

# 1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

Veronika Huber

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.  
DOI 10.32745/9783954666270-1, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

In diesem einleitenden Kapitel liegt der Schwerpunkt auf den Umweltfolgen des Klimawandels, mit denen die Bevölkerung in Deutschland bereits konfrontiert ist. Es wird dargestellt, inwieweit beobachtete Veränderungen auf den Klimawandel zurückzuführen sind und welche Szenarien es für die Zukunft gibt. Dabei werden sowohl Extremereignisse (Hitzewellen, Dürren, Starkregenfälle, Stürme, Waldbrände) als auch schleichende Veränderungen (abnehmende Schneebedeckung, Meeresspiegelanstieg) mit einem besonderen Augenmerk auf gesundheitsrelevante Auswirkungen berücksichtigt. Dieser Darstellung vorausgestellt ist eine allgemeine Einführung zum anthropogenen Klimawandel, die neben einigen grundlegenden Fakten auch aktuelle Forschungsergebnisse aufgreift.

This introductory chapter portrays some of the climate change impacts most relevant to the environment and the living conditions of the German population. Impacts are discussed in terms of recent changes attributable to climate change and future changes to be expected according to climate change scenarios, including possible health implications of the mentioned impacts. Both extreme events (heat waves, droughts, heavy rainfall, storms, forest fires) and slow-onset events (decreasing snow cover, sea level

rise) are taken into account. The chapter starts with a short presentation of the key facts of anthropogenic climate change, taking up recent findings in climate research.

## 1.1 Grundlagen des Klimawandels

### 1.1.1 Globale Erwärmung und ihre Ursachen

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts ist die globale Mitteltemperatur um etwa 1,2°C angestiegen. In Deutschland betrug die Erwärmung im gleichen Zeitraum sogar 2°C – wenn man einen nicht-linearen Trend zugrunde legt (s. Abb. 1; Rahmstorf 2020). Da sich Landmassen schneller erwärmen als die Ozeane, ist das nicht überraschend. Verantwortlich für die Erwärmung sind die durch den Menschen verursachten Emissionen von Treibhausgasen (insbesondere CO<sub>2</sub>, Methan, Lachgas und troposphärisches Ozon). Es gibt selbstverständlich auch natürliche Einflussfaktoren, die das Klima der Erde vor dem Auftreten des Menschen als geologische Kraft – das heißt vor dem Eintritt in das

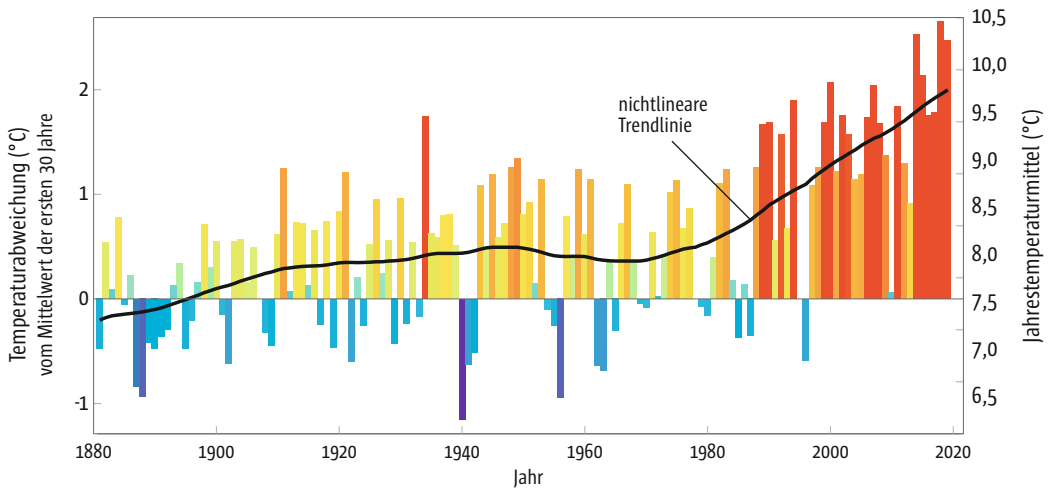


Abb. 1 Jährliche Temperaturmittelwerte in Deutschland seit 1881 (Rahmstorf 2020, Creative Commons-Lizenz CC BY-SA 2.0, Daten: opendata.dw.de)

Erdzeitalter des Anthropozän (Crutzen 2002) – maßgeblich gesteuert haben. Dazu gehören insbesondere Veränderungen in der Erdumlaufbahn, die Auslöser von Eiszeiten waren, Schwankungen in der Sonnenaktivität, Vulkanausbrüche und natürliche Veränderungen der Treibhausgaskonzentrationen der Atmosphäre. Es ist jedoch wissenschaftlich bestens untersucht und verstanden, dass alle diese natürlichen Klimaeinflussfaktoren keinen nennenswerten Einfluss auf die globale Erwärmung der letzten hundert Jahre hatten.

### 1.1.2 Die erdgeschichtliche Perspektive

Um sich die Tragweite des menschengemachten Klimawandels vor Augen zu führen, ist es hilfreich, einen Blick in die planetare Vergangenheit zu werfen. Durch die Analyse winziger Luftbläschen, eingeschlossen im ‚ewigen‘ Eis Grönlands und der Antarktis, können Wissenschaftler die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen der Atmosphäre bis weit in die Vergangenheit hinein rekonstruieren. Hier zeigt sich, dass die aktuellen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen wie eine Speerspitze

aus dem Bereich herausragen, in dem sie während der letzten 800.000 Jahren oszillierten (s. Abb. 2). Neuere Studien zeigen, dass die heutigen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen höher sind als während der vergangenen 2 Mio. Jahre (Yan et al. 2019).

Auch die aktuelle Entwicklung der globalen Mitteltemperatur ist auf Zeitskalen, die für den modernen Menschen relevant sind, beispiellos (s. Abb. 3). Seit Ende der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren, als schätzungsweise unter einer Million Menschen die Erde besiedelten, stiegen die globalen Temperaturen über einen Zeitraum von mehreren tausenden Jahren um 3–4°C an. Das gesamte Zeitalter des Holozäns, in dem die Menschen sesshaft wurden und die menschliche Zivilisation ihren Ausgangspunkt nahm, war geprägt von einem sehr stabilen Klimaregime. Der anthropogene Klimawandel katapultiert die Menschheit heute in eine nie gesehene ‚Heißzeit‘, in einer Geschwindigkeit welche die eiszeitlichen Temperaturschwankungen um Größenordnungen übersteigt. Nach neuesten Schätzungen erreichten die Temperaturen zum letzten Mal das heutige Niveau in der letzten Zwischeneiszeit vor etwa 125.000 Jahren, noch

# 1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

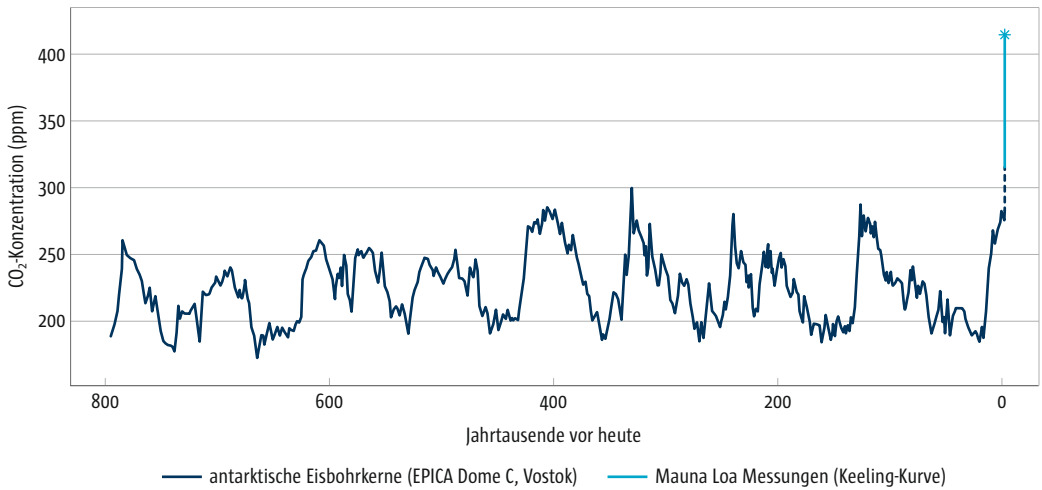


Abb. 2 CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Atmosphäre, rekonstruiert aus Eisbohrkerndaten und gemessen seit den späten 1950er-Jahren an der Station Mauna Loa auf Hawaii. Im Jahr 2020 betrug die Konzentration im Jahresdurchschnitt etwa 414 ppm (engl. parts per million) und war damit 48% höher als der Wert vor Beginn der industriellen Revolution. (Daten: Mauna Loa Messstation; <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html>; Eisbohrkerne: <https://www.co2.earth/co2-ice-core-data>)

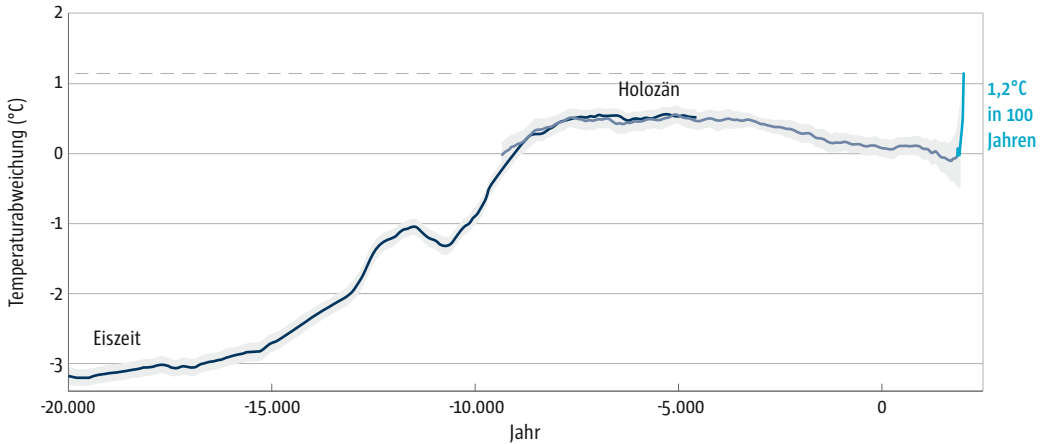


Abb. 3 Globale Mitteltemperatur seit dem Ende der letzten Eiszeit bis heute als Abweichung vom vorindustriellen Mittel (Stefan Rahmstorf, Daten: Shakun et al. 2012; Marcott et al. 2013; NASA GISTEMP bis 2019)

bevor sich der moderne Mensch *homo sapiens* von Afrika aus über die ganze Welt verbreitete (Bova et al. 2021). Eine Erwärmung um 2 bis 3°C bis Ende des Jahrhunderts (s. Kap. 1.1.3) würde die Welt in einen Temperaturbereich versetzen,

wie er erdgeschichtlich zum letzten Mal im Pliozän vor 3–4 Millionen Jahren aufgetreten ist, bevor die Vorfahren des modernen Menschen zum ersten Mal Werkzeuge in die Hand nahmen.

### Exkurs 1: Die CO<sub>2</sub>-Badewanne oder warum die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf (netto) Null gesenkt werden müssen

Zentral für das aktuelle Klimageschehen ist, dass die Höhe des CO<sub>2</sub>-bedingten Temperaturanstiegs im direkten Zusammenhang mit der kumulativen Gesamtmenge an CO<sub>2</sub> steht, das durch menschliche Aktivitäten zusätzlich emittiert wurde (Allen et al. 2009). Veranschaulichen lässt sich das am besten mit dem Bild der Badewanne, in die immer mehr CO<sub>2</sub> fließt, ohne dass die Natur – zumindest auf für den Menschen relevanten Zeitskalen – einen Ausflussmechanismus vorgesehen hätte. Je höher der Pegel in der CO<sub>2</sub>-Badewanne, desto stärker der Anstieg der globalen Mitteltemperatur. Diese kritische Eigenschaft des Klima- und Erdsystems hat eine entscheidende Folge für die Begrenzung der globalen Erwärmung. Mittelfristig – und umso schneller desto ambitionierter die Klimaziele – müssen die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf (netto) Null fallen, um die globale Mitteltemperatur auf einem bestimmten Niveau zu stabilisieren. Die Zahl Null steht hier für die enorme Herausforderung, das gesamte System der Energieversorgung, des Transports, der Landwirtschaft radikal so zu verändern (Rockström et al. 2017), dass netto keine (!) Treibhausgasemissionen mehr entstehen. Nicht zu vermeidende Emissionen müssen durch massive Aufforstungen und andere Maßnahmen, die der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entziehen, kompensiert werden. Keine dieser sogenannten Sequestrierungs-Technologien steht jedoch derzeit in der benötigten Größenordnung zur Verfügung (Minx et al. 2018).

### 1.1.3 Zukunftsprojektionen

Um Aussagen über die mögliche zukünftige Entwicklung der globalen Erwärmung und der Klimafolgen machen zu können, greift die Klimawissenschaft üblicherweise auf einen Satz von definierten Zukunftsszenarien zurück. Diese Szenarien werden von der wissenschaftlichen Gemeinschaft in regelmäßigem Abstand erneuert und weiterentwickelt. Ziel ist es, konsistente und vergleichbare Ergebnisse zu produzieren, insbesondere auch im Hinblick auf die etwa alle

sechs Jahre erscheinenden Sachstandsberichte des Weltklimarats. Die derzeit benutzten Szenarien für die Emission und Konzentration von Treibhausgasen heißen Repräsentative Konzentrationspfade (engl. Representative Concentration Pathways – RCPs). In aktuellen Studien zu Klimafolgen werden überwiegend vier Pfade betrachtet, die zentrale Elemente des 5. Sachstandsberichts des Weltklimarats von 2014 waren (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5).

Übersetzt in Temperaturveränderungen spannen sie ein Möglichkeitsfeld auf, das im Mittel von unter 2°C bis 5°C Erwärmung über vorindustrielles Niveau bis Ende des Jahrhunderts reicht (s. Abb. 4). Dabei entspricht der Pfad mit der niedrigsten Erwärmung einem Szenario ambitionierter Emissionsminderung im Einklang mit dem Pariser Klimaabkommen, während der Pfad stärkster Erwärmung einem Szenario entspricht, der die Tendenz vergangener Emissionsentwicklung ohne Klimaschutzbemühungen fortschreibt. Analysen, die Klimaschutzziele der Staaten berücksichtigen, kommen zu dem Schluss, dass der derzeit eingeschlagene Emissionspfad in der Mitte des Szenarienraums liegt und eine Erwärmung von etwa 3°C bis Ende des Jahrhunderts mit sich bringen würde (Climate Action Tracker 2020). Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, dass nach dem üblicherweise betrachteten Zeithorizont bis 2100 eine weitere Erwärmung folgen könnte – ob durch noch nicht vollständig reduzierte Treibhausgasemissionen oder durch selbstverstärkende Prozesse im Erdsystem (vgl. Exkurs 2).

Neben den RCP-Szenarien gibt es auch noch eine weitere Szenariengruppe, die sogenannten SSP-Szenarien (engl. Shared Socioeconomic Pathways) (Riahi et al. 2017), die in größerer Detailtiefe auch mögliche demografische, technologische und sozioökonomische Entwicklungen der Zukunft beschreiben. Für den 6. Sachstandsbericht des Weltklimarats, der in Kürze erscheinen wird, wurden die RCP- mit den SSP-Szenarien so verknüpft, dass Analysen zukünftiger Entwicklungen möglich werden, welche

## 1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

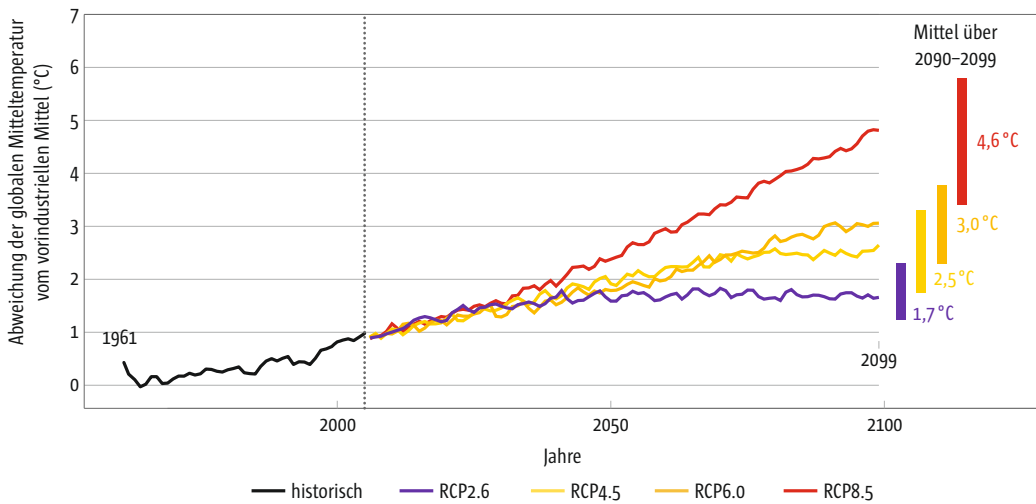


Abb. 4 Szenarien der globalen Erwärmung bis 2100. Dargestellt ist die von Klimamodellen simulierte globale Mitteltemperatur als Abweichung vom vorindustriellen Niveau. (Daten: ISIMIP2b; <https://www.isimip.org/protocol/#isimip2b>)

die physikalischen und sozioökonomischen Dimensionen des Klimawandels in kohärenter Weise zusammenführen (O'Neill et al. 2016).

### Exkurs 2: Könnte es schlimmer kommen als bisher vorhergesagt?

Dynamische Klima- und Erdsystemmodelle sind die besten verfügbaren Werkzeuge der Wissenschaft, um abzuschätzen, wie sich die globale Erwärmung in Zukunft entwickeln könnte. In jüngster Zeit wurde vermehrt diskutiert, ob diese Modelle die Erwärmung bedeutend unterschätzen könnten. Im Zentrum dieser Diskussion steht die sogenannte Klimasensitivität, die angibt, welche Temperaturänderung auf lange Sicht bei einer Verdopplung der  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen über vorindustrielles Niveau zu erwarten ist. Aufgeworfen wurde die Diskussion, weil die neueste Generation von Klima- und Erdsystemmodellen tendenziell eine höhere Klimasensitivität zeigen als die bis dahin bestehende beste Schätzung. Größter Unterschied zwischen den Modellen der neuesten und älteren Generation ist eine Verbesserung der Darstellung der Wolkendynamik, die in ihrem Verständnis weiterhin mit hohen Unsicherheiten behaftet

ist (Zelinka et al. 2020). Die bestehende Evidenz paläoklimatischer Studien (Rohling et al. 2012) und neueste Abschätzungen zur Fähigkeit der aktuellen Modelle, vergangene Klimaentwicklungen korrekt abzubilden (Tokarska et al. 2020), sprechen aber gegen die notwendige Korrektur der Klimasensitivitätsabschätzung nach oben – und stellen also eine gewisse Entwarnung dar. Wichtig in dieser Diskussion ist jedoch, nicht aus den Augen zu verlieren, dass es weiterhin blinde Flecken in den Modellen gibt, und dass die menschengemachte Erwärmung selbstverstärkende Prozesse in Gang setzen könnte (z.B. Austreten von Methan aus tauenden Permafrostböden, Veränderung in der Ozeanzirkulation), die unabhängig vom direkten Ausstoß von Treibhausgasen durch den Menschen den Erwärmungsprozess weiter beschleunigen könnten (Steffen et al. 2018).

## 1.2 Gesundheitsrelevante Folgen des Klimawandels in Deutschland

Extreme Trockenheit, vermehrte Starkregenereignisse, häufigere Hitzewellen und vermehrt auftretende Waldbrände sind Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels, die

wir – auch in Deutschland – schon zu spüren bekommen. Im Hauptteil dieses Kapitels soll beleuchtet werden, welchen Einfluss der Klimawandel auf Extremereignisse und schleichende Veränderungen dieser Art schon heute hat und welche Abschätzungen es für die Zukunft gibt. Hierbei können natürlich nicht alle denkbaren Folgen des Klimawandels genannt werden. Auswahlkriterien sind die Relevanz der Klimafolgen für die Gesundheit der Bevölkerung und der Bezug zu Deutschland, wobei jedoch auch die europäische und globale Ebene miteinbezogen wird.

### 1.2.1 Extremereignisse

#### Hitzewellen

Ende Juli 2019 trat im Westen Deutschlands eine nie dagewesene Hitzewelle auf. Im Höhepunkt der Hitzewelle wurden an 25 Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes über 40°C gemessen (Bissolli et al. 2019). In den Nachbarländern Belgien und Niederlande wurden zum ersten Mal seit Beginn der Wetteraufzeichnungen Temperaturen über 40°C erreicht. Eine formale Zuschreibungsstudie (vgl. Exkurs 3) kommt zu dem Schluss, dass diese extreme Hitzewelle ohne den Einfluss des anthropogenen Klimawandels sehr unwahrscheinlich gewesen wäre (Vautard et al. 2020). Oder anders ausgedrückt: Ein Ereignis dieser Art wäre in einem unveränderten Klima 1,5 bis 3°C kühler ausgefallen. Damit reiht sich diese Hitzewelle in eine ganze Reihe von europäischen Hitzewellen ein – angefangen mit dem denkwürdigen Hitzesommer von 2003 – die allesamt durch den anthropogenen Klimawandel wahrscheinlicher und stärker geworden sind (Stott et al. 2004; Barriopedro et al. 2011).

#### Exkurs 3: Ist der Klimawandel schuld?

Extremereignisse sind immer ein Produkt der Zufälligkeit des Wettergeschehens und des vorherrschenden Klimas. Deswegen lassen sich Einzelereignisse wie eine bestimmte Hitzewelle oder ein aufgetretener Sturm nie allein auf den menschengemachten Klimawandel zurückführen. Durch lange Beobachtungsreihen und durch Modellsimulationen lässt sich jedoch die Zufälligkeit des Wetters zusammen mit dem Klima statistisch beschreiben. Damit wird es dann möglich, in sogenannten Zuschreibungsstudien (engl. detection & attribution) Aussagen über den Einfluss des menschengemachten Klimawandels auf die Häufigkeit und die Stärke von Extremereignissen zu machen. Interessanterweise gibt es zunehmend Hinweise darauf, dass der menschengemachte Klimawandel, beispielsweise durch Beeinträchtigung des atmosphärischen Jetstream (Mann et al. 2017), auch das Wettergeschehen verändert. Dies ist ein aktuelles Thema der Klimaforschung und könnte in Bezug auf Extremereignisse noch für manche Überraschung sorgen.

Bei fortschreitendem Klimawandel ist für die Zukunft zu erwarten, dass in Deutschland häufigere, längere und stärkere Hitzewellen auftreten. Für ein moderates Szenario, das einen Anstieg der globalen Mitteltemperatur von etwa 3°C bis Ende des Jahrhunderts vorher sieht, kommt eine Studie unter Federführung des Deutschen Wetterdienstes zu dem Schluss, dass Hitzewellen dreimal häufiger auftreten, 25% länger andauern und etwa 1°C wärmer ausfallen werden (Zacharias et al. 2015). Eine andere Studie findet, dass sich die Anzahl der Hitzewellentage in Deutschland schon bis Mitte des Jahrhunderts (2021–2050) verdrei- bis sechsfachen könnte und dass Hitzewellen zum Ende des Jahrhunderts 3°C bis 4°C wärmer ausfallen könnten (Fischer u. Schär 2010). Eine Zunahme und Verstärkung von Hitzewellen dieser Größenordnung stellt ein signifikantes Gesundheitsrisiko dar, insbesondere in Bezug auf die mögliche Erhöhung von hitzebedingter Morbidität und Mortalität (s. Kap. 3 u. 4).

## Dürren

Im dritten Jahr in Folge war Deutschland im Sommer 2020 von starker Trockenheit betroffen. Karten des vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung betriebenen Dürremonitors weisen im September 2020 weite Teile des Landes als ungewöhnlich trocken aus (s. Abb. 5). Bisher gibt es keine wissenschaftliche Studie, die den Anteil des menschengemachten Klimawandels am Ausmaß dieser Dürre beziffert. Jedoch zeigt eine aktuelle Studie die Ungewöhnlichkeit der 2-Jahres-Dürre 2018–2019: Nie in den letzten 250 Jahren wurde eine Dürre dieses Ausmaßes in den betroffenen Teilen Zentral-

europas beobachtet (Hari et al. 2020). Für die Zukunft wird insbesondere für ein starkes Erwärmungsszenario (RCP8.5, s. Kap. 1.1.3) eine bedeutende Zunahme von Dürreereignissen dieser Art und der betroffenen Landesflächen projiziert. Es gibt zudem Hinweise darauf, dass Trockenheit und Dürre in Zentraleuropa stärker zunehmen könnten als die meisten Klimamodelle bisher annehmen (Orth et al. 2016). Mögliche direkte Gesundheitsauswirkung von Dürren in Deutschland ist eine Zunahme von Staubpartikeln in der Luft, deren gesundheitsschädliche Wirkung insbesondere in Bezug auf Wüstenstaub nachgewiesen wurde (Stanke et al. 2013; Giannadaki et al. 2014). Zudem gibt es Hinweise darauf, dass Starkregen (s. folgender Abschnitt) besonders dann das Risiko von wasserübertragenen Infektionskrankheiten erhöht, wenn eine trockene Periode vorausgegangen ist (Setty et al. 2018).

## Starkregen

Weil in einem wärmeren Klima mehr Wasser verdunstet und weil wärmere Luft mehr Wasserdampf halten kann, ist zu erwarten, dass die Niederschläge durch den menschengemachten Klimawandel insgesamt zunehmen – wohlge- merkt jedoch nicht räumlich und zeitlich gleichverteilt. Zusätzlich konnte man nachweisen, dass konvektive lokal begrenzte Extremniederschläge – wie sie häufig im Zusammenhang mit Gewittern auftreten – durch den Klimawandel in Deutschland wie in anderen Teilen der Welt bereits überproportional stark zugenommen haben (Berg et al. 2013). Dieser Typ Starkregenereignis stellt für die Bevölkerung ein besonders großes Risiko dar, weil er schlecht präzise vorherzusagen ist (Fuchs u. Becker 2020) und zu Sturzfluten führen kann – wie geschehen z.B. im Frühsommer 2016 in Braunsbach, als das Dorf infolge eines extremen Starkregens (> 70 Liter pro m<sup>2</sup> innerhalb einer Stunde) mit einer Lawine aus Geröll und Schlamm überrollt wurde. Für die Zukunft wird generell eine Zu-

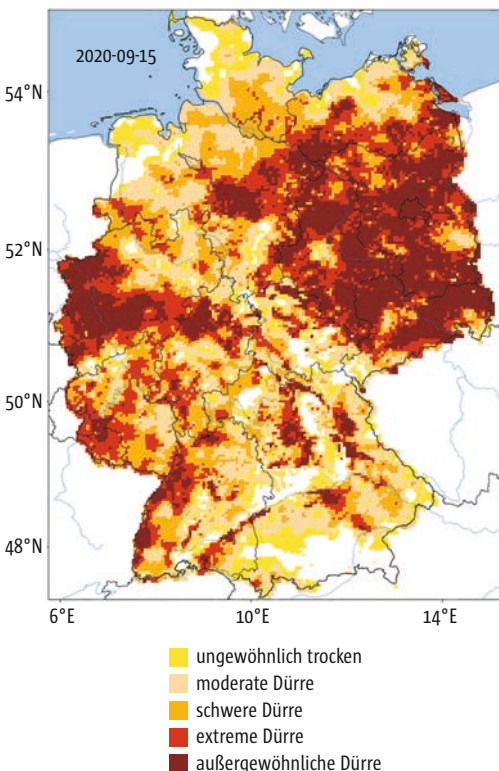


Abb. 5 Dürrezustand Gesamtboden bis ca. 1,8 m in Deutschland am 15. September 2020 (UFZ-Dürremonitor/Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung; <https://www.ufz.de/index.php?de=37937>)



nahme der Häufigkeit und der Heftigkeit von Starkregenereignissen erwartet – entsprechend der oben genannten thermodynamischen Zusammenhänge (Cardell et al. 2020). Jedoch sind zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Projektionen weiterhin mit hohen Unsicherheiten behaftet, weil insbesondere dynamische Prozesse des Wettergeschehens in den Klimamodellen nur ungenügend abgebildet sind und das Niederschlagsgeschehen stark von der natürlichen Variabilität des Klimas getrieben wird (Pfahl et al. 2017). Starkregenereignisse stellen in verschiedener Hinsicht ein Gesundheitsrisiko dar. Neben der direkten Gesundheitsgefährdung durch Überflutungen und Sturzfluten gibt es zum Beispiel auch in hoch entwickelten Ländern stichhaltige Hinweise für einen Zusammenhang zwischen Starkregen und dem vermehrten Auftreten von gastrointestinalen Infektionen (Jagai et al. 2015; Herrador et al. 2016).

### Stürme

Nach einem starken Wintersturm, der über Deutschland hinwegfegt, kommt immer wieder die Frage auf, ob solche Stürme durch den Klimawandel häufiger und stärker geworden sind. Zunächst lässt sich festhalten, dass die Datenlagen bezüglich historischen Trends in Sturmhäufigkeiten über dem Nord-Atlantik und dem Nordwesten Europas sehr uneindeutig ist. Je nach Auswertungszeitraum und Datenquelle finden verschiedene Studien eine Abnahme, eine Zunahme oder keinen Trend in der Anzahl der Stürme (Feser et al. 2015). Für die Zukunft weisen Modelle tendenziell eine Zunahme der Stärke der Winterstürme aus, obwohl dies nicht für alle Teile Europas gilt (Feser et al. 2015; Mölter et al. 2016). Für tropische Wirbelstürme gibt es inzwischen klare Indizien, dass sie über die letzten Jahrzehnte klimawandelbedingt stärker geworden sind (Kossin et al. 2020). Interessanterweise weisen Modellrechnungen darauf hin, dass auch Westeuropa

durch den Klimawandel häufiger durch hurrikanartige Stürme betroffen sein könnte, die ihren Ursprung in tropischen Wirbelstürmen haben (vgl. Exkurs 4). Mit einer generellen Zunahme von Gewittern unter fortschreitendem Klimawandel könnten auch assoziierte lokal auftretende Windböen bis zum Ende des Jahrhunderts zunehmen (Rädler et al. 2019).

#### Exkurs 4: Hurrikane in Europa?

Am 18. September 2020 traf der subtropische Sturm Alpha auf die Küste Portugals (s. Abb. 6). Der Sturm löste zwei Tornados in Portugal aus, führte zu Überschwemmungen, erheblichem Sachschaden und tötete einen Menschen. Klimatologisch stellte der Sturm ein historisches Ereignis dar. Seit modernen Aufzeichnungen hatte es vorher überhaupt nur einen anderen tropischen Sturm gegeben, der auf das europäische Festland ge-

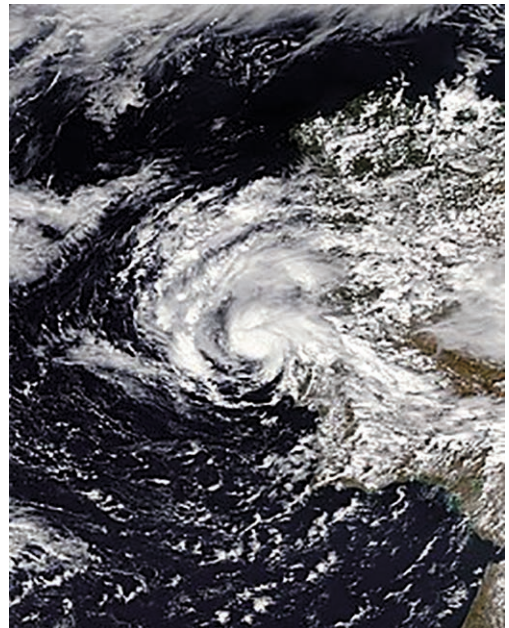


Abb. 6 Satellitenbild des subtropischen Sturms Alpha, der am 18. September 2020 auf die Küste Portugals traf. ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alpha\\_2020-09-18\\_1305Z.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alpha_2020-09-18_1305Z.jpg))



troffen war (Hurrikan Vince 2005). In der rekordverdächtigen Hurrikan-Saison 2020 musste man sich zum zweiten Mal in der Geschichte des griechischen Alphabets bedienen, um alle auftretenden Wirbelstürme noch benennen zu können. Noch nie war zudem ein tropischer Wirbelsturm aufgezeichnet worden, der seinen Ursprung so weit östlich im Atlantik hatte. Dies entspricht exakt der Vorhersage von Modellstudien, die zeigen, dass sich durch den Klimawandel die warmen Meeresoberflächentemperaturen, die eine Voraussetzung für die Entstehung tropischer Wirbelstürme sind, in den östlichen Atlantik ausdehnen (Haarsma et al. 2013). Auf Basis dieser Studien kommen die Autoren zu dem Schluss, dass heftige Stürme, die ihren Ursprung in tropischen Wirbelstürmen haben, eine ernsthafte Bedrohung für die Küsten Westeuropas werden könnten.

### Waldbrände

Die Dürrejahre 2018 und 2019 gingen in Deutschland mit einer vergleichsweise erhöhten Anzahl von Waldbränden und insbesondere einer größeren abgebrannten Fläche einher (UBA 2020). Bei der Entstehung von Waldbränden spielen klimaunabhängige Einflussfaktoren, wie die vorherrschenden Vegetationstypen und menschliches Fehlverhalten als Brandauslöser, eine wichtige Rolle. Heiße und trockene Witterungsbedingungen erhöhen jedoch nachweislich das Waldbrandrisiko. Eine 2019 veröffentlichte Studie konnte zeigen, dass der anthropogene Klimawandel schon heute auf gut 20% der potenziell brennbaren Landfläche der Erde Wetterlagen befördert, die Waldbrände wahrscheinlicher machen (Abatzoglou et al. 2019). Auch für Deutschland zeigen die genutzten Klimamodelle ein deutliches Signal des Klimawandels bezüglich Feuer befördernder Witterungsbedingungen ab den 2020er-Jahren. Jüngste Waldbrände von nie gesehener Intensität und Größe wie zuletzt in Australien, Sibirien und Kalifornien zeichnen das Bild eines durch den Klimawandel erhöhten Feuer-Risikos (Jones et al. 2020). Bis Ende des Jahrhunderts könnten Waldbrände in Europa, die heu-

te flächenmäßig ein Jahrhundert-Ereignis darstellen, alle 5 bis 50 Jahre auftreten (Forzieri et al. 2017). Insbesondere für Südeuropa wird bei einer globalen Erwärmung von 2°C bis 3°C eine deutliche Zunahme der von Waldbränden betroffenen Fläche projiziert, sogar wenn in den Modellen Anpassungsmechanismen im Feuermanagement und in der Vegetation berücksichtigt werden (Turco et al. 2018). Waldbrände stellen in verschiedener Hinsicht ein Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung dar. Neben dem akuten Risiko, dem insbesondere Anwohner und die Feuerwehr ausgesetzt sind, sind hier die waldbrandassoziierte Luftverschmutzung mit gut dokumentierten Auswirkungen auf Morbidität und Mortalität (s. Kap. 8) und psychologische Effekte zu nennen, die sich zum Teil erst nach Jahrzehnten manifestieren (Xu et al. 2020).

### 1.2.2 Schleichende Veränderungen

#### Weniger Frost und Schnee

Nach Analysen des Deutschen Wetterdienstes war der Winter 2019/2020 mit einer mittleren Temperatur von gut 4°C über dem langjährigen Mittel der zweitwärmste seit Beginn regelmäßiger Temperaturaufzeichnungen in Deutschland. Damit fügt sich dieser Winter in einen langfristigen Trend wärmerer Winter in Deutschland mit weniger Frost und Schnee ein. Im Zeitraum 1991–2018 nahm zum Beispiel die mittlere Zahl der Eistage (definiert als Tage, an denen die Lufttemperatur ununterbrochen unter 0°C bleibt) in Deutschland von 28 auf 19 Tage pro Jahr ab (Klimafakten 2020). Gemittelt über eine große Anzahl von Wetterstationen verringerte sich die Anzahl der Schneetage (definiert als Tag, an dem am Morgen mindestens 1 cm Schnee liegt) um einen halben Tag pro Jahr über die letzten Jahrzehnte (Kreyling u. Henry 2011). Bis zum Ende des Jahrhunderts ist bei fortschreitendem Klimawandel zu erwarten, dass weite Teile Deutschland regelmäßig

keinen Schnee mehr erleben werden (Jylhä et al. 2008); vgl. Exkurs 5). Über Satelliten lässt sich die abnehmende Schneebedeckung seit den 1970er-Jahren in der gesamten nördlichen Hemisphäre aus dem All beobachten (Bormann et al. 2018). Veränderungen in der Schneebedeckung und in der Anzahl von Frosttagen können direkte gesundheitliche Folgen für die Bevölkerung mit sich bringen. So wird beispielsweise die geografische Ausbreitung von krankheitsübertragenden Zecken in Europa mit milderem Winter in Zusammenhang gebracht. Auch für die Verbreitung anderer Krankheitsvektoren, wie beispielsweise der Asiatischen Tigermücke, spielen winterliche Witterungsbedingungen eine wichtige Rolle.

## Exkurs 5: Zukunft ohne „weiße Weihnachten“?

Jedes Jahr aufs Neue hoffen viele Menschen in Deutschland auf „weiße Weihnachten“. Die Frage stellt sich, ob der Klimawandel die Wahrscheinlichkeit „weißer Weihnachten“ bereits verringert hat und ob wir in Zukunft dauerhaft „grüne Weihnachten“ erleben werden. Dazu

gibt es keine ausführliche wissenschaftliche Untersuchung für Deutschland oder andere Länder Zentraleuropas. Die Abbildung 7 zeigt exemplarisch die mittlere Tagestemperatur am 24. Dezember jeden Jahres aufgezeichnet seit 1950 durch die Messstation des Deutschen Wetterdienstes in Berlin-Dahlem. Aus den Daten lässt sich ein signifikanter Erwärmungstrend ( $p < 0,05$ ) von etwa einem halben Grad pro Dekade ablesen. Es zeigt sich zudem, dass „weiße Weihnachten“ auch in den 1950er- bis 1980er-Jahren eher die Ausnahme als die Regel war, mit nur etwa einem Drittel der Jahre, in denen am 24. und/oder 25. Dezember Schnee gefallen ist. Die große Zufallskomponente in der Schneefallhäufigkeit zu einem bestimmten Datum lässt mit begrenzter Datenlage keine Aussage über den Einfluss des Klimawandels auf die Wahrscheinlichkeit „weißer Weihnachten“ zu. Die Daten zeigen jedoch, dass die Häufigkeit „weißer Weihnachten“ in der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraums in Berlin im Vergleich zur ersten Hälfte abgenommen hat – wie angesichts des Erwärmungstrends zu erwarten war. Entsprechend der Schneeprojektionen unter Klimawandel für Deutschland (Kreyling u. Henry 2011) kann man davon ausgehen, dass „weiße Weihnachten“ in der Zukunft zunehmend zu einem extrem seltenen Ereignis wird. In diesem Zu-

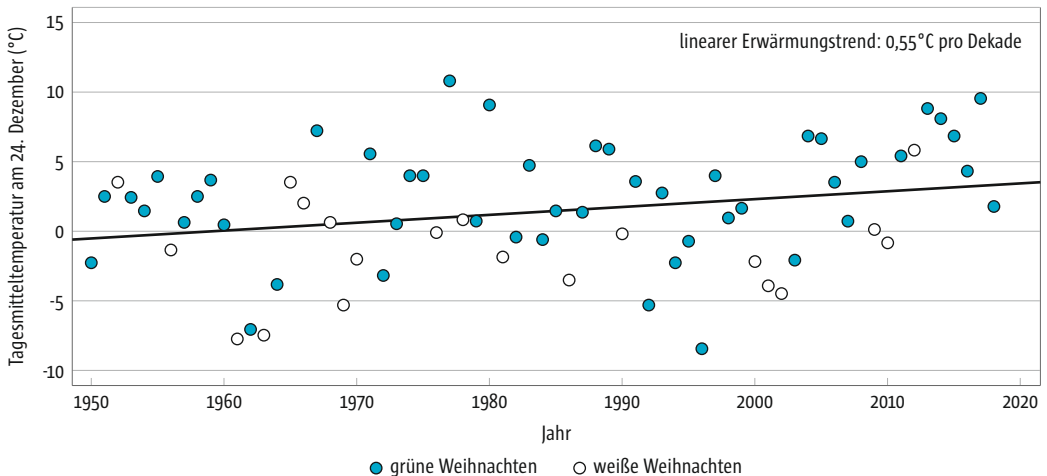


Abb. 7 Erwärmungstrend der Tagesmitteltemperatur am 24. Dezember an der Station des Deutschen Wetterdienstes Berlin-Dahlem in der Periode 1950–2018. Weiße Punkte zeigen Jahre mit „weißen Weihnachten“ (definiert als Jahre, in denen am 24. und/oder 25. Dezember morgens um 7 Uhr mindestens 1 cm Schnee gemessen wurde). (Daten: [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html))

sammenhang ist auf Studien zu verweisen, die unter dem Stichwort „ökologische Trauer“ (engl. „ecological grief“) die psycho-sozialen Auswirkungen des Verlusts von Kulturgütern durch den Klimawandel untersuchen. In Umfragen mit bereits heute besonders vom Klimawandel betroffenen Bevölkerungsgruppen zeigte sich, wie die erlebte Veränderung von Ökosystemen, Landschaften und tradierten Lebensweisen Verlustängste und Trauer auslösen können (Cunsolo u. Ellis 2018).

### Meeresspiegelanstieg

Derzeit leben knapp 10% der Weltbevölkerung in direkter Küstennähe. Diese Menschen erleben zum Teil heute schon die Auswirkungen des durch den anthropogenen Klimawandel gestiegenen Meeresspiegels. Im globalen Durchschnitt ist der Meeresspiegel seit Beginn des 20. Jahrhunderts durch größere Ausdehnung des wärmeren Wassers und durch Abschmelzen der Landeismassen um gut 15 cm angestiegen (IPCC 2019). Zu beachten ist jedoch, dass aufgrund von Meeresströmungen und des Hebens und Senkens von Landmassen (z.B. auch durch örtliche Grundwasserentnahme) lokale Veränderungen des Meeresspiegels stark vom globalen Mittelwert abweichen können. An den deutschen Küsten der Nord- und Ostsee sind die Pegelstände zum Teil seit Mitte des 19. Jahrhunderts gut dokumentiert. Beispielsweise ist der mittlere Meeresspiegel in Cuxhaven seit Beginn der Pegelstandsmessungen im Jahr 1843 bis heute um bereits etwa 40 cm angestiegen (Klimafakten 2020). Zudem lässt sich an Nord- und Ostsee – wie auch weltweit – eine Beschleunigung des Anstiegs verzeichnen. Bei ungabremstem Klimawandel (entsprechend Szenario RCP8.5, s. Kap. 1.1.3) könnte der mittlere Meeresspiegel global bis Ende des Jahrhunderts einen Anstieg in der Größenordnung von einem Meter erreichen (IPCC 2019). Auch bei danach nicht weiter zunehmenden globalen Temperaturen würde der Meeresspiegel aufgrund der trägen Dynamik der Landeismassen hunderte bis tausende Jahre weiter ansteigen. Bekannt

ist, dass der Meeresspiegel in wärmeren Zeiten der Erdgeschichte bedeutend höher lag. Während der letzten Zwischeneiszeit vor 125.000 Jahren (s. Kap. 1.1.2) bei etwa gleicher globaler Mitteltemperatur wie heute befand sich der Meeresspiegel beispielsweise auf ca. 6 bis 9 Meter höherem Niveau. Trotz Küstenschutz und Deichbau können Sturmfluten zunehmend zu einem Gesundheitsrisiko für die in Küstennähe wohnende Bevölkerung werden. Zudem kann die Ausweitung von Brackwassergebieten die Verbreitung von Krankheitsvektoren erleichtern und auch die Versalzung von Trinkwasserreservoirs muss als mögliche Gesundheitsauswirkung des steigenden Meeresspiegels mitgedacht werden (Parker 2014).

### 1.3 Fazit

Der Klimawandel ist im Begriff, die Umwelt und Lebensgrundlagen der Menschen tiefgreifend zu verändern. Die vorhergehenden Ausführungen zeigen nur einen kleinen Ausschnitt der bereits eingetretenen und für die Zukunft zu erwartenden Veränderungen in Deutschland und weltweit (s. Kap. 2 für eine ausführlichere Darstellung der Gesundheitsrisiken des Klimawandels aus globaler Perspektive). Die Weichenstellungen der kommenden Jahre werden entscheidend dafür sein, ob das im Pariser Klimaabkommen vereinbarte Ziel, die globale Erwärmung auf unter 2°C zu begrenzen, überhaupt noch erreichbar ist (vgl. Exkurs 1), und ob damit eine Anpassung an die veränderten Lebensbedingungen ohne disruptive Konflikte möglich sein wird. In dieser kritischen Phase nimmt der Gesundheitssektor eine zentrale Rolle ein (Bobbert 2020). Ärzte und anderes Gesundheitspersonal können die Risiken des Klimawandels für die menschliche Gesundheit kommunizieren und damit ein Gefühl der Betroffenheit erzeugen, das Grundlage für ein verstärktes Klimaschutzengagement werden kann (s. Kap. 13). Auch bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist die Gesell-

schaft auf das Gesundheitspersonal angewiesen. Zentrale Anpassungsbemühungen, wie die Umsetzung von Hitzeaktionsplänen oder die Aufklärung über umweltbedingte Gesundheitsrisiken, würden ohne die Mithilfe des Gesundheitssektors ins Leere laufen.

## Literatur

- Abatzoglou JT, Williams AP, Barbero R (2019) Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. *Geophys Res Lett* 46:326–336. doi: 10.1029/2018GL080959
- Allen MR, Frame DJ, Huntingford C et al. (2009) Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature* 458:1163–1166. doi: 10.1038/nature08019
- Barriopedro D, Fischer EM, Luterbacher J et al. (2011) The Hot Summer of 2010 : Map of Europe. *Science* (80-) Vol. 332:220–224. doi: 10.1126/science.1201224
- Berg P, Moseley C, Haerter J (2013) Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nature Geosci* 6:181–185. doi: 10.1038/ngeo1731
- Bissolli P, Deutschländer T, Imbery F et al. (2019) Hitzewelle Juli 2019 in Westeuropa–neuer nationaler Rekord in Deutschland. In: Deutscher Wetterdienst. URL: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190801\\_hitzerekord\\_juli2019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190801_hitzerekord_juli2019.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (abgerufen am 04.03.2021)
- Bobbert P (2020) Klimawandel ist Thema der Ärzteschaft. *Deutsches Ärzteblatt* 117: 33–34. A1560.
- Bormann KJ, Brown RD, Derksen C, Painter TH (2018) Estimating snow-cover trends from space. *Nat Clim Chang* 8:924–928. doi: 10.1038/s41558-018-0318-3
- Bova S, Rosenthal Y, Liu Z, Ghodad SP, Yan M (2021) Seasonal origin of the thermal maxima at the Holocene and the last interglacial. *Nature* 589: 548–553. doi: 10.1038/s41586-020-03155-x
- Cardell MF, Amengual A, Romero R, Ramis C (2020) Future extremes of temperature and precipitation in Europe derived from a combination of dynamical and statistical approaches. *Int J Climatol* 40:4800–4827. doi: 10.1002/joc.6490
- Climate Action Tracker (2020) URL: <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/> (abgerufen am 04.03.2021)
- Crutzen PJ (2002) Geology of mankind. *Nature* 415:23. doi: 10.1038/415023a
- Cunsolo A, Ellis N (2018) Ecological grief as a mental health response to climate change-related loss. *Nature Clim Change* 8:275–281. doi: 10.1038/s41558-018-0092-2
- Feser F, Barcikowska M, Krueger O et al. (2015) Storminess over the North Atlantic and northwestern Europe–A review. *QJR Meteorol Soc* 141:350–382. doi: 10.1002/qj.2364
- Fischer EM, Schär C (2010) Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nat Geosci* 3:398–403. doi: 10.1038/ngeo866
- Forzieri G, Cescatti A, e Silva FB, Feyen L (2017) Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. *Lancet Planet Heal* 1:e200–e208. doi: 10.1016/S2542-5196(17)30082-7
- Fuchs T, Becker A (2020) Mehr Starkregen in Deutschland durch den Klimawandel. URL: <https://crisis-prevention.de/katastrophenschutz/mehr-starkregen-in-deutschland-durch-den-klimawandel.html#> (abgerufen am 04.03.2021)
- Giannadaki D, Pozzer A, Lelieveld J (2014) Modeled global effects of airborne desert dust on air quality and premature mortality. *Atmos Chem Phys* 14:957–968. doi: 10.5194/acp-14-957-2014
- Haarsma RJ, Hazeleger W, Severijns C et al. (2013) More hurricanes to hit western Europe due to global warming. *Geophys Res Lett* 40:1783–1788. doi: 10.1002/grl.50360
- Hari V, Rakovec O, Markonis Y et al. (2020) Increased future occurrences of the exceptional 2018–2019 Central European drought under global warming. *Sci Rep* 10:1–10. doi: 10.1038/s41598-020-68872-9
- Herrador BG, De Blasio BF, Carlander A et al. (2016) Association between heavy precipitation events and waterborne outbreaks in four Nordic countries, 1992–2012. *J Water Health* 14:1019–1027. doi: 10.2166/wh.2016.071
- IPCC (2019) IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. URL: <https://www.ipcc.ch/srocc/> (abgerufen am 04.03.2021)
- Jagai JS, Li Q, Wang S et al. (2015) Extreme precipitation and emergency room visits for gastrointestinal illness in areas with and without combined sewer systems: An analysis of Massachusetts data, 2003–2007. *Environ Health Perspect* 123:873–879. doi: 10.1289/ehp.1408971
- Jones MW, Smith A, Betts R et al. (2020) Climate change increases the risk of wildfires. *Rapid Response Rev* 2013–2015.
- Jylhä K, Fronzek S, Tuomenvirta H et al. (2008) Changes in frost, snow and Baltic sea ice by the end of the twenty-first century based on climate model projections for Europe. *Clim Change* 86:441–462. doi: 10.1007/s10584-007-9310-z
- KC S, Lutz W (2017) The human core of the shared socioeconomic pathways: population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100. *Glob. Environ. Change* 42:181–92
- Klimafakten (2020) Was wir heute übers Klima wissen. URL: <https://www.klimafakten.de/meldung/was-wir-heute-uebers-klima-wissen-basisfakten-zum-klimawandel-die-der-wissenschaft> (abgerufen am 04.03.2021)
- Kossin JP, Knapp KR, Olander TL, Velden CS (2020) Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. *Proc Natl Acad Sci USA* 117:11975–11980. doi: 10.1073/pnas.1920849117
- Kreyling J, Henry HAL (2011) Vanishing winters in Germany: Soil frost dynamics and snow cover trends, and ecological implications. *Clim Res* 46:269–276. doi: 10.3354/cr00996
- Mann ME, Rahmstorf S, Kornhuber K et al. (2017) Influence of Anthropogenic Climate Change on Planetary Wave Resonance and Extreme Weather Events. *Sci Rep* 7:1–12. doi: 10.1038/srep45242

# 1 Der anthropogene Klimawandel und seine Folgen: wie sich Umwelt- und Lebensbedingungen in Deutschland verändern

- Marcott SA, Shakun JD, Clark PU, Mix AC (2013) A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science* 339: 1198–1201. doi: 10.1126/science.1228026
- Minx J, Fuss, S, Nemet G (2018) Seven key things to know about 'negative emissions'. In: Carbon Brief. URL: <https://www.carbonbrief.org/guest-post-seven-key-things-to-know-about-negative-emissions> (abgerufen am 04.03.2021).
- Möller T, Schindler D, Albrecht AT, Kohnle U (2016) Review on the projections of future storminess over the North Atlantic European region. *Atmosphere (Basel)* 7:1–40. doi: 10.3390/atmos7040060
- O'Neill BC et al. (2016) The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6 Geosci. Model Dev. 9: 3461–82
- Orth R, Zscheischler J, Seneviratne SI (2016) Record dry summer in 2015 challenges precipitation projections in Central Europe. *Sci Rep* 6:1–8. doi: 10.1038/srep28334
- Parker CL (2014) Health Impacts of Sea-Level Rise. *Plan. Environ. Law* 66:8–12
- Pfahl S, O'Gorman P, Fischer E (2017) Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation. *Nature Clim Change* 7:423–427. doi: 10.1038/nclimate3287
- Rädler AT, Groenemeijer PH, Faust E et al. (2019) Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21st century due to rising instability. *npj Climate and Atmospheric Science* 2:30. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0083-7>
- Rahmstorf S (2020) Deutschland ist schon 2°C wärmer geworden. In: SciLogs Klimalounge. URL: <https://scilog.spektrum.de/klimalounge/deutschland-ist-schon-2c-waermer-geworden/> (abgerufen am 04.03.2021)
- Riahi K et al. (2017) The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change* 42:153–168. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009
- Rockström J, Gaffney O, Rogelj J et al. (2017) A roadmap for rapid decarbonization. *Science (80-)* 355:1269–1271. doi: 10.1126/science.aah3443
- Rohling EJ, Sluijs A, Dijkstra HA et al. (2012) Making sense of paleoclimate sensitivity. *Nature* 491:683–691. doi: 10.1038/nature11574
- Setty KE, Enault J, Loret JF et al. (2018) Time series study of weather, water quality, and acute gastroenteritis at Water Safety Plan implementation sites in France and Spain. *Int J Hyg Environ Health* 221:714–726. doi: 10.1016/j.ijheh.2018.04.001
- Shakun J, Clark P, He F et al. (2012) Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature* 484, 49–54. doi: 10.1038/nature10915
- Stanke C, Kerac M, Prudhomme C et al. (2013) Health Effects of Drought: A Systematic Review of the Evidence. *PLoS Curr* 1–39. doi: 10.1371/currents.dis.7a2cee9e980f91ad7697b570bcc4b004
- Steffen W, Rockström J, Richardson K et al. (2018) Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc Natl Acad Sci USA* 115:8252–8259. doi: 10.1073/pnas.1810141115
- Stott PA, Stone DA, Allen MR (2004) Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature* 432:610–614. doi: 10.1038/nature03089
- Tokarska KB, Stolpe MB, Sippel S et al. (2020) Past warming trend constrains future warming in CMIP6 models. *Sci Adv* 6:1–14. doi: 10.1126/sciadv.aaz9549
- Turco M, Rosa-Cánovas JJ, Bedia J et al. (2018) Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nat Commun* 9:1–9. doi: 10.1038/s41467-018-06358-z
- UBA (2020) Waldbrände. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/waldbraende#waldbrände-in-deutschland> (abgerufen am 04.03.2021)
- 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*. doi: 10.1088/1748-9326/aba3d4
- Xu R, Yu P, Abramson MJ et al. (2020) Wildfires, Global Climate Change, and Human Health. *N Engl J Med*. doi: 10.1056/nejmsr2028985
- Yan Y, Bender ML, Brook EJ et al. (2019) Two-million-year-old snapshots of atmospheric gases from Antarctic ice. *Nature* 574:663–666. doi: 10.1038/s41586-019-1692-3
- Zacharias S, Koppe C, Mücke H (2015) Climate Change Effects on Heat Waves and Future Heat Wave-Associated IHD Mortality in Germany. *Climate* 100–117. doi: 10.3390/cli3010100
- Zelinka MD, Myers TA, McCoy DT et al. (2020) Causes of Higher Climate Sensitivity in CMIP6 Models. *Geophys Res Lett* 47:1–12. doi: 10.1029/2019GL085782



Dr. Veronika Huber

Sie studierte Biologie und Ökologie an der Universität Konstanz und der École normale supérieure in Paris. Nach einer Promotion zu den Folgen des Klimawandels in Seeökosystemen arbeitete sie mehrere Jahre am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung als Wissenschaftliche Referentin des Direktors. Derzeit ist sie als Wissenschaftlerin an der Universidad Pablo de Olavide in Sevilla, Spanien tätig, wo sie zu den Gesundheitsauswirkungen des Klimawandels forscht.