungen – sie können sich evtl. nicht (mehr) selbstständig versorgen oder in Sicherheit bringen und die auftretenden körperlichen Belastungen können sie an ihre Grenzen bringen;

(2) Menschen mit geringem sozioökonomischen Status – sie sind Extremwetterereignissen häufiger unmittelbar ausgesetzt und haben oft geringere Bewältigungskapazitäten;

(3) Männer sind häufiger von den unmittelbaren Folgen betroffen (u. a. höhere Risikobereitschaft);

(4) für Frauen können spezifische Langzeitfolgen auftreten (z. B. Schwangerschaftskomplikationen).

Exemplarisch verdeutlichen die Opferzahlen der Überschwemmungen in Westdeutschland und Belgien im Juli 2021 diese sich überschneidenden Vulnerabilitäten: Unter den unmittelbaren Todesfällen (184) in RP und NW waren 138 Personen (75 %) älter als 60 Jahre (Bevölkerungsanteil in NW: 27 %) sowie 3 (1,6 %) Kinder unter 14 Jahren (Bevölkerungsanteil in NW: 13 %) [32, 90]. Das Verhältnis von Männern (65) und Frauen (70) unter den Todesopfern war in RP ausgeglichen, in NW starben etwa doppelt so viele

Männer (31) wie Frauen (18) [32]. Dies ist konsistent mit Quellen, die nahelegen, dass Männer seltener Schutzmaßnahmen ergreifen, z. B. Evakuierungen [91]. Das Geschlechterverhältnis in RP entspricht den Mustern bei Sturmfluten (1953, 1962). Das Verhältnis in NW entspricht eher dem Muster von Hochwasseropfern in Europa, USA und Australien [32]. Besonders betroffen waren Menschen mit körperlichen bzw. geistigen Einschränkungen: Zwölf Bewohnerinnen und Bewohner einer Pflegeeinrichtung starben in ihren überfluteten Wohnräumen [32].

Eine weitere vulnerable Gruppe sind die Einsatzkräfte. Sie sind großen körperlichen Gefahren ausgesetzt – durch Verletzungen, Vergiftungen und die große psychische Belastung. Die Vorbereitung auf Katastropheneinsätze und die nachsorgende Betreuung kann die Vulnerabilität dieser Gruppe reduzieren. Eine amerikanische Studie zu den gesundheitlichen Risiken bei Aufräumarbeiten nach Extremereignissen ergab, dass berufsbedingte Todesfälle im Median 36,5 Tage nach einem Sturm(flut)-Ereignis auftraten und am häufigsten bei Aufräumarbeiten (44 %), Wiederherstellungsarbeiten (26 %), Wiederherstellung öffentlicher Versorgungseinrichtungen (8 %) und Aufgaben der Sicherung/Polizei (6 %) [92]. Ebenso werden Tierbisse bei Rettungskräften und Tierhalterinnen und -haltern beschrieben [65].

3. Anpassungsmaßnahmen zur Erhöhung der Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen

Um die Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen zu erhöhen, lassen sich präventive Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen ergreifen. Dazu zählen sowohl Maßnahmen,

Neben staatlichen Stellen muss auch die Bevölkerung befähigt werden, im Katastrophenfall selbständig zur Krisenbewältigung beizutragen (Selbstschutz).

die verschiedene Ereignistypen adressieren, als auch ereignisspezifische Maßnahmen.

Der Selbstschutz ist ein wichtiges Element in der gesamtgesellschaftlichen Sicherheitsvorsorge. Da Rettungskräfte bei großflächigen Schadenslagen nicht überall gleichzeitig sein können oder ggf. auch selbst betroffen sein können und es somit einige Zeit dauern kann, bis staatliche Hilfe eintrifft, trägt eine Bevölkerung, die sich vorsorgend auf Notsituationen vorbereitet hat, entscheidend mit dazu bei, Notsituationen gemeinschaftlich zu bewältigen [93–95]. Soziale Netzwerke stellen dabei ein wichtiges Kapital für das Entstehen spontaner ziviler Katastrophenhilfe dar, die oftmals für die ersten Stunden nach einem Schadensereignis von großer Bedeutung ist [96]. Die Stärkung sozialer Netzwerke in Vereinen, kirchlichen Einrichtungen und durch verschiedene Formen ehrenamtlichen Engagements ist ein abstraktes und schwer zu erreichendes Ziel, aber dennoch wichtiger Baustein gesellschaftlicher Resilienz. In einem ersten Schritt müssen Politik und Gesellschaft die Wichtigkeit dieser Netzwerke für gesellschaftliche Resilienz erkennen, um diese Institutionen zu fördern.

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) bietet für verschiedene Gefahrenarten (z. B. zu Starkregen, Stürmen, Hitzewellen) eigene Themenseiten mit Handlungsempfehlungen auf seiner Internetpräsenz an [94, 97]. Ebenso ist eine rechtzeitige Risikokommunikation und Warnung der Bevölkerung unerlässlich, um gesundheitliche Folgen von Extremwetterereignissen zu minimieren. Hierzu wird in Deutschland ein Warnmittelmix (Sirene, Warn-Apps, Cell-Broadcast – Nachrichten an alle Mobilfunknutzer ausgewählter Funkzellen – etc.)

eingesetzt und stetig weiterentwickelt. Je früher die Bevölkerung gewarnt wird, desto eher kann sie sich auf das Ereignis vorbereiten und Vorsorgemaßnahmen treffen oder aus einem Gebiet evakuiert werden [95, 98, 99].

Die Sicherstellung der Wasserversorgung während und nach Extremwetterereignissen ist besonders wichtig. Hierfür können drei Verantwortungsbereiche benannt werden: Wasserversorgungsunternehmen (WVU) erstellen zur Aufrechterhaltung der Versorgung Maßnahmenpläne. Kann die Versorgung in einem Ereignisfall seitens WVU nicht mehr aufrechterhalten werden, können Kommunen (mit Unterstützung des Kreises oder des Bundeslandes) bei Ersatzversorgungsmaßnahmen helfen (z. B. temporäres Verlegen von Verbindungsleitungen). Hierfür stehen u. a. örtliche Katastrophenschutzbehörden des Kreises und der kreisfreien Städte zur Verfügung. Bei gestiegenem Ausmaß eines Versorgungsausfalls kann der Bund gemäß §12 Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz (ZSKG) einen Beitrag zur Ersatzversorgung (z. B. durch autarke Brunnen, Transportbehälter, mobile Aufbereitungsanlagen) leisten. Nach Überschwemmungs- oder während Dürreereignissen können Kommunen Abkochgebote aussprechen, damit Keime abgetötet werden und die Trinkwasserqualität sichergestellt wird [100].

Um Hochwasserrisiken und Schadenspotenziale in Deutschland und Europa zu beschreiben und diesbezügliche Maßnahmen zu bündeln, wurde am 26.11.2007 die Europäische Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie [101] in Kraft gesetzt und am 01.03.2010 in nationales Recht überführt. Ferner ist am 01.09.2021 der länderübergreifende Raumordnungsplan für den Hochwasserschutz in Kraft getreten [102]. Ebenso können Starkregengefahrenkarten

dazu beitragen, die Bevölkerung zu sensibilisieren oder erforderliche bauliche Maßnahmen zu ergreifen [103].

Um die besonders vulnerable Gruppe der Einsatzkräfte bei Waldbränden zu schützen und diese auf Einsätze vorzubereiten, hat der deutsche Feuerwehrverband eine Empfehlung zur Sicherheit und Taktik im Vegetationsbrandeinsatz herausgegeben [104]. Die Bevölkerung kann mit Informationstafeln, Flyern [81, 105] und weiteren Informationsangeboten wie dem Waldbrandgefahren- [106] und Graslandfeuerindex [107] des Deutschen Wetterdienstes (beide jeweils im Zeitraum März bis Oktober eines Jahres aktuell verfügbar) über Waldbrandgefahren und richtiges Verhalten informiert werden. Zusätzlich können zur Waldbrandprävention waldbauliche Maßnahmen umgesetzt werden, wie beispielsweise das Anlegen von Brandschutzstreifen oder das Erhöhen des Laubholzanteils in Nadelwäldern sowie eine Aufforstung mit Laub- statt Nadelbäumen [105]. Für die frühzeitige Erkennung und Bekämpfung von Waldbränden wird in Niedersachsen, Brandenburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Sachsen-Anhalt das Automatisierte Waldbrand-Früherkennungssystem (AWFS) verwendet [105, 108].

Einen politischen Rahmen, um die Resilienz Deutschlands gegenüber Extremwetterereignissen zu stärken, bilden Strategien, anhand derer Maßnahmen definiert und umgesetzt werden können, z. B. die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, die Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen sowie die Nationale Wasserstrategie [109–111].

4. Diskussion und Fazit

Es ist zu erwarten, dass Extremwetterereignisse, die bereits in der Vergangenheit substanzielle Gesundheitsrisiken für Deutschland mit sich brachten, aufgrund des Klimawandels zukünftig häufiger auftreten werden. Am deutlichsten ist die Evidenz für Hitzewellen, jedoch werden auch hydrologische Ereignisse (Starkregen, Überschwemmungen, Dürren) wahrscheinlich zunehmen. Für Stürme ist die Evidenz hingegen weniger eindeutig.

Eine zentrale Botschaft ist an dieser Stelle, dass Extremwetterereignisse nur dann Katastrophen auslösen können, wenn sie auf eine vulnerable Bevölkerung und/oder eine vulnerable Infrastruktur treffen. Auch wenn die Komplexität von Mensch-Umweltsystemen es unmöglich macht, alle Wechselwirkungen vorherzusehen, so kann durch Anpassungsmaßnahmen das Risiko erheblich reduziert werden. Viele Anpassungsmaßnahmen schützen dabei vor unterschiedlichen Risiken gleichzeitig. Neben planerischen Maßnahmen sind dies auch die Erhöhung der Selbstschutzzfähigkeit in der Bevölkerung durch Wissen und die Stärkung sozialer Netzwerke.

Das Gesundheitssystem muss in der Lage sein, auf unterschiedlichen zeitlichen Skalen auf Extremwetterereignisse zu reagieren. In Katastrophensituationen müssen Verletzungen und Vergiftungen vor Ort behandelt werden und es ist notwendig, die kontinuierliche Versorgung Vorerkrankter und Schwangerer sicherzustellen, um Langzeitfolgen zu minimieren. Bei der Organisation von Hilfsmaßnahmen ist es wichtig, vulnerable Gruppen und ihre Bedürfnisse in den Blick zu nehmen. Hierfür wäre es z. B. wichtig zu erfassen, wo Menschen leben, die sich in einem

Verschiedene Bestandteile des Risikomanagements von Extremwetterereignissen müssen aufgrund des Klimawandels überprüft und ggf. angepasst werden.

Katastrophenfall nicht selbst in Sicherheit bringen können. Mittel- und langfristig ist die Wiederherstellung der psychischen Gesundheit wichtig, auch hierfür müssen im Gesundheitssystem Ressourcen vorgehalten werden. Das bedeutet auch, dass die Schaffung von Kapazitäten, um auf die hier skizzierten Herausforderungen kurz-, mittel- und langfristig reagieren zu können, Bestandteil der Anpassung an den Klimawandel sein muss. Dies betrifft neben dem Katastrophenschutz auch das Gesundheitssystem, in dem notwendige Reservekapazitäten geschaffen und dauerhaft vorgehalten werden müssen.

Eine Schwierigkeit bei der Erfassung der gesundheitlichen Folgen von Extremwetterereignissen ist die oft unzureichende Datenlage – sowohl was die Ereignisse selbst angeht als auch die gesundheitlichen Folgen. Vor allem die mittelbaren Folgen, die sich über Risikokaskaden entfalten, werden nicht systematisch erfasst. Für ein zukünftig verbessertes Risikomanagement wäre die Schaffung einer Datenbank mit vergleichbaren Fallstudien eine wichtige Wissensbasis. Diese sollte die angesprochenen unterschiedlichen Arten von Daten und Wissen integrieren – von meteorologischen Beobachtungen bis hin zu Beschreibungen des Ereignisses durch die Bevölkerung – und es ermöglichen, kaskadierende Wirkungsketten auch in Zahlen zu fassen.

Mit Blick auf die vorliegenden Kenntnisse zu den zukünftigen Entwicklungen ist es für alle Akteurinnen und Akteure empfehlenswert, bestehende Schutzniveaus zu prüfen. Behörden, Gesundheitssystem, Zivilgesellschaft und Bürgerinnen und Bürger müssen sich der Verschiebung von Risiken bewusst sein und innerhalb ihrer Handlungsspielräume eine aktive Anpassung betreiben. Dabei

müssen insbesondere vulnerable Gruppen, die sich nicht selbst helfen können, beachtet werden. Der gesellschaftliche Umgang mit veränderten Risiken wird in den nächsten Dekaden große Herausforderungen mit sich bringen. Dazu gehört auch die Aushandlung von Verantwortlichkeiten für Vorsorge und Schadensbewältigung. Ein wichtiger Schlüssel zur Förderung gesellschaftlicher Resilienz ist in diesem Zusammenhang die Befähigung zum Selbstschutz – individuell und in sozialen Verbänden.

Korrespondenzadresse

PD Dr. Carsten Butsch
Geographisches Institut der Universität Bonn
Meckenheimer Allee 166
53115 Bonn
E-Mail: butschc@uni-bonn.de

Zitierweise

Butsch C, Beckers LM, Nilson E, Frassl M, Brennholt N et al. (2023) Gesundheitliche Auswirkungen von Extremwetterereignissen – Risikokaskaden im anthropogenen Klimawandel. *J Health Monit* 8(S4): 35–60. DOI 10.25646/11646

Die englische Version des Artikels ist verfügbar unter: www.rki.de/jhealthmonit-en

Förderungshinweis

Liza-Marie Beckers arbeitet im BMDV-Expertenetzwerk, welches durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gefördert wird.

Die Koordination der Publikation erfolgte im Rahmen des Projekts KlimGesundAkt, das durch das Bundesministerium für Gesundheit gefördert wird (Kapitel 1504; Titel 54401 HJ2021; Laufzeit 07/2021–06/2024).

Interessenkonflikt

Die Autorinnen und Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung

Das RKI-Koordinationssteam des Projekts KlimGesundAkt dankt Sophie Gepp, Elke Hertig, Claudia Hornberg, Tanja-Maria Kessel, Andreas Matzarakis, Odile Mekel, Susanne Moebus, Jonas Schmidt-Chanasit, Alexandra Schneider, Klaus Stark, Wolfgang Straff und Maïke Voss für die beratende Tätigkeit in der projektbegleitenden Fachgruppe.

Literatur

- IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pörtner HO, Roberts DC, Tignor M et al. (Hrsg) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/ (Stand: 22.05.2023)
- Broska LH, Poganietz W, Vögele S (2020) Extreme events defined – A conceptual discussion applying a complex systems approach. *Futures* 115:102490
- McPhillips LE, Chang H, Chester MV et al. (2018) Defining extreme events: A cross-disciplinary review. *Earth's Future* 6(3):441–455
- Winklmayr C, Matthies-Wiesler F, Muthers S et al. (2023) Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. *J Health Monit* 8(S4):3–34. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 06.09.2023)
- IPCC (2012) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field CB, Barros V, Stocker TF et al. (Hrsg) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/ (Stand: 23.05.2023)
- Kahlenborn W, Porst L, Voß M et al. (2021) Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 (Kurzfassung). Umweltbundesamt (Hrsg) Climate Change, Vol 26/2021. www.umweltbundesamt.de/publikationen/kwra-Zusammenfassung (Stand: 29.05.2023)
- Hertig E, Hunger I, Kaspar-Ott I et al. (2023) Klimawandel und Public Health in Deutschland – Eine Einführung in den Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023. *J Health Monit* 8(S3):7–35. <https://edoc.rki.de/handle/176904/11074> (Stand: 19.06.2023)
- IPCC (2021) Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A et al. (Hrsg) Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag von Arbeitsgruppe I zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimänderungen. www.de-ipcc.de/media/content/AR6-WGI-SPM_deutsch_barrierefrei.pdf (Stand: 22.05.2023)
- World Meteorological Organization (2017) WMO guidelines on the calculation of climate normals. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20130 (Stand: 25.05.2023)
- Deutscher Wetterdienst (2022) Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2021. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach am Main. www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2021.html (Stand: 29.05.2023)
- Vautard R, van Aalst M, Boucher O et al. (2020) Human contribution to the record-breaking June and July 2019 heatwaves in Western Europe. *Environ Res Lett* 15(9):094077
- Deutscher Wetterdienst (2022) Deutscher Klimaatlas. www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.htm (Stand: 22.05.2023)
- Deutscher Wetterdienst (2022) CDC – Climate Data Center. <https://cdc.dwd.de/portal> (Stand: 22.12.2022)
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (2021) Die Niedrigwassersequenz der Jahre 2015 bis 2018 in Deutschland – Analyse, Einordnung und Auswirkungen. Mitteilungen Nr 35. BfG, Koblenz. https://doi.bafg.de/BfG/2020/BfG_Mitteilungen_35_2021.pdf (Stand: 29.05.2023)

15. Die Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Elbe (2021) Hochwasser-
risikomanagementplan für den deutschen Teil der Flussgebiets-
einheit Elbe für den Zeitraum von 2021 bis 2027 gemäß § 75
WHG. FGG Elbe, Magdeburg.
[www.fgg-elbe.de/hwrm-rl/hwrm-plan.html?file=files/Downloads/
HWRM_RL/ber/hwrmp_2021/HWRM-Plan_FGG_Elbe_2021.pdf](http://www.fgg-elbe.de/hwrm-rl/hwrm-plan.html?file=files/Downloads/HWRM_RL/ber/hwrmp_2021/HWRM-Plan_FGG_Elbe_2021.pdf)
(Stand: 29.05.2023)
16. Norddeutsches Küsten- und Klimabüro, Helmholtz-Zentrum
Hereon (2022) Sturmflut Monitor.
<https://sturmflut-monitor.de/> (Stand: 22.12.2022)
17. Deutscher Wetterdienst, Extremwetterkongress Hamburg (2021)
Was wir heute über das Extremwetter in Deutschland wissen.
DWD und Extremwetterkongress Hamburg.
[www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/210922/
Faktenpapier-Extremwetterkongress.html](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/210922/Faktenpapier-Extremwetterkongress.html) (Stand: 29.05.2023)
18. Kreienkamp F, Philip SY, Tradowsky JS et al. (2021) Rapid attri-
bution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in
Western Europe during July 2021. World Weather Attribution.
[www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-
report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf](http://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf)
(Stand: 29.05.2023)
19. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2015) Sendai
framework for disaster risk reduction 2015–2030. UNISDR,
Geneva, Switzerland.
[www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-
reduction-2015-2030](http://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030) (Stand: 29.05.2023)
20. Pescaroli G, Alexander D (2018) Understanding compound, inter-
connected, interacting, and cascading risks: A holistic framework.
Risk Anal 38(11):2245–2257
21. Shimizu M, Clark A (2015) Interconnected risks, cascading
disasters and disaster management policy: A gap analysis.
Planet@Risk 3(2):260–270
22. Butsch C, Kraas F, Namperumal S et al. (2016) Risk governance
in the megacity Mumbai/India – A complex adaptive system
perspective. *Habitat Int* 54(Part 2):100–111
23. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters –
CRED (2022) EM-DAT, the International Disaster Database.
<https://public.emdat.be> (Stand: 11.11.2022)
24. European Environment Agency (2017) Climate change, impacts
and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report. EEA
Report No 1/2017. EEA, Copenhagen.
[www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-
vulnerability-2016/at_download/file](http://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016/at_download/file) (Stand: 29.05.2023)
25. Sen A (1983) Poverty and famines: An essay on entitlement and
deprivation. Oxford University Press, Oxford
26. Coronese M, Lamperti F, Keller K et al. (2019) Evidence for sharp
increase in the economic damages of extreme natural disasters.
Proc Natl Acad Sci U S A 116(43):21450–21455
27. European Commission Joint Research Centre (2018) Europe
needs coastal adaptation measures to avoid catastrophic flooding
by the end of the century. News announcement 13.08.2018.
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/
europe-needs-coastal-adaptation-measures-avoid-catastrophic-
flooding-end-century-2018-08-13_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/europe-needs-coastal-adaptation-measures-avoid-catastrophic-flooding-end-century-2018-08-13_en) (Stand: 29.05.2023)
28. Yari A, Ostadtaghizadeh A, Ardalan A et al. (2020) Risk factors
of death from flood: Findings of a systematic review. *J Environ
Health Sci Eng* 18(2):1643–1653
29. Crawford SE, Brinkmann M, Ouellet JD et al. (2022) Remobiliza-
tion of pollutants during extreme flood events poses severe risks
to human and environmental health. *J Hazard Mater* 421:126691
30. Umweltbundesamt (2021) Schadstoffe in Böden nach
Hochwasserereignissen. UBA, Dessau-Roßlau.
[www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/
dokumente/20210812_factsheet_schadstoffe_in_boeden_nach_
hochwasser_final.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/20210812_factsheet_schadstoffe_in_boeden_nach_hochwasser_final.pdf) (Stand: 29.05.2023)
31. Ebi KL, Vanos J, Baldwin JW et al. (2021) Extreme weather
and climate change: Population health and health system
implications. *Annu Rev Public Health* 42:293–315
32. Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (2022) Die
Flutkatastrophe im Juli 2021 in Deutschland. Ein Jahr danach:
Aufarbeitung und erste Lehren für die Zukunft. DKKV-
Schriftenreihe Nr 62. DKKV, Bonn.
[https://dkkv.org/wp-content/uploads/2023/02/DKKV_
Schriftenreihe_Juli_2022_Webversion_-_2te_Version_August3.
pdf](https://dkkv.org/wp-content/uploads/2023/02/DKKV_Schriftenreihe_Juli_2022_Webversion_-_2te_Version_August3.pdf) (Stand: 29.05.2023)
33. Guihenneuc J, Ayraud-Thevenot S, Roschnik S et al. (2023)
Climate change and health care facilities: A risk analysis frame-
work through a mapping review. *Environ Res* 216(Pt 3):114709

34. Saulnier DD, Brolin Ribacke K, von Schreeb J (2017) No calm after the storm: A systematic review of human health following flood and storm disasters. *Prehosp Disaster Med* 32(5):568–579
35. Gautam S, Menachem J, Srivastav SK et al. (2009) Effect of hurricane Katrina on the incidence of acute coronary syndrome at a primary angioplasty center in New Orleans. *Disaster Med Public Health Prep* 3(3):144–150
36. Barbeau DN, Grimsley LF, White LE et al. (2010) Mold exposure and health effects following hurricanes Katrina and Rita. *Annu Rev Public Health* 31:165–178
37. Dietrich J, Hammerl JA, John A et al. (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf lebensmittelbedingte Infektionen und Intoxikationen. *J Health Monit* 8(S3):85–101. <https://edoc.rki.de/handle/176904/11076> (Stand: 19.06.2023)
38. Bell JE, Brown CL, Conlon K et al. (2018) Changes in extreme events and the potenzial impacts on human health. *J Air Waste Manag Assoc* 68(4):265–287
39. Mavrouli M, Mavroulis S, Lekkas E et al. (2022) Infectious diseases associated with hydrometeorological hazards in Europe: Disaster risk reduction in the context of the climate crisis and the ongoing COVID-19 pandemic. *Int J Environ Res Public Health* 19(16):10206
40. Beermann S, Dobler G, Faber M et al. (2023) Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Vektor- und Nagetier-assoziierte Infektionskrankheiten. *J Health Monit* 8(S3):36–66. <https://edoc.rki.de/handle/176904/11075> (Stand: 19.06.2023)
41. Lane K, Charles-Guzman K, Wheeler K et al. (2013) Health effects of coastal storms and flooding in urban areas: A review and vulnerability assessment. *J Environ Public Health* 2013:913064
42. Launay MA, Dittmer U, Steinmetz H (2016) Organic micropollutants discharged by combined sewer overflows – Characterisation of pollutant sources and stormwater-related processes. *Water Res* 104:82–92
43. Beckers LM, Busch W, Krauss M et al. (2018) Characterization and risk assessment of seasonal and weather dynamics in organic pollutant mixtures from discharge of a separate sewer system. *Water Res* 135:122–133
44. Madoux-Humery AS, Dorner S, Sauvé S et al. (2013) Temporal variability of combined sewer overflow contaminants: Evaluation of wastewater micropollutants as tracers of fecal contamination. *Water Res* 47(13):4370–4382
45. Euripidou E, Murray V (2004) Public health impacts of floods and chemical contamination. *J Public Health (Oxf)* 26(4):376–383
46. Yu P, Zaleski A, Li Q et al. (2018) Elevated levels of pathogenic indicator bacteria and antibiotic resistance genes after hurricane Harvey's flooding in Houston. *Environ Sci Technol Lett* 5(8):481–486
47. Gertler M, Dürr M, Renner P et al. (2015) Outbreak of *Cryptosporidium hominis* following river flooding in the city of Halle (Saale), Germany, August 2013. *BMC Infect Dis* 15:88
48. Münzel T, Hahad O, Daiber A et al. (2023) Soil and water pollution and human health: What should cardiologists worry about? *Cardiovasc Res* 119(2):440–449
49. Palinkas LA, Wong M (2020) Global climate change and mental health. *Curr Opin Psychol* 32:12–16
50. Weilhammer V, Schmid J, Mittermeier I et al. (2021) Extreme weather events in Europe and their health consequences – A systematic review. *Int J Hyg Environ Health* 233:113688
51. Bubeck P, Thieken AH (2018) What helps people recover from floods? Insights from a survey among flood-affected residents in Germany. *Reg Environ Change* 18(1):287–296
52. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2023) Sturmfluten – Berichte zu Sturmfluten und extremen Wasserständen. www.bsh.de/DE/THEMEN/Wasserstand_und_Gezeiten/Sturmfluten/sturmfluten_node.html (Stand: 08.05.2023)
53. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (2016) A primer on flood protection – Protecting property and building wisely. www.bbsr.bund.de/BBSR/EN/publications/ministries/BMUB/issues/2016-primer-flood-protection.html (Stand: 22.05.2023)
54. Pinto J, Reyers M (2017) Winde und Zyklonen. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg) *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S. 67–75
55. Kandarr J (2019) Das richtige Verhalten bei Tornados. *Earth Systems Knowledge Platform* 6 (4. März). www.eskp.de/naturgefahren/das-richtige-verhalten-bei-tornados-9351030/ (Stand: 29.05.2023)

56. Deutscher Wetterdienst (2022) Unberechenbare Naturgewalt. Achtung: Tornado. DWD, Offenbach. www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/presse/tornado_pdf.html (Stand: 29.05.2023)
57. Dresser C, Hart A, Kwok-Keung Law A et al. (2022) Where are people dying in disasters, and where is it being studied? A mapping review of scientific articles on tropical cyclone mortality in English and Chinese. *Prehosp Disaster Med* 37(3):409–416
58. Diaz JH (2006) Global climate changes, natural disasters, and travel health risks. *J Travel Med* 13(6):361–372
59. Johanning E, Auger P, Morey PR et al. (2014) Review of health hazards and prevention measures for response and recovery workers and volunteers after natural disasters, flooding, and water damage: Mold and dampness. *Environ Health Prev Med* 19(2):93–99
60. Babaie J, Pashaei Asl Y, Naghipour B et al. (2021) Cardiovascular diseases in natural disasters; a systematic review. *Arch Acad Emerg Med* 9(1):e36
61. Harville E, Xiong X, Buekens P (2010) Disasters and perinatal health: A systematic review. *Obstet Gynecol Surv* 65(11):713–728
62. Jang S, Ekyalongo Y, Kim H (2021) Systematic review of displacement and health impact from natural disasters in Southeast Asia. *Disaster Med Public Health Prep* 15(1):105–114
63. King S, Dancause K, Turcotte-Tremblay AM et al. (2012) Using natural disasters to study the effects of prenatal maternal stress on child health and development. *Birth Defects Res C Embryo Today* 96(4):273–288
64. Casey JA, Fukurai M, Hernández D et al. (2020) Power outages and community health: A narrative review. *Curr Environ Health Rep* 7(4):371–383
65. Warner GS (2010) Increased incidence of domestic animal bites following a disaster due to natural hazards. *Prehosp Disaster Med* 25(2):188–190
66. Sharpe I, Davison CM (2021) Climate change, climate-related disasters and mental disorder in low- and middle-income countries: A scoping review. *BMJ Open* 11(10):e051908
67. Gamble JL, Hurley BJ, Schultz PA et al. (2013) Climate change and older Americans: State of the science. *Environ Health Perspect* 121(1):15–22
68. Stanke C, Kerac M, Prudhomme C et al. (2013) Health effects of drought: A systematic review of the evidence. *PLoS Curr* 5:ecurrents.dis.7a2cee9e80f91ad7697b570bcc4b004
69. Salvador C, Nieto R, Linares C et al. (2020) Effects of droughts on health: Diagnosis, repercussion, and adaptation in vulnerable regions under climate change. Challenges for future research. *Sci Total Environ* 703:134912
70. Breitner-Busch S, Mücke HG, Schneider A et al. (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch erhöhte Luftschadstoffbelastungen der Außenluft. *J Health Monit* 8(S4):111–131. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 06.09.2023)
71. Baldermann C, Laschewski G, Groöß J (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch veränderte UV-Strahlung. *J Health Monit* 8(S4):61–81. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 06.09.2023)
72. Cianconi P, Betrò S, Janiri L (2020) The impact of climate change on mental health: A systematic descriptive review. *Front Psychiatry* 11:74
73. Berry HL, Hogan A, Owen J et al. (2011) Climate change and farmers' mental health: Risks and responses. *Asia Pac J Public Health* 23(2 Suppl):119S–32
74. Ellis NR, Albrecht GA (2017) Climate change threats to family farmers' sense of place and mental wellbeing: A case study from the Western Australian wheatbelt. *Soc Sci Med* 175:161–168
75. Padhy SK, Sarkar S, Panigrahi M et al. (2015) Mental health effects of climate change. *Indian J Occup Environ Med* 19(1):3–7
76. Gebhardt N, van Bronswijk K, Bunz M et al. (2023) Scoping Review zu Klimawandel und psychischer Gesundheit in Deutschland – Direkte und indirekte Auswirkungen, vulnerable Gruppen, Resilienzfaktoren. *J Health Monit* 8(S4):132–161. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 06.09.2023)
77. Mosley LM (2015) Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth Sci Rev* 140:203–214
78. Dupke S, Buchholz U, Fastner J et al. (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf wasserbürtige Infektionen und Intoxikationen. *J Health Monit* 8(S3):67–84. <https://edoc.rki.de/handle/176904/11077> (Stand: 19.06.2023)

79. Chorus I, Welker M (Hrsg) (2021) Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva.
80. Brown L, Medlock J, Murray V (2014) Impact of drought on vector-borne diseases--how does one manage the risk? *Public Health* 128(1):29–37
81. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2022) Waldbrand. Schützen Sie Ihren Wald. BBK, Bonn. www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Flyer/flyer_waldbrand.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Stand: 13.12.2022)
82. Köhl M, Plugge D, Gutsch M et al. (2017) Wald und Forstwirtschaft. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg) Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S. 193–201
83. Kollanus V, Prank M, Gens A et al. (2017) Mortality due to vegetation fire-originated PM_{2.5} exposure in Europe – Assessment for the years 2005 and 2008. *Environ Health Perspect* 125(1):30–37
84. Xu R, Yu P, Abramson MJ et al. (2020) Wildfires, global climate change, and human health. *N Engl J Med* 383(22):2173–2181
85. van Daalen KR, Romanello M, Rocklöv J et al. (2022) The 2022 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change: Towards a climate resilient future. *Lancet Public Health* 7(11):e942–e965
86. UFZ Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (2022) Dürren in Deutschland. Dürreintensitäten in der Vegetationsperiode April bis Oktober. www.ufz.de/index.php?de=47252 (Stand: 12.12.2022)
87. Rakovec O, Samaniego L, Hari V et al. (2022) The 2018–2020 multi-year drought sets a new benchmark in Europe. *Earth's Future* 10(3):e2021EF002394
88. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2022) Waldbrände und ihre Ursachen. BMEL. www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/SJT-7011300-0000.xlsx. (Stand: 08.12.2022)
89. European Commission (2022) EFFIS – European Forest Fire Information System. <https://effis.jrc.ec.europa.eu/> (Stand: 12.12.2022)
90. Bund-Länder Demografieportal (2023) Altersstruktur der Bevölkerung in Nordrhein-Westfalen. www.demografie-portal.de/DE/Fakten/bevoelkerung-altersstruktur-nordrhein-westfalen.html (Stand: 12.04.2023)
91. Thompson RR, Garfin DR, Silver RC (2017) Evacuation from natural disasters: A systematic review of the literature. *Risk Anal* 37(4):812–839
92. Fayard GM (2009) Fatal work injuries involving natural disasters, 1992–2006. *Disaster Med Public Health Prep* 3(4):201–209
93. Ministerium des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen (2015) Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz (BHKG). https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=61120160624160758031 (Stand: 22.12.2022)
94. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2019) Ratgeber für Notfallvorsorge und richtiges Handeln in Notsituationen. BBK. www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Buergerinformationen/Ratgeber/ratgeber-notfallvorsorge.pdf?__blob=publicationFile&v=15 (Stand: 29.05.2023)
95. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2019) Klimawandel – Herausforderungen für den Bevölkerungsschutz. Band 5 – Praxis im Bevölkerungsschutz. BBK. www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/PiB/PiB-05-klimawandel.pdf?__blob=publicationFile&v=11 (Stand: 22.12.2022)
96. Twigg J, Mosel I (2017) Emergent groups and spontaneous volunteers in urban disaster response. *Environ Urban* 29(2):443–458
97. Fischer B (2019) Verstärkte Naturgefahren durch den Klimawandel wirken auf Gebäude. BBK Bevölkerungsschutz (Klimawandel und Bevölkerungsschutz) 2019(2):21–24
98. Rahn M, Tomczyk S, Schmidt S (2020) Bekanntheit und Nutzung von Warnmitteln in Deutschland. BBK Bevölkerungsschutz (Warnung der Bevölkerung) 2020(3):21–23

99. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bundesamt für Risikobewertung (2022) Risikokommunikation. Ein Handbuch für die Praxis. BBK, BfR, Bonn.
www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Risikomanagement/handbuch-risikokommunikation.pdf?__blob=publicationFile&v=3
(Stand: 22.12.2022)
100. Wienand I, Broß L, Lübbers N et al. (2020) Sichere Wasserversorgung? Erhöhung der Resilienz durch Maßnahmen des Risiko- und Krisenmanagements. BBK Bevölkerungsschutz (Resilienz) 2020(1):20–23
101. Europäische Union (2007) Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-DE/TXT/?from=DE&uri=CELEX%3A32007L0060> (Stand: 14.08.2023)
102. Bundesministerium des Innern und für Heimat (2021) Anlage zur Verordnung über die Raumordnung im Bund für einen länderübergreifenden Hochwasserschutz (BRPHV). In: Bundesministerium für Justiz (Hrsg) Anlageband zum Bundesgesetzblatt Teil I Nr 57 vom 25. August 2021 G5702
103. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2022) Land Nordrhein-Westfalen, Starkregengefahrenhinweise.
https://geoportal.de/Info/tk_04-starkregengefahrenhinweise-nrw
(Stand: 12.12.2022)
104. Deutscher Feuerwehrverband (2020) DFV-Empfehlung: Sicherheit und Taktik im Vegetationsbrandeinsatz. DFV, Berlin.
www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2020/06/DFV-FE_Vegetationsbrand_2020.pdf (Stand: 22.12.2022)
105. Niedersächsische Landesforsten (2023) Spezialseite Waldbrand.
www.landesforsten.de/nlf-spezial/waldbrand/
(Stand: 08.02.2023)
106. Deutscher Wetterdienst (2022) Waldbrandgefahrenindex.
www.dwd.de/DE/leistungen/waldbrandgef/waldbrandgef.html?nn=16102 (Stand: 13.12.2022)
107. Deutscher Wetterdienst (2022) Graslandfeuerindex.
www.dwd.de/DE/leistungen/graslandfi/graslandfi.html?nn=16102 (Stand: 13.12.2022)
108. Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz (2023) Wissenswertes: Waldbrand-Früherkennung.
www.kiwuh.de/service/wissenswertes/wissenswertes/waldbrand-frueherkennung (Stand: 23.03.2023)
109. Die Bundesregierung (2008) Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel.
www.bmu.de/download/deutsche-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel (Stand: 22.05.2023)
110. Die Bundesregierung (2022) Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen. Umsetzung des Sendai Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge (2015–2030) – Der Beitrag Deutschlands 2022–2030.
www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/BMI22017-resilienz-katastrophen.pdf (Stand: 22.12.2022)
111. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2022) Nationale Wasserstrategie. Regierungsentwurf vom 25.11.2022.
www.bmu.de/download/regierungsentwurf-nationale-wasserstrategie (Stand: 22.12.2022)

Impressum

Journal of Health Monitoring

www.rki.de/jhealthmonit

Herausgeber

Robert Koch-Institut
Nordufer 20
13353 Berlin

Redaktion

Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring
Fachgebiet Gesundheitsberichterstattung
General-Pape-Str. 62–66
12101 Berlin
Tel.: 030-18 754-3400
E-Mail: healthmonitoring@rki.de

Verantwortlicher Redakteur

Dr. Thomas Ziese
Stellvertretung: Dr. Anke-Christine Saß

Redakteurinnen

Johanna Gutsche, Dr. Birte Hintzpeter, Dr. Kirsten Kelleher,
Dr. Livia Ryl, Simone Stimm

Satz

WEBERSUPIRAN.berlin, Alexander Krönke

Bildnachweis

Illustration auf Titel und Marginalspalte:
© elenabsl – stock.adobe.com

ISSN 2511-2708

Hinweis

Inhalte externer Beiträge spiegeln nicht notwendigerweise die
Meinung des Robert Koch-Instituts wider.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0
International Lizenz.



**Das Robert Koch-Institut ist ein Bundesinstitut im
Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Gesundheit**