

Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“

Schadenswirkungen von Überschwemmungen und Sturzfluten sowie Hitze und Dürre

Ein Vergleich der Extremereignistypen



Quelle: © iStock - Marc Bruxelle



Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“

Schadenswirkungen von Überschwemmungen und Sturzfluten sowie Hitze und Dürre

Ein Vergleich der Extremereignistypen

Von

Dr. Jan Trenczek, Prognos AG
Oliver Lühr, Prognos AG
Lukas Eiserbeck, Prognos AG
Viktoria Leuschner, Prognos AG

Studie im Auftrag des

Bundesministerium für Wirtschaft
und Klimaschutz

Stand:

29. Juni 2022

Erstellt durch:

Prognos AG

Werdener Straße 4
D-40227 Düsseldorf

Ansprechpartner:

Dr. Jan Trenczek

Tel. +49 – 162 988 2483

E-Mail: jan.trenczek@prognos.com

prognos

Wir geben Orientierung.

In Kooperation mit:

**Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW)
(Gesamtprojektleitung)**

Potsdamer Straße 105
D-10785 Berlin



| i | ö | w

INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Ansprechpartnerin:

Dr. Alexandra Dehnhardt

Tel. +49 – 30 – 884 594 29

E-Mail: alexandra.dehnhardt@ioew.de

und

**Gesellschaft für Wirtschaftliche
Strukturforschung mbH (GWS)**

Heinrichstraße 30
D-49080 Osnabrück

GWS

SPECIALISTS IN
EMPIRICAL ECONOMIC
RESEARCH

Ansprechpartner:

Dr. Markus Flaute

Tel. +49 – 541 – 40933295

E-Mail: flaute@gws-os.com

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	4
1 Einleitung und Hintergrund	5
2 Vergleich der Entstehung und Wirkungskanäle der Extremereignistypen	7
2.1 Entstehung der den Extremereignissen zugrundeliegenden Wetterlagen	7
2.1.1 Entstehung und Fortgang der Hitze- und Dürreextreme 2018 und 2019	7
2.1.2 Entstehung und Fortgang der Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021	8
2.1.3 Vergleich der Ereignishergänge und Attribution auf den Klimawandel	8
2.2 Wesentliche Schadenswirkungen der Extremereignistypen	9
2.2.1 Schadenswirkungen von Sturzfluten und Überschwemmungen	10
2.2.2 Schadenswirkungen von Hitze- und Dürreereignissen	11
2.2.3 Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Wechselwirkungen der Schadenswirkungen	12
3 Vergleich der Schadensaufkommen und -strukturen	14
3.1 Schäden durch Hitze und Dürre in den Sommern 2018/2019	14
3.2 Schäden durch die Sturzflut und Überschwemmungen im Juli 2021	15
3.3 Zusammenfassung und Vergleich	17
Quellenverzeichnis	20
Impressum	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung der extremwetterbezogenen Schäden in Deutschland seit 2018	5
Abbildung 2:	Darstellung der relevantesten Schadenswirkungen von Hochwasserereignissen	10
Abbildung 3:	Darstellung der relevantesten Schadenswirkungen von Hitze- und Dürreereignissen	12
Abbildung 4:	Übersicht über die Zusammensetzung der Gesamtschäden der Hitze- und Dürresommer 2018 und 2019 (Mrd. €)	14
Abbildung 5:	Aufteilung der monetären direkten und indirekten Gesamtschäden der Sturzflut und Überschwemmungen des Juli 2021 auf die DAS-Handlungsfelder (Mrd. €)	16
Abbildung 6:	Vergleich der Gesamtschäden der Ereignisse nach den DAS-Handlungsfeldern (Mrd. €)	17
Abbildung 7:	Verteilung der Todesfälle durch Hitze in den Jahren 2018/2019 und die Sturzflut und Überschwemmungen in 2021	19

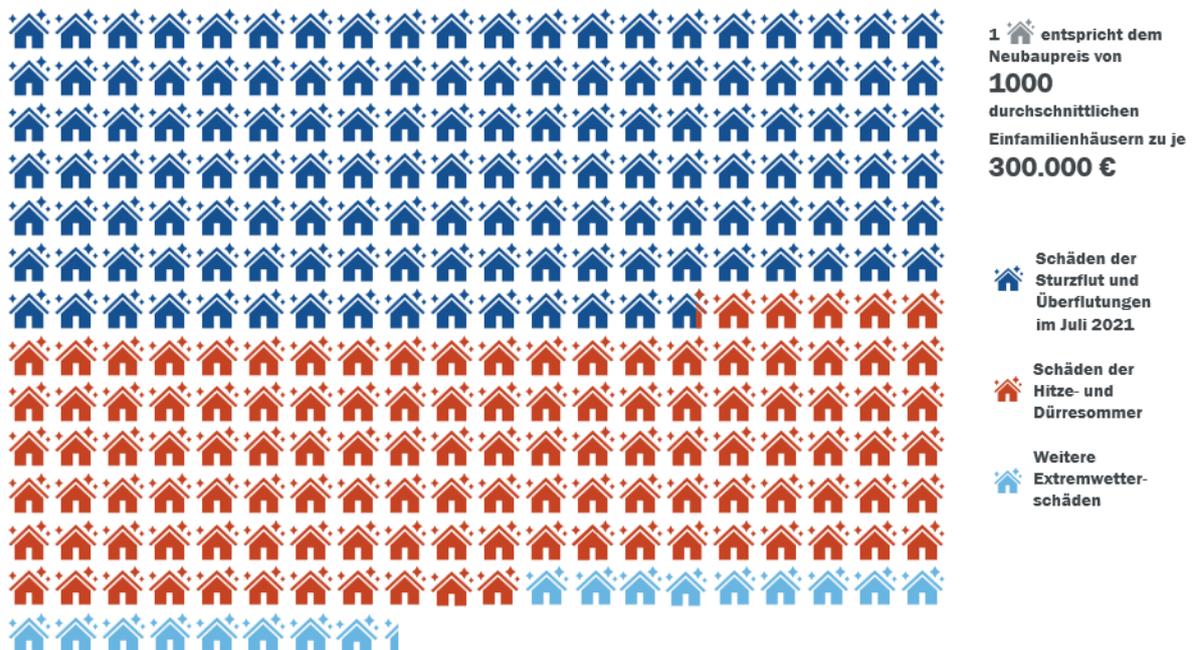
Abkürzungsverzeichnis

BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CEDIM	Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DWD	Deutscher Wetterdienst
UBA	Umweltbundesamt
UFZ	Helmholtz Zentrum für Umweltforschung
WWA	World Weather Attribution

1 Einleitung und Hintergrund

Die außergewöhnlich heißen und trockenen Sommer 2018 und 2019 sowie die verheerenden Sturzfluten u.a. an Ahr und Erft im Juli 2021 haben erneut deutlich gemacht: Extremwetterereignisse passieren nicht nur fernab in der Welt, auch Deutschland ist betroffen. Die vorliegenden Untersuchungen aus dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz beauftragten Projekt „Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland“ zeigen, dass so zwischen 2000 und 2021 in Deutschland **im Schnitt jährlich 6,6 Mrd. € an Schäden** entstanden sind (Trenczek et al. 2022c). Die allein seit dem Jahr 2018 durch Extremwetter angefallene Schadenssumme beträgt **über 80 Mrd. €**, was in etwa einem **Neupreis von über 266.000 Einfamilienhäusern entspricht** (siehe Abbildung 1). Hierbei handelt es sich lediglich um einen Teil der aufgetretenen Schäden, da manche Schäden grundsätzlich nicht monetarisierbar sind, andere Schäden zwar theoretisch monetarisierbar wären, derzeit aber keine geeigneten Datengrundlagen oder Methoden zu ihrer Abschätzung vorliegen. **Die tatsächliche Schadenshöhe liegt daher noch über der genannten Summe.** Ein Großteil der Schäden entstand dabei durch Extremwetterereignisse, für die der **Einfluss des voranschreitenden menschengemachten Klimawandels belegt ist.**

Abbildung 1: Schematische Darstellung der erfassten extremwetterbezogenen Schäden in Deutschland der Jahre 2018 bis 2021



Eigene Darstellung, Prognos AG. Ein Piktogramm entspricht dem Neubaupreis von 1.000 durchschnittlichen Einfamilienhäusern in Deutschland (zu je ca. 300.000 €).

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, einen grundlegenden Vergleich der beiden Ereignistypen, Hitze und Dürre einerseits und Sturzfluten und Überschwemmungen andererseits, die für den Großteil der Schäden seit 2018 verantwortlich waren, anzustellen. Konkret konzentriert sich die Untersuchung auf die beiden Ereignisse:

- **Hitze und Dürre der Sommer 2018 und 2019**
- **Sturzfluten und Überschwemmungen aus dem Juli 2021**

Neben der Untersuchung der allgemeinen meteorologischen bzw. klimatischen Entstehungsweise der beiden Extremereignistypen erfolgt hierzu auf Basis der vom Umweltbundesamt (UBA) entwickelten Klimawirkungsketten (UBA, 2016) eine Exploration der Schadenswirkungen der Ereignisse. So sollen anschließend ereignisspezifische Handlungserfordernisse ableitbar sein, bzw. die von mehreren potenziellen Ereignissen stark betroffenen Handlungsfelder identifiziert werden können. Anschließend erfolgt ein Vergleich der konkreten, im Nachgang der Ereignisse ermittelten Schadensaufkommen, differenziert nach den wichtigsten Handlungsfeldern der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS).

Auf Basis dieser Erkenntnisse wird eine Einordnung beider Ereignistypen unter besonderer Berücksichtigung von Vulnerabilitätsspezifika, bspw. besonderer regionaler Betroffenheiten oder vulnerabler Gruppen, vorgenommen.

2 Vergleich der Entstehung und Wirkungskanäle der Extremereignistypen

2.1 Entstehung der den Extremereignissen zugrundeliegenden Wetterlagen

Um die beiden Ereignistypen miteinander vergleichen zu können, wird im ersten Schritt eine Kurzdarstellung der meteorologischen bzw. geo- und topografischen Grundlagen der Ereignisse aufbereitet. Anschließend wird der bisherige Stand der Attributionsforschung, der den Zusammenhang zwischen den beiden Ereignissen mit dem menschengemachten Klimawandel beschreibt, wiedergegeben.

2.1.1 Entstehung und Fortgang der Hitze- und Dürreextreme 2018 und 2019

Die Dürrejahre 2018 und 2019 waren **zwei sich langfristig entwickelnde und verstärkende Ereignisjahre** (Bastos et al., 2020). So wurde die Basis der sommerlichen Dürre des Jahres 2018 durch fehlende bzw. stark unterdurchschnittliche Niederschläge bereits im Frühjahr und Frühsommer gelegt. Im Mittel kam es zwischen Februar und August 2018 zu nur etwa 60 % der üblichen Regenmengen in Deutschland (CEDIM, 2018; DWD, 2018b). Für das gesamte Jahr 2018 weisen Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) eine Niederschlagsmenge von weniger als 75% gegenüber dem Bezugszeitraum 1961-1990 aus (DWD, 2019d), wodurch es zu einem der niederschlagsärmsten Jahre seit 1881 (DWD, 2018a) wurde. Diese stark unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen hatten auch Auswirkungen auf die Dürresituation des Jahres 2019. Das Niederschlagsdefizit konnte im Frühling 2019 nicht ausgeglichen werden (DWD, 2019d) und bereits ab April begann eine neue Dürrephase, in der teilweise nur 60% der üblichen Niederschläge fielen (DWD, 2019a). In der Folge wurden über den Sommer insbesondere in den neuen Bundesländern sowie in Nordrhein-Westfalen die niedrigsten Bodenfeuchten seit Beginn der Messungen 1961 verzeichnet (DWD, 2019d; DWD, 2019a).

Zusätzlich zu den Dürreereignissen stellte sich in beiden Jahren eine **sommerliche Hitzewelle von extremem Ausmaß** ein: So wurden 2018 die ersten Tage mit Temperaturen von über 30 °C bereits im April gemessen. Auch der Zeitraum von Mai bis Juni war überdurchschnittlich warm, wobei eine Großwetterlage Ende Juli mit subtropisch heißer Luft eine weitere Hitzewelle mit sich brachte. In Deutschland traten (im Gebietsmittel) 2018 ca. 20 Hitzetage mit einer Maximaltemperatur von mindestens 30 Grad auf, was in etwa dem Doppelten des Durchschnitts der Jahre 2010 bis 2019 entspricht (DWD, 2020a). Auch der Sommer 2019 war bundesweit außergewöhnlich heiß. Zwar war der Frühling etwas kühler als im Vorjahr, dafür gab es den wärmsten Juni seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (DWD, 2019e). Während der extremen Hitzewelle vom 24. bis zum 26. Juli wurden in Deutschland jeden Tag Temperaturen von über 40 °C gemessen (DWD, 2019a; DWD, 2019b). An 14 Stationen wurde der Spitzenwert von 40,3 °C in Kitzingen aus dem Jahr 2015 überschritten. In Duisburg und Tönisvorst in Nordrhein-Westfalen wurde ein neuer nationaler Hitzerekord mit 41,2 °C aufgestellt (DWD, 2020b). Insgesamt gab es im Jahr 2019 im Gebietsmittel jedoch mit ca. 17 Hitzetagen weniger flächendeckende Hitzetage als im Jahr 2018.

2.1.2 Entstehung und Fortgang der Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021

Mitte Juli 2021 kam es an mehreren Orten in West- und Mitteleuropa großflächig über mehrere Tage zu anhaltenden und wiederkehrenden Starkniederschlägen. Besonders betroffen waren hier Teile der Bundesländer **Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz** in Deutschland. Aber auch in Sachsen und Bayern sowie in Regionen in Belgien, Frankreich, den Niederlanden oder Luxemburg traten teils massive Überschwemmungen auf, ausgelöst durch das Tiefdruckgebiet Bernd.

In Westdeutschland erreichten die Niederschlagsmengen ihren Tageshöchstwert am 14. Juli 2021. **Innerhalb von 24 Stunden wurden Regenmengen von bis zu 150 Liter pro Quadratmeter in Teilen von Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen gemessen.** Im gesamten Einzugsgebiet der Ahr fielen pro Quadratmeter fast 95 Liter Regen. Zur Einordnung: Seit 1990 fielen in diesem Gebiet im Durchschnitt im gesamten Monat Juli keine 70 Liter. Im Indetal wurden im Mittel sogar Niederschlagssummen von 101 Litern und im Erfttal von 117 Litern verzeichnet. Insgesamt trat somit über ganze Flusseinzugsgebiete betrachtet innerhalb weniger Stunden oder Tage das 1,5 bis 2,0-fache des mittleren Niederschlages im Juli der letzten drei Dekaden auf (DWD, 2021).

Zwar waren die extremen Niederschlagsmengen die Hauptursache für die Sturzfluten und Hochwasser. Gleichwohl trugen weitere Faktoren zum Ausmaß der Überflutung bei. So spielte die zu diesem Zeitpunkt vorherrschende Bodenfeuchtesituation bei Hochwassersituationen eine wichtige Bedeutung. Prinzipiell sind Böden in der Lage einen Teil des Niederschlags aufzunehmen. Allerdings war ganz Deutschland in den Wochen zuvor bereits von wiederkehrenden Niederschlagsereignissen geprägt, die die Böden regional bereits gut gefüllt haben. Überschwemmungen und Sturzfluten sind somit **Folge einer Kombination aus heftigen lokalen Niederschlägen und Böden, die Niederschlagsmenge nicht mehr aufnehmen können** (CEDIM, 2021). Zu Letzterem trugen auch eine dichte Bebauung bzw. großflächige Versiegelung sowie das Auslassen von Retentionsflächen bei. Darüber hinaus spielte auch noch das besondere Höhenprofil der Region, vor allem in Rheinland-Pfalz, mit seinen engen Tälern und steilen Hängen eine Rolle: Die größten Niederschlagsmengen entfielen zwar auf höhergelegene Bereiche, sammelten sich jedoch und wurden teils in den engen Flusstälern kanalisiert.

Mit anhaltender Niederschlagstätigkeit traten auch mittlere und größere Flüsse wie Ahr, Emscher, Erft, Kyll, Lippe, Prüm, Ruhr, Rur, Sieg und Wupper über die Ufer. **So lag der Pegel der Ahr bei Altenahr, bevor die Messinstrumente flutbedingt ausfielen, bei mindestens 5,05 Metern und übertraf damit den bisherigen Höchstpegel aus dem Jahr 2016 um mehr als 1,3 Meter** (CEDIM, 2021). Basierend auf Modellrechnungen wird von einem Pegelstand bis zu 8 Metern ausgegangen. Durch die extremen Abflüsse der Wassermassen an den genannten Flüssen entwickelte sich in der Folge eine ausgedehnte Hochwassersituation von der Eifel (Rheinland-Pfalz) über das Rheinland und dem Ruhrgebiet bis hin nach Südwestfalen (Nordrhein-Westfalen).

2.1.3 Vergleich der Ereignishergänge und Attribution auf den Klimawandel

In der Gesamtschau zeigt sich, dass ein großflächiges Dürreereignis in der 2018 und vor allem 2019 beobachtbaren Intensität einen sehr langen Entstehungszeitraum besitzt, in dem zahlreiche Faktoren zusammenspielen müssen. So ist die hydrologische Beschaffenheit der Böden nicht nur von Jahr zu Jahr relevant, sondern kann sich auch auf die folgenden Jahre auswirken. Die beobachtbaren Hitzewellen der Jahre 2018 und 2019, die in ihrer Gesamtheit für die extremen Hitzejahre sorgten, sowie die Sturzflut des Juli 2021 sind durch Ähnlichkeiten hinsichtlich des **meteorologischen Hergangs** gekennzeichnet:

Der sich (als Folge der beginnenden Klimawandelbedingten Temperaturangleichung zwischen Äquator und den Polen) abschwächende Jetstream sorgt unter bestimmten Bedingungen dafür, dass sich Hoch- (im Fall der Hitzeereignisse) und Tiefdruckgebiete (im Fall der Sturzflut) langsamer fortbewegen, somit länger über einem Ort verweilen und zu extremeren Auswirkungen führen (Stendel et al., 2021).

Das Abschwächen des Jetstreams ist eine Folge des Klimawandels, der somit in einem direkten Zusammenhang mit den Intensitäten der Ereignistypen steht. Für die konkret zu untersuchenden Ereignisse ist dieser Zusammenhang empirisch belegt worden. So findet die Attributionsforschung eine **deutliche Evidenz für die klimawandelbedingte Steigerung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Hitzewellen** (WWA, 2019a; WWA, 2019b). Untersuchungen der World Weather Attribution zeigen, dass die Hitzewellen, wie sie im Juli 2019 u.a. in Frankreich auftraten, ohne den Klimawandel eine Wiederkehrzeit von über 1000 Jahren hätten, diese sich jedoch durch den menschengemachten Klimawandel auf ca. 50 bis 150 Jahre verkürzte. Ähnliche Analysen zeigen den gleichen statistischen Zusammenhang auch für Deutschland (WWA, 2019a). Zusätzlich konnte für Deutschland auch eine allgemein steigende Intensität und Häufigkeit von Dürreereignissen nachgewiesen werden (Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ), 2021). Für den Untersuchungszeitraum 2018 und 2019 gibt es sowohl für Gesamteuropa (Garcia-Herrera et al., 2019; Acosta-Navarro et al., 2019) als auch für Deutschland (WWA, 2019a) Aussagen dazu, dass die **Dürreereignisse durch den Klimawandel verstärkt wurden**. Untersuchungen zeigten darüber hinaus, dass es in Europa seit dem Jahr 1766 keine zwei aufeinanderfolgenden Jahre mit solchen Hitze- und Dürreextremen gab (Hari et al., 2020).

Darüber hinaus war das Starkregenereignis 2021 von einer außergewöhnlich großen räumlichen Ausdehnung gekennzeichnet, die sich von Belgien bis nach Nordhessen mit teilweisen Auswirkungen und Schäden sogar in Bayern und Sachsen erstreckte (Kreienkamp et al., 2021). Häufig treten Starkregenereignisse eher in kleinräumig fokussierten Gebieten auf.

Während die Forschung im Bereich der Attribution von Hitze- und Dürreereignissen bereits zahlreiche Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Extremereignissen herstellen konnte, ist die Attribution von Starkregenereignissen für Deutschland noch ein vergleichsweise neues Feld. Für verschiedene andere Regionen der Welt konnte der Zusammenhang bereits hergestellt werden, so zum Beispiel in Frankreich (van Oldenborgh et al., 2016), Großbritannien (Schaller et al., 2016; van Oldenborgh et al., 2015) und Texas (WWA, 2019c). **Erstmals konnte jedoch auch für Deutschland im Nachgang des Starkregenereignisses an Ahr und Erft ein Zusammenhang mit dem Klimawandel hergestellt werden**, wenngleich die Autorinnen und Autoren darauf hinweisen, dass die Studie aufgrund des extrem seltenen Auftretens eines solchen Ereignisses an die Grenzen der Attributionsforschung stößt (Kreienkamp et al., 2021).

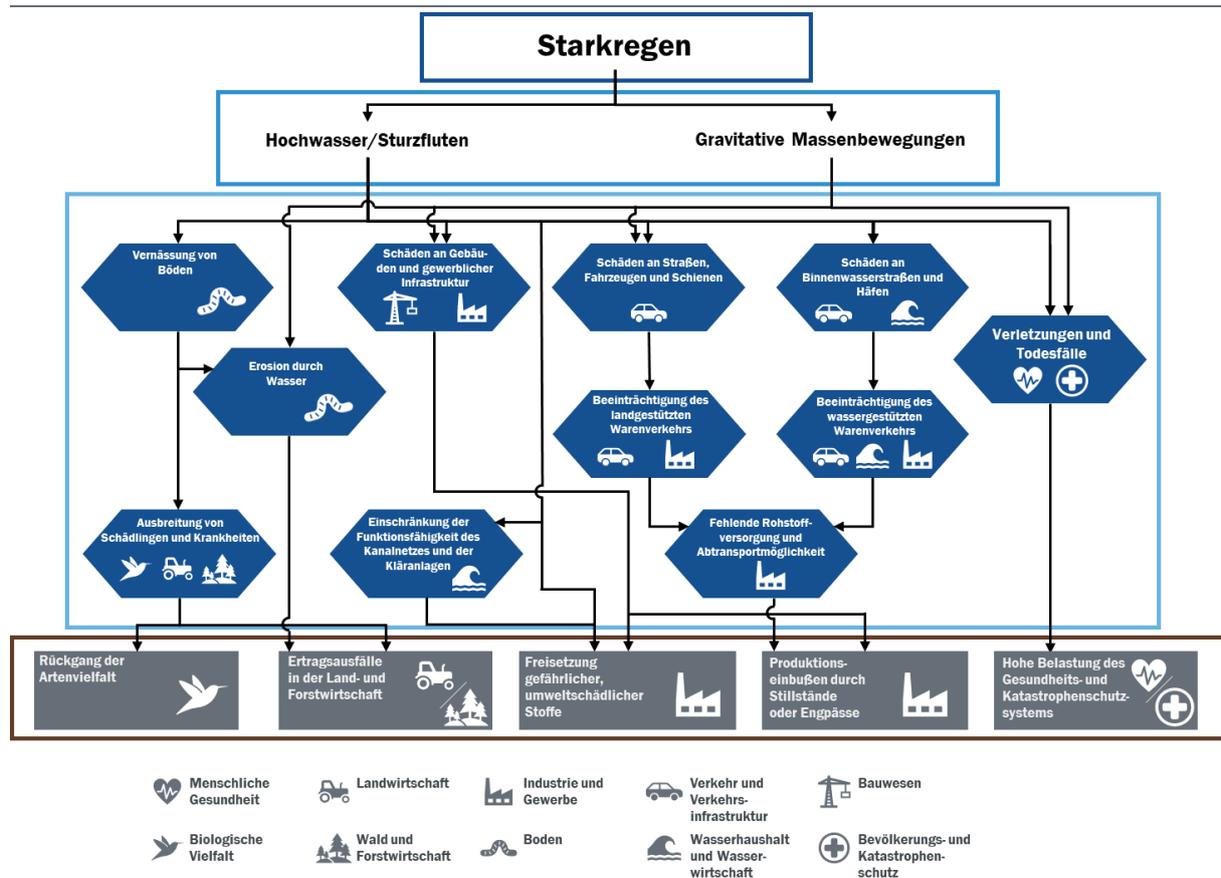
2.2 Wesentliche Schadenswirkungen der Extremereignistypen

Die beiden Extremereignistypen können als komplementär zueinander angesehen werden: Während die Schadensursache einer Sturzflut bzw. einer Überschwemmung in der Überlastung von Böden sowie Infrastrukturen durch **zu viel Wasser in einem kurzen Zeitraum** liegt, entstehen Dürren durch die Belastung von Böden und Infrastrukturen durch **zu wenig Wasser über einen langen Zeitraum** (wobei die Sonneneinstrahlung bzw. Temperatur eine wichtige Rolle spielt). Im Folgenden werden die bestehenden Klimawirkungsketten des UBA (UBA, 2016) auf die relevantesten Wirkungsbeziehungen von Starkregen- sowie Hitze- bzw. Dürreereignissen heruntergebrochen und exploriert, um im Anschluss Aussagen zu Gemeinsamkeiten und Unterschieden treffen zu können.

2.2.1 Schadenswirkungen von Sturzfluten und Überschwemmungen

Ein Starkregenereignis als Klimasignal erster Ordnung führt insbesondere durch zwei Folgewirkungen zu extremen Schäden vor allem an Gebäuden und Infrastrukturen sowie in weiteren Handlungsfeldern der DAS: Einerseits entstehen durch fehlende bzw. überlastete Abflussmöglichkeiten für den Niederschlag **Sturzfluten und Überschwemmungen**, andererseits können (insbesondere in Hanglagen) starke Niederschläge mit **Erdbeben, Schlammlawinen oder sich ins Tal ergießenden Wassermassen** verbunden sein (siehe Abbildung 2). In beiden Fällen sind Schäden in vielen Bereichen der DAS die Folge: Besonders betroffen sind hier die Handlungsfelder **Verkehr und Verkehrsinfrastruktur** sowie **Industrie und Gewerbe** aber auch das **Bauwesen**. Durch Schäden an Fahrzeugen, aber insbesondere auch an Straßen und Schienenverbindungen, die oftmals eine lange Zeit zur Reparatur bzw. Schadensbeseitigung benötigen, kommt es zu Beeinträchtigungen im Warenverkehr und in der Folge zu Disruptionen in den regionalen Lieferketten. Diese können auch mehrere Wochen bzw. Monate nach dem Ereignis noch fortbestehen und so zu einem extremen Schadensmaß durch höhere Transportkosten oder Produktionsstillstände führen. Zusätzlich sind (in Abhängigkeit von der geografischen Lage) nach einem Hochwasserereignis oftmals auch die Binnenwasserstraßen nicht bzw. nur eingeschränkt befahrbar, was ebenfalls zu Disruptionen in den Lieferketten führen kann.

Abbildung 2: Darstellung der relevantesten Schadenswirkungen von Hochwasserereignissen



Eigene Darstellung nach UBA (2016)

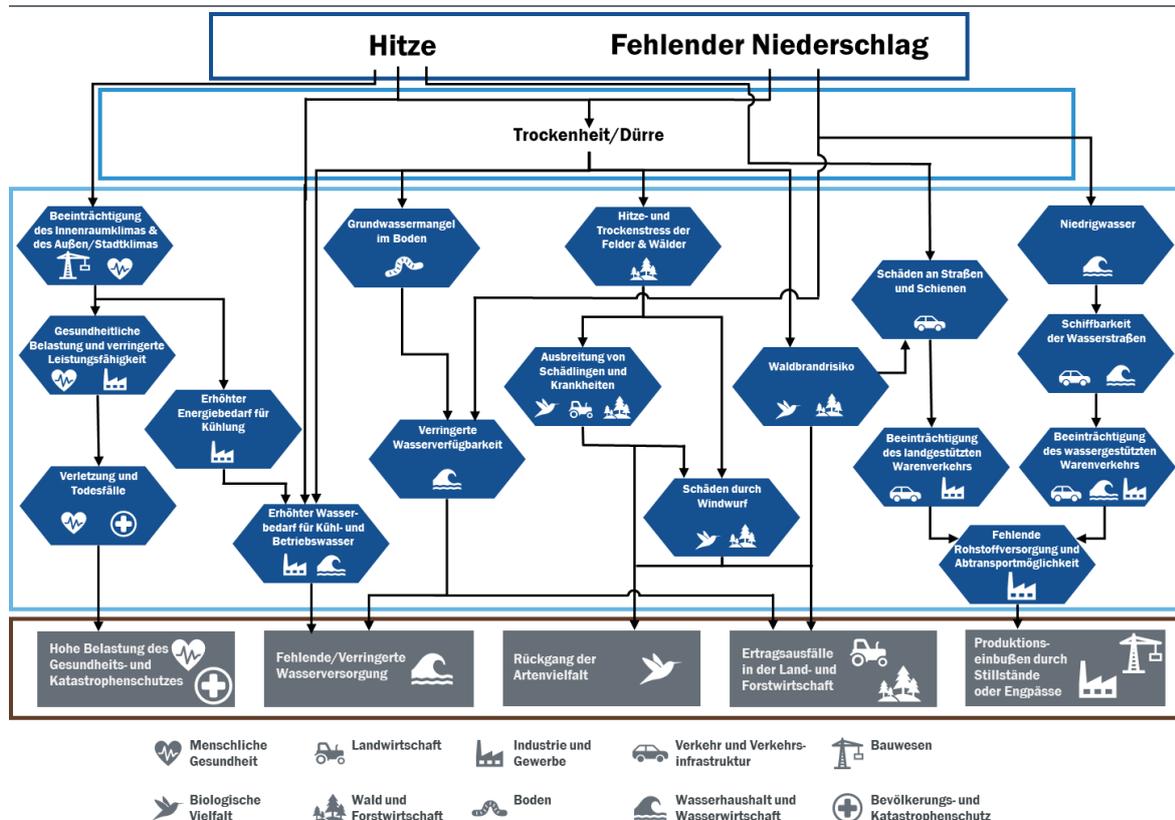
Sind Produktionsstätten direkt von den Auswirkungen eines Hochwassers betroffen, so besteht die Gefahr der Freisetzung von umweltschädlichen Stoffen, die kostenintensiv entfernt werden müssen bzw. große Schäden an den flussabwärts gelegenen Ökosystemen oder der allgemeinen Wasserversorgung anrichten können. Insbesondere, da nach extremen Niederschlägen das allgemeine Kanalisationsnetz und die Abwasserinfrastruktur überlastet ist, kann eine solche Freisetzung noch größere Schäden nach sich ziehen.

Darüber hinaus sind auch die flächenbezogenen Handlungsfelder **Boden, Landwirtschaft, sowie Wald- und Forstwirtschaft** von potenziellen Schäden eines Starkregenereignisses betroffen: Die Vernässung von Böden erhöht die Gefahr der Erosion, die wiederum eine Massenbewegung (s.o.) nach sich ziehen kann. Somit gehen wertvolle Böden verloren und es kommt auf den betroffenen Flächen zu Ertragsausfällen für die Landwirtschaft. Darüber hinaus kann die Vernässung von Böden bzw. die allgemeine Staunässe nach einem Hochwasser in den nicht an diese gewöhnten Ökosystemen durch die Ausbreitung von Krankheiten bzw. Schädlingen (bspw. Schimmelpilze) ebenfalls zu Ertragsverlusten sowie zum allgemeinen Rückgang der Artenvielfalt beitragen. Nicht zuletzt entstehen bei einem extremen Starkregenereignis auch Folgen für die **Menschliche Gesundheit** und den allgemeinen **Bevölkerungs- und Katastrophenschutz**. Es kann zu zahlreichen Verletzungen und Todesfällen kommen, und auch die erhöhte Einsatzfrequenz von Feuerwehr und Rettungswägen, die ebenfalls für hohe Kosten sorgen, sind relevante Schadenswirkungen eines Starkregenereignisses.

2.2.2 Schadenswirkungen von Hitze- und Dürreereignissen

Im Gegensatz zum Ereignistyp einer Sturzflut bzw. Überschwemmungen, deren Schadenswirkungen auf einem einzelnen Klimasignal erster Ordnung beruhen, entstehen die Schäden von sommerlichen Extremereignissen zum Großteil aus dem Zusammenspiel zweier Klimasignale: Einerseits stehen die sommerlichen hohen Temperaturen, andererseits der ausbleibende Niederschlag, die beide in Kombination zu **Hitze bzw. Dürren** führen. Darüber hinaus sind Niedrigwasserlagen, die (auf eine andere Art und Weise) die Schiffbarkeit der Wasserstraßen beeinflussen und so zu Schäden in den Handlungsfeldern **Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft** sowie **Verkehr und Verkehrsinfrastruktur** führen, eine weitere Folge (siehe Abbildung 3). Durch die so entstehenden Beeinträchtigungen des Warenverkehrs auf dem Binnenschiff, sind auch Betriebe aus dem Bereich **Gewerbe und Industrie** von langfristigen Lieferkettendisruptionen betroffen, die sich in höheren Transportkosten oder Produktionsausfällen und somit Umsatzeinbußen widerspiegeln. Ein weiterer Faktor, der zu Lieferkettendisruptionen führen kann, sind hitzebedingte Schäden an Straßen und Schienen, die bspw. durch direkte Hitzeeinwirkung (aber unter anderem auch durch Waldbrände in Straßen/ Schienennähe) ausgelöst werden. Der allgemeine Hitze- bzw. Trockenstress, von dem vor allem die **Wald- und Forstwirtschaft**, aber auch die **Landwirtschaft** im Klimawandel betroffen sind, sorgt dafür, dass die Bestände anfälliger für Krankheiten oder Schädlinge werden. Durch diese Schwächung der Bestände kommt es zu einem häufigeren Absterben, aber auch die Anfälligkeit für Schäden durch andere Einflüsse, wie Windwurf, erhöht sich. Somit kommt es sowohl in der Land- als auch der Forstwirtschaft zu Ertragsausfällen, während sich gleichzeitig die Artenvielfalt verringert. Verstärkt wird die Ausbreitung von Schädlingen auch durch den trockenheitsbedingten Mangel an (Grund-)Wasser im Boden, der wiederum auch zu einer im allgemeinen verringerten Wasserverfügbarkeit beiträgt. In Kombination mit dem gleichzeitig sogar steigenden Bedarf an Wasser (sowohl für den privaten als auch den gewerblichen/ industriellen Gebrauch) kann es zu Engpässen in der allgemeinen Wasserversorgung kommen.

Abbildung 3: Darstellung der relevantesten Schadenswirkungen von Hitze- und Dürreereignissen



Eigene Darstellung nach UBA (2016)

Ein weiteres, stark von den Auswirkungen allgemeiner Hitze betroffenes Handlungsfeld ist die **Menschliche Gesundheit**. Durch die Beeinträchtigung des Klimas, sowohl im Außenbereich als auch in Innenräumen, steigt die individuelle Hitzebelastung an. Diese führt beim Fehlen entsprechender Anpassungs- bzw. Ausgleichsmaßnahmen zu Minderungen der Leistungsfähigkeit und wirtschaftlichen Schäden, vor allem aber zu einer höheren Anfälligkeit gegenüber Krankheiten bzw. Vorerkrankungen, die sich unter Hitzeeinwirkung verschlimmern. Es zeigt sich, dass unter sommerlicher Hitzebelastung zahlreiche zusätzliche Verletzungen bzw. Krankheits- oder auch Todesfälle auftreten. Neben dem Verlust an Leben und Lebensqualität zeigen diese auch Auswirkungen im Gesundheitssystem, indem sie bspw. für eine erhöhte Anzahl an Rettungseinsätzen und Krankentransporten und eine erhöhte Auslastung der Krankenhäuser sorgen.

2.2.3 Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Wechselwirkungen der Schadenswirkungen

In der Gegenüberstellung der beiden Wirkungsdiagramme zeigen sich neben zahlreichen Unterschieden bzw. veränderten Handlungsfeldschwerpunkten auch Aspekte, die beiden Extremereignistypen gemein sind: Sowohl durch Sturzfluten und Überschwemmungen als auch Hitze- bzw. Dürreereignisse kann es zu Beeinträchtigungen im land- sowie wassergestützten Warenverkehr kommen, der wiederum Produktionsverluste und -verzögerungen bzw. Umsatzeinbußen nach sich zieht. Hier ist zukünftig bei der Planung neuer und Umgestaltung bestehender verkehrlicher Infrastrukturen dem besonderen Umstand Rechnung zu tragen, dass diese gegen beide Extremereignistypen vulnerabel sind.

Ähnlich verhält es sich mit den Aspekten der Biodiversität und den landwirtschaftlichen Erträgen: Diese sind ebenfalls durch Sturzfluten und Überschwemmungen sowie Hitze- bzw. Dürre gleichermaßen betroffen, wenngleich die Dürren der letzten Jahre gezeigt haben, dass sie eine großflächige und damit im Vergleich zu den eher lokal auftretenden Starkregenereignissen stärker negative Wirkung auf die beiden Handlungsfelder haben. Eine solche Schlussfolgerung kann auch für die menschliche Gesundheit getroffen werden: Beide Extremereignistypen stellen das Gesundheits- bzw. Katastrophenschutzsystem vor große Herausforderungen, aber die Anzahl der Verletzungen bzw. Todesfälle stellt sich in der Detailbetrachtung der Hitzeereignisse als deutlich größer heraus. Gleichwohl hat gerade das Flutereignis an Ahr und Erft gezeigt, dass auch durch ein Sturzflutereignis extreme Todesfallzahlen entstehen können.

Unterschiede der beiden Ereignistypen zeigen sich vor allem in den weiteren Handlungsfeldern: Während das Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft kaum von Auswirkungen durch Starkregen betroffen ist, stellt es im Wirkungsdiagramm der Hitze- und Dürreereignisse einen Schwerpunkt dar. Dies deckt sich auch mit den im Laufe der vorliegenden Untersuchung ermittelten handlungsfeldspezifischen Schadenssummen. Im Handlungsfeld Bauwesen zeigt sich ebenfalls ein Unterschied in der Art und Weise der Schadensentstehung: Während ein Starkregenereignis die tatsächliche Bausubstanz angreift und Schäden an dieser anrichtet, entstehen die Schäden durch Hitze im Handlungsfeld zum größten Teil durch den fehlenden thermischen Komfort im Innenraum und nicht an der Bausubstanz selbst.

Darüber hinaus bestehen zwischen den beiden Extremereignistypen und ihren Schadensmechanismen auch **Wechselwirkungen**, die bei einem Zusammentreffen zu deutlich erhöhten Schäden führen können: So ist ein von Dürre betroffener Boden deutlich anfälliger für Sturzflutereignisse, da auf den ausgetrockneten Böden nur wenig Wasser sofort versickern kann und der Großteil als Oberflächenwasser abfließt (Lemnitz, 2013). Dies führt zu einer erhöhten Erosion des fruchtbaren Oberbodens und kann in Hanglagen zu noch größeren Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen führen. Außerdem sorgt eine erhöhte Temperatur aufgrund der physikalischen Zusammenhänge dafür, dass die Luft mehr Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf aufnehmen und abgeben kann, mit der Folge, dass heftigere Starkregenereignisse entstehen (Byrne und O´Gorman, 2018).

3 Vergleich der Schadensaufkommen und -strukturen

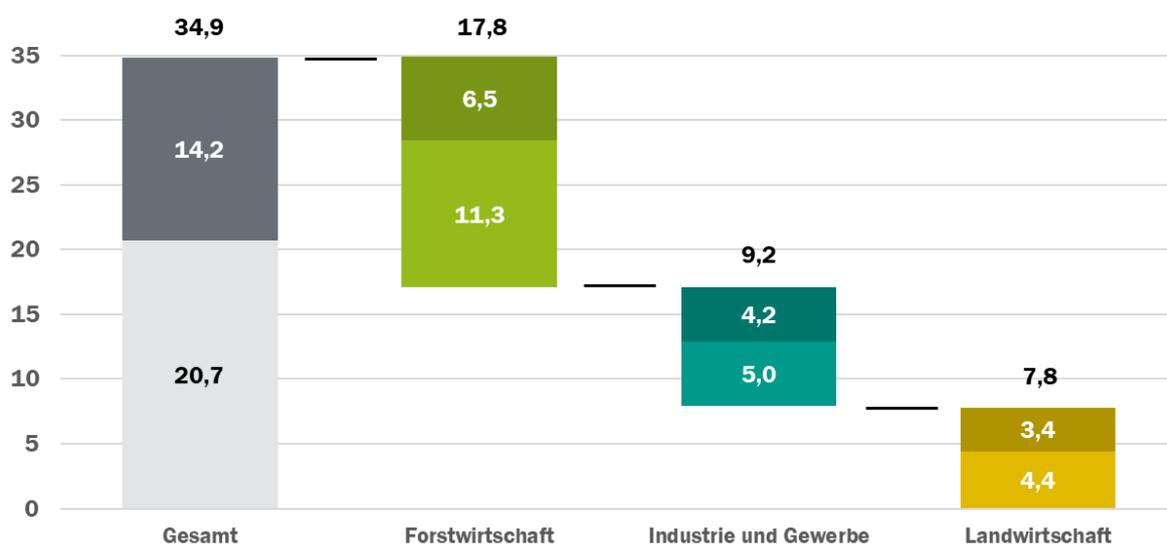
3.1 Schäden durch Hitze und Dürre in den Sommern 2018/2019

Zur Ermittlung der angefallenen Schäden durch Hitze und Dürre in den Sommern 2018/2019 wurden Berechnungen entlang von drei zentralen Wirkungslinien der Extremwetterereignisse durchgeführt:

- Ertragsverluste in der Landwirtschaft
- Verluste des Waldbestands und seiner Leistungen
- Hitzebedingte Minderung der Produktivität ¹

Neben den **direkt anfallenden Schäden** (bspw. durch verringerte Erntemengen infolge der Dürren) wurden auch die entlang von Wertschöpfungsketten entstehenden **indirekten Schäden** (bspw. durch Verteuerung von Vorleistungsgütern) berechnet.

Abbildung 4: Übersicht über die Zusammensetzung der Gesamtschäden der Hitze- und Dürresommer 2018 und 2019 (Mrd. €)



Eigene Darstellung und Berechnung, Prognos AG. Der untere (hell eingefärbte) Wert gibt die Höhe der direkten Schäden an, der obere stellt den Median der ermittelten Spannweiten der indirekten Schäden dar.

Besonders hohe Schäden der Hitze und Dürre 2018 und 2019 sind in der **Forstwirtschaft** angefallen. Verantwortlich sind unter anderem vielfältige Mehrkosten und verringerte Erträge, die bei Forstbetrieben zu Verlusten in Höhe von 8,5 Mrd. € geführt haben. Des Weiteren führte das hohe Aufkommen von Schadholz durch die Freisetzung des in den Bäumen gespeicherten CO₂ (bei Anwendung eines Kostensatzes von 201 € pro freigesetzter Tonne CO₂ nach Untersuchungen des UBA) zu weiteren indirekten Kosten von 2,8 Mrd. €. Entlang der Wertschöpfungsketten

¹ Details zur Untersuchungsmethodik und konkreten, indikatorenspezifischen Ergebnissen finden sich in Trenczek et al. (2022a).

entstanden darüber hinaus indirekte Schäden in Höhe von 6,5 Mrd. €, sodass das Gesamtschadensausmaß in der Forstwirtschaft bei 17,8 Mrd. € liegt (siehe Abbildung 4).² Weitere hohe Kosten entstanden durch die **hitzebedingten Produktionsausfälle in Industrie und Gewerbe**: Einem direkten Schadensmaß von 5 Mrd. € steht hier ein vergleichsweise hoher indirekter Effekt von 4,2 Mrd. € gegenüber. Zwar fallen die monetären Effekte der Hitze bei einem einzelnen Arbeitnehmenden gering aus. Für Deutschland insgesamt summieren sich die Kosten durch die **hohe Anzahl an betroffenen Personen** jedoch erheblich auf. Ebenfalls stark von der Trockenheit betroffen war die **Landwirtschaft**, hier zeigten sich vor allem bei Weizen- und Kartoffelernten massive Einbußen. Insgesamt entstanden über alle Feldfrüchte hinweg so direkte Verluste von 4,4 Mrd. €, die wiederum weitere indirekte Effekte in Höhe von 3,4 Mrd. € nach sich zogen.

Neben den bilanzierten **monetären Schäden von somit 34,9 Mrd. €** führte die hohe Anzahl an heißen Tagen zu einer statistisch sichtbaren Übersterblichkeit. Insgesamt sind **mindestens 7.500 Todesfälle** auf die außergewöhnlich hohe Hitze in den Jahren 2018 und 2019 zurückzuführen.³

3.2 Schäden durch die Sturzflut und Überschwemmungen im Juli 2021

Aufgrund der hohen Aktualität des Ereignisses sowie des gänzlich anderen Charakters der Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021 in Deutschland unterscheidet sich auch das Vorgehen zur Ermittlung der Schäden deutlich: Im Falle der Hitze und Dürre 2018 und 2019 waren die besonders betroffenen Bereiche bzw. Handlungsfelder der DAS an den Klimawandel bekannt, aber es gab bisher kaum Abschätzungen zum angefallenen Gesamtschaden. Bei den Sturzfluten 2021 ist die bisher gemeldete Gesamtsumme der direkten Schäden (u.a. durch Pressemeldungen und Berichte der Bundesregierung sowie Meldungen von Versicherern) bekannt, aber es ist z.T. noch unklar, wie sich diese Gesamtschadenssumme auf die verschiedenen DAS-Handlungsfelder verteilt. Außerdem sind im Kontext der Untersuchungen bisher noch keine Abschätzungen zu indirekten Effekten erfolgt.

Die Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021 haben enorme Schäden verursacht. So beziffert der Gesamtverband der Deutschen Versicherer (GDV) die Höhe der versicherten Schäden durch das Tief Bernd auf 8,2 Mrd. € (GDV, 2022). Die Bundesregierung hat in ihrem offiziellen Antrag auf Hilfen aus dem EU-Solidaritätsfonds Schäden in Höhe von 29,2 Mrd. € angegeben. Ein im März 2022 veröffentlichter Bericht des Bundesinnen- und -finanzministeriums weist Schäden in Höhe von 33,1 Mrd. € (ohne Einsatzkosten i.H.v. ca. 300 Mio. €) aus und verteilt diese auch auf verschiedene Kategorien (bspw. „Schäden an Unternehmen“ oder „Schäden an kommunalen Infrastrukturen“, BMI und BMF, 2022). Die Schadenssumme des BMI und BMF (2022) deckt sich mit den Angaben der MunichRE, welche den direkten Schaden auf 33 Mrd. € beziffert (MunichRE, 2022).

Um die **indirekten Effekte** der Schäden ermitteln zu können, wurden im Kontext des Projektes auf Basis dieser ersten Aufteilung der Schäden für jede Schadensdimension korrespondierende Wirtschaftszweige ermittelt⁴. So sind bspw. ausgewiesene Schäden, die an Straßen und Brücken anfielen, dem Wirtschaftszweig Verkehr und Lagerei zuzuordnen. Eine erste Abschätzung der

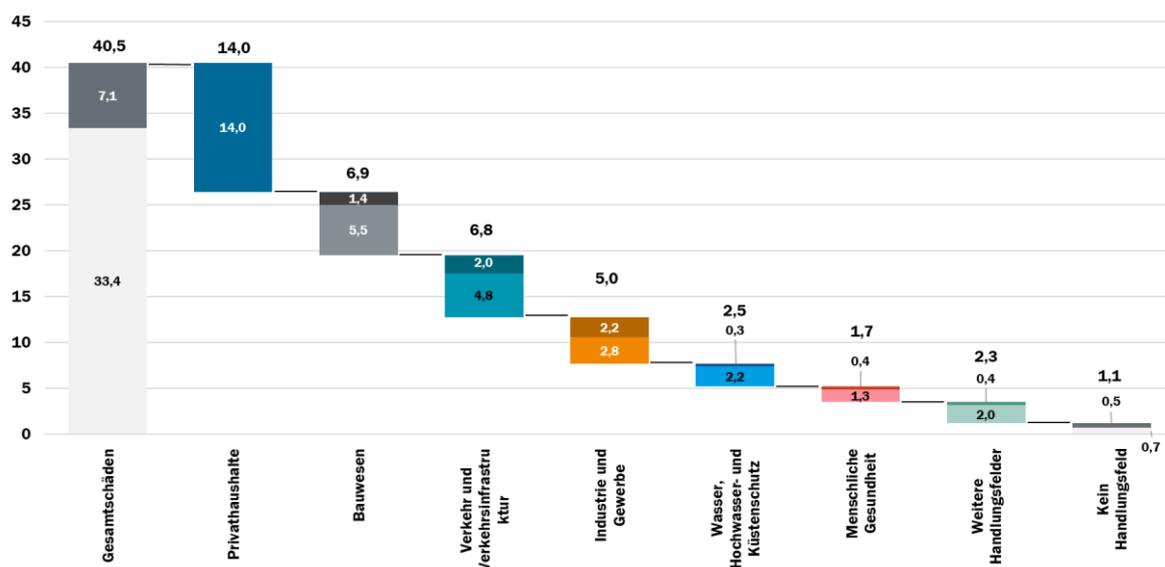
² Untersuchungen zeigen darüber hinaus auch für das Jahr 2020 massive Schäden in der Forstwirtschaft - aufgrund der Fokusbetrachtung der Hitze- und Dürreereignisse 2018 und 2019 wurden diese hier nicht mitberücksichtigt.

³ Es bestehen in der Forschung verschiedene Ansätze, den Verlust eines Menschenlebens in einen monetären Wert umzurechnen, im Kontext des Projektes wurde dies aufgrund methodischer Hindernisse sowie der moralisch-ethischen Implikationen jedoch nicht weiterverfolgt. Berechnungen von Winklmayr et al. (2022), die nach Fertigstellung der vorliegenden Studie veröffentlicht wurden, beziffern die Anzahl hitzebedingter Sterbefälle auf 8700 (2018), 6900 (2019), 3700 (2020) und 1700 (2021).

⁴ Details zur Untersuchungsmethodik und weiteren Ergebnissen finden sich in Trenczek et al. (2022b)

indirekten Kosten erfolgt auf Basis dieser Zuordnung sowie Informationen zum Verhältnis von direkten zu indirekten Schäden für 19 Wirtschaftszweige aus Untersuchungen vergangener Überschwemmungsereignisse (bspw. des Junihochwassers 2013). So führt beispielsweise jeder angefallene Euro direkter Schäden im Wirtschaftszweig Verkehr und Lagerei aufgrund von Verzögerungen in der Lieferkette und weiteren Effekten zu indirekten Schäden in Höhe von 36 bis 46 Cent.

Abbildung 5: Aufteilung der monetären direkten und indirekten Gesamtschäden der Sturzflut und Überschwemmungen des Juli 2021 auf die DAS-Handlungsfelder (Mrd. €)



Eigene Darstellung und Berechnung, Prognos AG. Der untere (hell eingefärbte) Wert gibt die Höhe der direkten Schäden an, der obere stellt den Median der ermittelten Spannweiten der indirekten Schäden dar. Privathaushalte stellen im Sinne der DAS kein eigenständiges Handlungsfeld dar, sind aber aufgrund der besonderen ökonomischen Bedeutung hier trotzdem separat ausgewiesen. Den so entstandenen Schäden kann darüber hinaus auch kein indirekter Schaden zugewiesen werden.

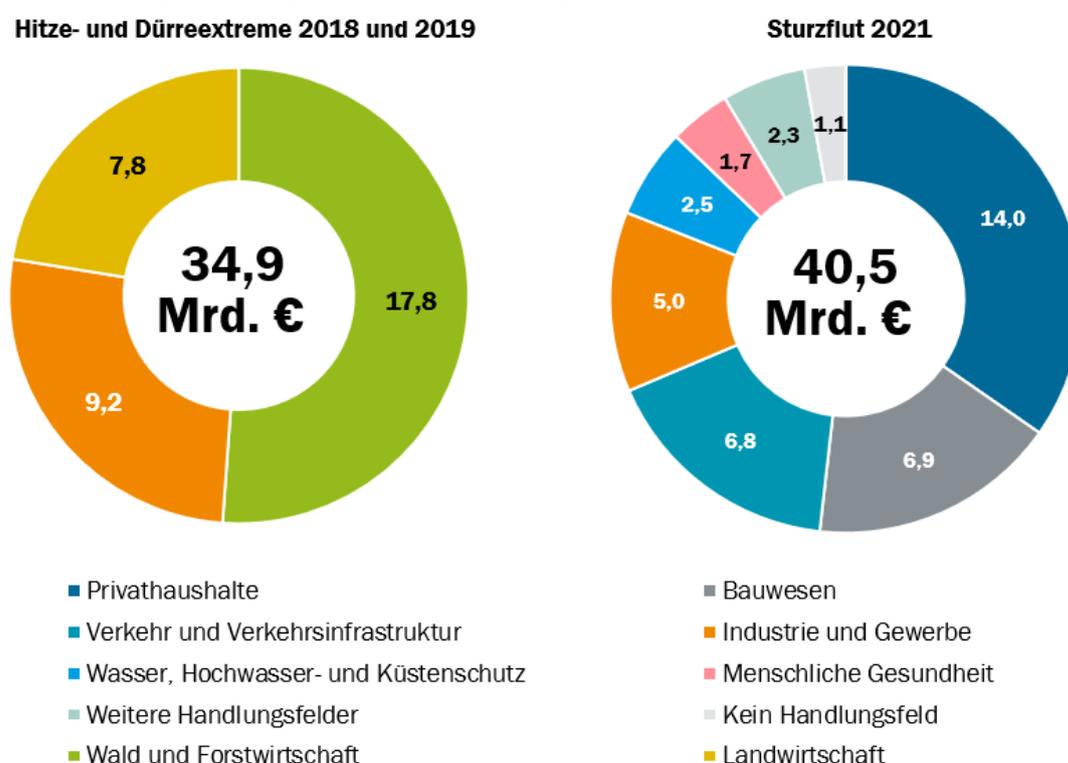
Insgesamt zeigt sich, dass insbesondere die **Handlungsfelder Wasser-, Hochwasser- und Küstenschutz** (zu dem auch die Schäden an Wasser- und Abwasserinfrastrukturen gezählt werden), aber auch das Handlungsfeld **Menschliche Gesundheit** stark von den Schäden betroffen sind. Der größte Teil der Schäden entstand dabei jedoch an **Privathaushalten** (14,0 Mrd. €), im **Bauwesen** (6,9 Mrd. €), dem **Bereich Verkehr und Verkehrsinfrastruktur** (6,8 Mrd. €), sowie **Industrie und Gewerbe** (5,0 Mrd. €) (siehe Abbildung 5).

Zieht man die berechneten indirekten Schäden (im Median des 90%- Konfidenzintervalls insgesamt 7,1 Mrd. €; untere Grenze = 5,9 Mrd. €, obere Grenze = 8,7 Mrd. €) zu den offiziellen Zahlen von 33,1 Mrd. € direkter materieller Schäden sowie die im EU-Solidaritätsfondsantrag gelisteten 0,3 Mrd. € an Einsatzkosten hinzu, so zeigt sich eine **Gesamtschadenssumme des Ereignisses von 40,5 Mrd. €**. Neben den monetären Schäden weisen die Statistiken eine **offizielle Todeszahl von 183 Menschen** für das Ereignis aus. Damit sind in Deutschland bei der Sturzflut des Juli 2021 mehr Menschen gestorben als bei allen anderen Stürmen, Hochwasserereignissen, Sturzfluten und ähnlichen Katastrophen seit dem Jahr 2000 zusammen.

3.3 Zusammenfassung und Vergleich

Ein Vergleich der beiden untersuchten Ereignisse zeigt, dass sich das Gesamtschadensausmaß zwar um ca. 5 Mrd. € unterscheidet, damit aber in ähnlichen Größenordnungen bewegt. Große Unterschiede existieren in der Zusammensetzung der Schäden. Treten Dürre- und Hitzeschäden vor allem in Land- und Forstwirtschaft, so betreffen Sturzfluten und Überschwemmungsereignisse vor allem das Bauwesen sowie Verkehr und Verkehrsinfrastruktur. Das Handlungsfeld Industrie und Gewerbe ist von beiden Ereignistypen stark betroffen.

Abbildung 6: Vergleich der Gesamtschäden der Ereignisse nach den DAS-Handlungsfeldern (Mrd. €)



Eigene Darstellung und Berechnung.

Privathaushalte sind kein eigenständiges Handlungsfeld der DAS, aber aufgrund der hohen ökonomischen Bedeutung bei der Sturzflut wurden diese (keinem Handlungsfeld zuordnungsfähigen) Schäden trotzdem separat ausgewiesen. Die Gesamtschäden bilden sich aus den direkten Schäden sowie dem Median des 90%-Konfidenzintervalls der zu diesen ermittelten indirekten Schäden.

Auch wenn einzelne indirekte Schäden durch Hitze und Dürre anderen Handlungsfeldern zugewiesen werden konnten (bspw. hitzebedingte Produktivitätsverluste in den zu einem Handlungsfeld korrespondierenden Wirtschaftszweig), werden diese dem übergeordneten Handlungsfeld, dem die Schadenswirkung bzw. der Indikator zugeordnet ist (im Falle der hitzebedingten Produktionsausfälle dem Handlungsfeld Industrie und Gewerbe), zugeschrieben. Ein ähnliches Vorgehen wurde für die Flutschäden an Gewerbebetrieben gewählt, um so die Aufteilung auf die Handlungsfelder besser miteinander vergleichbar zu machen. Einschränkend zur Ermittlung der Schadensstrukturen beider Ereignistypen sollte jedoch betont werden, dass eine **unterschiedliche**

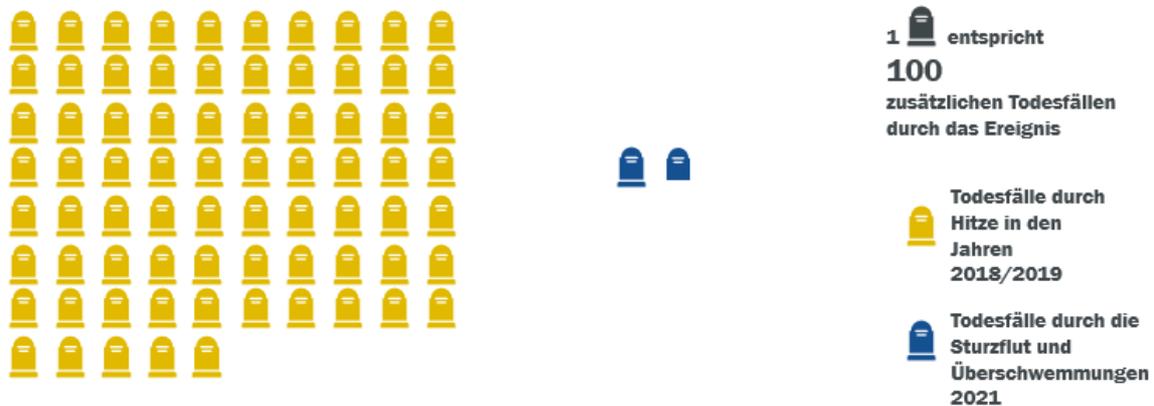
Herangehensweise an die Ermittlung der Schäden angesetzt wurde. Im Fall der Sommerextreme erfolgte eine Bottom-up-Ermittlung des Gesamtschadensmaßes auf Basis spezifischer wesentlicher Indikatoren, wobei nicht alle Wirkungsrichtungen bzw. Schadensdimensionen oder Handlungsfelder herangezogen werden konnten. Im Gegensatz dazu kam bei der Untersuchung der Sturzflut ein Top-down-Ansatz zum Einsatz: Hier erfolgte eine detailliertere Aufteilung des Gesamtschadensmaßes basierend auf weiteren Untersuchungen, sodass auch geringere Schäden in einzelnen Handlungsfeldern mitabgedeckt wurden.

Ein Unterschied zwischen den beiden Ereignistypen besteht darüber hinaus im **Verhältnis der direkten zu den indirekten Gesamtschäden**. Zeigt sich für die Sommerextreme (aufgrund der hohen Betroffenheit der primär produzierenden bzw. verarbeitenden Wirtschaftszweige) ein vergleichsweise hohes Verhältnis von direkten zu indirekten Schäden von 1:0,7, so beträgt dieses für die Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021 lediglich 1:0,2. Konkret bedeutet dies, dass im Falle der Hitze- und Dürreereignisse für jeden Euro direkt angefallener Schäden weitere 70 Cent an indirekten Schäden (bspw. entlang von Wertschöpfungsketten) entstehen- im Falle der Sturzflut entsprechend ca. 20 Cent. In Kombination mit der hohen Todeszahl eines Hitzeereignisses bestätigt sich das Bild eines eher langsam agierenden bzw. wenig sichtbaren Extremereignisses im Gegensatz zu den kurzen, aber intensiven, visuell prägenden und somit stark im kollektiven Gedächtnis verharrenden Starkregen- bzw. Sturzflutereignissen.

Auch wenn nicht abschließend geklärt werden kann, welcher Anteil der aufgetretenen Schäden tatsächlich auf den anthropogenen Klimawandel zurückzuführen ist, so zeigen Untersuchungen doch für beide konkreten Extremereignisse auf, dass ein **Zusammenhang zwischen ihrem Auftreten und dem kontinuierlichen Ausstoß von Treibhausgasen** bestand (u.a. Kreienkamp et al., 2021 und WWA, 2019a).

Auch die **Betroffenheit von Personen** stellt sich zwischen beiden Ereignissen anders dar: Trotz der für ein Sturzflutereignis extrem hohen Anzahl an Todesfällen während der Sturzflut 2021, liegen diese noch deutlich unter den beobachtbaren Todesfällen durch Hitze (siehe Abbildung 7). Mit Blick auf die monetären Schäden führte die Sturzflut 2021 zu einer hohen Betroffenheit durch Schäden an privaten Haushalten bzw. Gebäuden, während die Kosten der Hitzeereignisse in erster Linie Geschäftstätigkeiten betreffen (siehe Abbildung 6). Bei den Hitze- und Dürreereignissen spielen darüber hinaus soziale bzw. sozio-demografische Faktoren eine wichtige Rolle, wenn es um die Einschätzung von Vulnerabilitäten bzw. spezifischen Betroffenheiten geht: So sind bspw. alte, vorerkrankte oder sehr junge Menschen deutlich stärker von Hitzeereignissen betroffen als gesunde Erwachsene. In Bezug auf die Sturzfluten und Überschwemmungen zeigt sich dieses Phänomen nur in abgeschwächter Form, hier ist das hauptsächliche Vulnerabilitätskriterium ein lagebezogenes: Durch das im Normalfall kleinräumige Auftreten der Ereignisse sind insbesondere Menschen in hochverdichteten Innenstädten (hier v.a. in den Erdgeschoss), sowie in Tälern oder an Flusslagen besonders betroffen, unabhängig von ihrer sozialen oder gesundheitlichen Lage. Beiden Ereignissen gemein ist jedoch, dass v.a. einkommensschwache Personen, die eine geringe Anpassungskapazität besitzen (weil sie sich keine individuellen Anpassungsmaßnahmen wie Verschattungselemente, eine Klimaanlage oder einen baulichen Starkregenschutz leisten können), besonders von diesen betroffen sind. Programme, die neben der Anpassung öffentlicher Strukturen an den Klimawandel auch die individuelle Anpassung in den Blick nehmen, sind daher besonders auf den Aspekt der sozialen Gerechtigkeit bzw. Verträglichkeit hin auszurichten.

Abbildung 7: Verteilung der Todesfälle durch Hitze in den Jahren 2018/2019 und die Sturzflut und Überschwemmungen in 2021



Eigene Darstellung. 1 Piktogramm entspricht 100 durch das Ereignis ausgelösten Todesfällen. Todesfälle der Sturzfluten und Überschwemmung im Juli 2021: 183. Anzahl hitzebedingter Todesfälle: Mindestens 7.500. Eigene Berechnung auf Basis von Axnick (2021). Berechnungen von Winklmayr et al. (2022), die nach Fertigstellung der vorliegenden Studie veröffentlicht wurden und daher nicht in der Abbildung berücksichtigt sind, beziffern die Anzahl hitzebedingter Sterbefälle auf 8700 (2018) bzw. 6900 (2019).

In Bezug auf die **Wirkungsweisen von Anpassungsmaßnahmen** lassen sich zu den beiden Extremereignissen sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede feststellen: Bei der Anpassung an die Folgen eines Hitzeereignisses steht derzeit oftmals (insbesondere bei der Verringerung der Gesundheitsrisiken) noch das individuelle Handeln im Vordergrund: Es wird geraten, Arbeitszeiten zu verlegen, sich im Schatten aufzuhalten und ausreichend zu trinken. Da bei einem Sturzflut- bzw. Starkregenereignis eher Bausubstanzen und Infrastrukturen betroffen sind, ist zwar die individuelle Vorsorge der Hausbesitzenden (bspw. Durch Rückstauklappen oder die Schaffung von Speicherkapazitäten) ebenfalls von hoher Bedeutung. Ein weiterer Fokus liegt aber auf der vorausschauenden staatlichen bzw. kommunalen Planung entsprechender Infrastrukturen, Freiräume und Schutzeinrichtungen. Beiden Ereignistypen gemein ist, dass datengestützte Vorsorge- bzw. Vorwarnsysteme im Vorfeld der Ereignisse eine wichtige Rolle in der Erhöhung der individuellen wie kollektiven Resilienz besitzen: Bei Hitzeereignissen kann ein individuelles oder auch institutionalisiertes Warnsystem den vulnerablen (insb. alten und vorerkrankten) Bevölkerungsgruppen helfen, sich auf ein entsprechendes Ereignis vorzubereiten. Auch Starkregen bzw. Sturzfluten können aufgrund der fortgeschrittenen meteorologischen Mess- und Monitoringsysteme bereits mehrere Tage im Voraus ausreichend präzise vorhergesagt werden, um die entsprechenden Vorkehrungen im Gesundheits- und Katastrophenschutz zu treffen. Die Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021, insbesondere an Ahr und Erft, haben jedoch gezeigt, dass es in der Reaktion auf solche Vorhersagen bzw. Warnsysteme noch Lücken gibt, die eine effektivere Anpassung des Systems bzw. eine Vermeidung der Schäden erschweren.

Quellenverzeichnis

Acosta Navarro, J. C.; Ortega, P.; Garcia-Serrano, J.; Guemas, V.; Tourigny, E.; Cruz-Garcia, R.; Massonnet, F.; Doblás-Reyes, F. J. (2019): December 2016: Linking the lowest arctic sea-ice extent on record with the lowest European precipitation event on record. In: Explaining extreme events of 2017 - From a climate perspective. In: Bulletin of the American Meteorological Society 100.1. S.43-48.

Axnick, M. (2021): Hitzebedingte Sterblichkeit in Berlin und Brandenburg. In: Zeitschrift für amtliche Statistik Berlin Brandenburg 1, 2021, S. 34- 39.

Bastos, A.; Ciais, P.; Friedlingstein, P.; Sitch, S.; J. Pongratz, J.; Fan, L.; Wigneron, J.P.; Weber, U.; Reichstein, M.; Fu, Z.; Anthoni, P.; Arneeth, A.; Haverd, V.; Jain, A.K.; Joetzjer, E.; Knauer, J.; Lienert, S.; Loughran, T.; McGuire, P.C.; Tian, H.; Viovy, N.; Zaehle, S (2020): Direct and seasonal legacy effects of the 2018 heat wave and drought on European ecosystem productivity. In: Sci Adv 6 (24).

BMI, BMF (2021): Zwischenbericht zur Flutkatastrophe 2021: Katastrophenhilfe, Soforthilfen und Wiederaufbau. Verfügbar unter: https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2021/09/bmi-bmf-zwischenbericht-fluthilfe.pdf?__blob=publicationFile& (abgerufen am: 01.12.2021).

BMI, BMF (2022): Bericht zur Hochwasserkatastrophe 2021. Katastrophenhilfe, Wiederaufbau und Evaluierungsprozesse. Verfügbar unter: <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2022/abschlussbericht-hochwasserkatastrophe.html> (abgerufen am: 03.04.2022).

Byrne, M.P.; O´Gorman, P.A. (2018): Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean warming. In: PNAS, vol. 115, no. 19, S. 4863–4868.

CEDIM (2018): Dürre & Hitzewelle Sommer 2018 (Deutschland). Report No. 1. Verfügbar unter: https://www.cedim.kit.edu/download/FDA_Duerre_Hitzewelle_Deutschland_report.pdf (abgerufen am: 01.12.2021).

CEDIM (2021): Hochwasser Mitteleuropa, Juli 2021 (Deutschland)– Bericht Nr. 1 „Nordrhein-Westfalen & Rheinland-Pfalz“. Verfügbar unter: https://www.cedim.kit.edu/download/FDA_HochwasserJuli2021_Bericht1.pdf (abgerufen am: 27.01.2022).

DWD (2018a): Erste Bilanz des Deutschen Wetterdienstes zum Jahr 2018 in Deutschland. Pressemitteilung vom 20.12.2018. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181220_jahr2018_rekord_news.html (abgerufen am: 10.06.2021).

DWD (2018b): 2018 wärmster Sommer im Norden und Osten Deutschlands. Deutscher Wetterdienst. Forschungsbericht der Abteilungen für Klimaüberwachung, Hydrometeorologie und Agrarmeteorologie, Deutscher Wetterdienst. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20180906_waermstersommer_nordenosten2018.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am: 10.06.2021).

DWD (2019a): Deutschlandwetter im Sommer 2019. Sonnenscheinreich und niederschlagsarm – neue Temperaturrekorde. Pressemitteilung vom 30.08.2019. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2019/20190830_deutschlandwetter_sommer2019_news.html (abgerufen am: 10.06.2021).

DWD (2019b): Neuer Rekord der mittleren Junitemperatur für Deutschland und intensive Hitze- welle in Europa. Forschungsbericht der Abteilung Klimaüberwachung, Deutscher Wetterdienst. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190703_bericht_juni2019.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (abgerufen am: 10.06.2021).

DWD (2019c): Rückblick auf das Jahr 2018 – das bisher wärmste Jahr in Deutschland. Forschungsbericht der Abteilung Klimaüberwachung, Deutscher Wetterdienst. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190102_waermstes_jahr_in_deutschland_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am: 10.06.2021).

DWD (2019d): Ursachen und Folgen der Trockenheit in Deutschland und Europa ab Juni 2019. Forschungsbericht der Abteilungen Klimaüberwachung, Agrar- und Hydrometeorologie, Deutscher Wetterdienst. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/duerre/20190712_trockenheit_juni_juli_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (abgerufen am: 10.06.2021).

DWD (2020a): 2019 global zweitwärmstes Jahr: Temperaturentwicklung in Deutschland im globalen Kontext. Forschungsbericht der Abteilung Klimaüberwachung, Deutscher Wetterdienst. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20200128_vergleich_de_global.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen am: 10.06.2021).

DWD (2020b): DWD-Stationen Duisburg-Baerl und Tönisvorst jetzt Spitzenreiter mit 41,2 Grad Celsius. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2020/20201217_annulierung_lingen_news.html (abgerufen am: 16.11.2021).

DWD (2021): Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721-_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am: 11.01.2022).

García-Herrera, R.; Garrido-Perez, J. M.; Barriopedro, D.; Ordóñez, C.; Vicente-Serrano, S. M.; Nieto, R.; Gimeno, L.; Sori, R.; You, P. (2019): The European 2016/17 Drought. In: Journal of Climate. 32.11. S.3169-3187.

GDV (2022) Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz mit höchsten Unwetter-Schäden. Regionale Naturgefahrenbilanz 2021. Medieninformation vom 18.05.2022. Verfügbar unter: <https://www.gdv.de/de/medien/aktuell/nordrhein-westfalen-und-rheinland-pfalz-mit-hoechsten-unwetter-schaeden-84702> (abgerufen am: 25.05.2022).

Hari, V.; Rakovec, O.; Markonis, Y.; Hanel, M.; Kumar, R. (2020): Increased future occurrences of the exceptional 2018–2019 central european drought under global warming. In: Scientific Reports (2020) 10:12207.

Kreienkamp, F.; Sjoukje Y. P.; Tradowsky, J. S.; Kew, S. F.; Lorenz, P.; Arrighi, J.; Belleflamme, A.; Bettmann, T.; Caluwaerts, S.; Chan, S. T.; Ciavarella, A.; De Cruz, L.; de Vries, H.; Demuth, N.; Ferrone, A.; Fischer, E. M.; Fowler, H. J.; Goergen, K.; Heinrich, D.; Henrichs, Y.; Lenderink, G.; Kaspar, F.; Nilson; Otto, F. E. L.; Ragone, F.; Seneviratne, S. I.; Singh, R. K.; Skålevåg, A.; Termonia, P.; Thalheimer, L.; van Aalst, M.; Van den Bergh, J.; Van de Vyver, H.; Vannitsem, S.; van Oldenborgh, G. J.; Van Schaeybroeck, B.; Vautard, R.; Vonk, D.; Wanders, N.; (2021): Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021. Verfügbar unter: <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf> (abgerufen am: 19.10.2021).

Lemnitz, C. (2013): Charakteristik der Benetzungshemmung quartärer und tertiärer Substrate – Räumliche und zeitliche Variabilität, Schlüsselfaktoren für die Ausbildung und Eingang in die hydrologische Modellierung. Verfügbar unter: <https://opus4.kobv.de/opus4-btu/frontdoor/index/index/docId/3460> (abgerufen am: 01.02.2022).

MunichRE (2022): Hurrikane, Kältewellen, Tornados: Wetterkatastrophen in USA dominieren Naturkatastrophen-Schadenstatistik 2021. Verfügbar unter: <https://www.munichre.com/de/unternehmen/media-relations/medieninformationen-und-unternehmensnachrichten/medieninformationen/2022/bilanz-naturkatastrophen-2021.html> (abgerufen am: 27.01.2022).

Schaller, N.; Kay, A. L.; Lamb, R.; Massey, N. R.; van Oldenborgh, G. J.; Otto, F. E. L.; Sparrow, S. N.; Vautard, R.; You, P.; Ashpole, I.; Bowery, A.; Crooks, S. M.; Haustein, K.; Huntingford, C.; Ingram, W. J.; Jones, R. G.; Legg, T.; Miller, J.; Skeggs, J.; Wallom, D.; Weisheimer, A.; Wilson, S.; Stott, P. A.; Allen, M. R. (2016): Human influence on climate in the 2014 southern England winter floods and their impacts. In: Nature Climate Change. 2. S.627-634.

Stendel, M.; Francis, J.; White, R.; Williams, P.D.; Woolings, T. (2021): The jet stream and climate change. In: Letcher, T.M.: Climate Change - Observed Impacts on Planet Earth (Third Edition), Kapitel 15, S. 327-357.

Trenczek, J.; Lühr, O.; Eiserbeck, L.; Sandhövel, M.; Ibens, D. (2022a): Schäden der Dürre- und Hitzeextreme 2018 und 2019. Eine ex-post-Analyse. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“.

Trenczek, J.; Lühr, O.; Eiserbeck, L.; Sandhövel, M. (2022b): Schäden der Sturzfluten und Überschwemmungen im Juli 2021 in Deutschland. Eine ex-post-Analyse. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“.

Trenczek, J.; Lühr, O.; Eiserbeck, L.; Sandhövel, M. (2022c): Übersicht vergangener Extremwetter-schäden in Deutschland. Methodik und Erstellung einer Schadensübersicht. Projektbericht „Kosten durch Klimawandelfolgen“.

UBA (2016): Erläuterungen zu den Klimawirkungsketten. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/klimawirkungsketten_umweltbundesamt_2016.pdf (abgerufen am: 01.02.2022).

UFZ (2021): Jährliche Dürrestärken in Deutschland. Verfügbar unter: <https://www.ufz.de/index.php?de=47252> (abgerufen am: 01.02.2022).

van Oldenborgh, G. J.; Otto, F. E. L.; Haustein, K.; Cullen, H. (2015): Climate change increases the probability of heavy rains like those of storm Desmond in the UK – an event attribution study in near-real time. In: Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 12. S.13197-13216.

van Oldenborgh, G. J.; Philip, S.; Aalbers, E.; Vautard, R.; Otto, F.; Haustein, K.; Habets, F.; Singh, R.; Cullen, H. (2016): Rapid attribution of the May/June 2016 flood-inducing precipitation in France and Germany to climate change. In: Hydrology and Earth System Sciences Discussions.

Winklmayr, C; Muthers, S; Niemann, H; Mücke, HG; an der Heiden, M (2022): Heat-related mortality in Germany from 1992 to 2021. Dtsch Arztebl Int 2022; 119: 451–7.

WWA (2019a): Human contribution to the record-breaking July 2019 heat-wave in Western Europe. Forschungsbericht. Veröffentlicht am: 02.08.2019. Verfügbar unter: <https://www.worldweatherattribution.org/human-contribution-to-the-record-breaking-july-2019-heat-wave-in-western-europe/> (abgerufen am: 01.02.2022).

WWA (2019b): Human contribution to the record-breaking June 2019 heat wave in France. Forschungsbericht. Veröffentlicht am: 02.07.2019. Verfügbar unter: <https://www.worldweatherattribution.org/human-contribution-to-record-breaking-june-2019-heatwave-in-france/> (abgerufen am: 01.02.2022).

WWA (2019c): Rapid attribution of the extreme rainfall in Texas from Tropical Storm Imelda. Forschungsbericht. Veröffentlicht am: 27.09.2019. Verfügbar unter: <https://www.worldweatherattribution.org/rapid-attribution-of-the-extreme-rainfall-in-texas-from-tropical-storm-imelda/> (abgerufen am: 01.02.2022).

Impressum

Schadenswirkungen von Überschwemmungen und Sturzfluten sowie Hitze und Dürre Ein Vergleich der Extremereignistypen

Erstellt im Auftrag von

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
Scharnhorststraße 34-37
10115 Berlin

Bearbeitet von

Prognos AG
Werdener Straße 4
40227 Düsseldorf
Telefon: +49 211 913 16-110
Fax: +49 211 913 16-141
E-Mail: info@prognos.com
www.prognos.com
twitter.com/Prognos_AG

Autoren

Dr. Jan Trenczek (Projektleitung)
Oliver Lühr
Lukas Eiserbeck
Viktoria Leuschner

Kontakt

Dr. Jan Trenczek (Projektleitung)
Telefon: +49 162 988 2483
E-Mail: jan.trenczek@prognos.com

Stand: März 2022

Copyright: 2022, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Abbildungen und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der Prognos AG. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).