

Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022

Einleitung

Die gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze sind in letzter Zeit immer stärker in den Fokus von Forschung und Öffentlichkeit getreten.^{1,2} Insbesondere zeigt sich gerade in älteren Altersgruppen ein systematischer Zusammenhang zwischen hohen Außentemperaturen und erhöhten Sterberaten. Die Gründe für diese hitzebedingte Mortalität sind vielfältig und reichen von Todesfällen durch Hitzeschlag bis hin zu komplexeren Konstellationen, etwa bei Menschen mit vorbestehenden Herz-Kreislauf- oder Lungenerkrankungen. In diesen Fällen wird typischerweise nur die Grunderkrankung in der Todesursachenstatistik erfasst und daher sind statistische Verfahren notwendig, um die Gesamtzahl hitzebedingter Sterbefälle zu schätzen.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit haben wir die hitzebedingte Mortalität in Deutschland im Zeitraum 1992 bis 2021 untersucht.³ Ein Ergebnis dieser Analyse war, dass es in den Jahren 2018 bis 2020 zum ersten Mal innerhalb des Untersuchungszeitraums in drei aufeinander folgenden Jahren zu einer signifikanten Anzahl hitzebedingter Sterbefälle kam.

Die vorliegende Arbeit ergänzt die bisherigen Untersuchungen um Schätzungen der hitzebedingten Mortalität im Jahr 2022. Auch dieser vergangene Sommer war von hohen Außentemperaturen geprägt. Im Vergleich mit dem langjährigen Durchschnitt war der Sommer 2022 der sonnigste und viertwärmste seit Aufzeichnungsbeginn.⁴

Im vergangenen Sommer sind zum ersten Mal erhöhte Anzahlen von Sterbefällen durch Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) während Hitzeperioden aufgetreten. In der vorliegenden Untersuchung betrachten wir Hitze und COVID-19 als zwei im Wesentlichen unabhängige Ursachen von Übersterblichkeit und beschränken daher unsere Modellierung auf die verbleibende Gesamtmortalität nach Abzug der gemeldeten COVID-19-Sterbefälle.

Daten

Wie auch in den oben genannten Arbeiten beziehen wir in die Modellierung Daten des gesamten Zeitraums 1992 bis 2022 ein. Da der Fokus der Auswertung auf dem Jahr 2022 liegt, präsentieren wir hier jedoch nur Ergebnisse der letzten Dekade 2012 bis 2022. Aufgrund der zeitnahen Berichterstattung gehen für den Sommer 2022 nur die Kalenderwochen (KW) bis zur KW 36 (bis 11.09.2022) ein.

Aktuelle Daten zur Gesamtmortalität beziehen wir aus der „Sonderauswertung zu Sterbefallzahlen der Jahre 2020 bis 2022“ des Statistischen Bundesamtes.⁷ Diese sind nach KW, Bundesland und vier Altersgruppen (<65, 65–74, 75–84, 85+ Jahre) aggregiert. Für die Modellierung ziehen wir davon jeweils die wöchentliche Anzahl der an das Robert Koch-Institut gemeldeten COVID-19-Sterbefälle⁸ ab.

Zur Bestimmung der Mortalität (Sterbefälle pro 100.000 Einwohner) ziehen wir außerdem die offizielle Bevölkerungsstatistik von DESTATIS sowie die Ergebnisse der Bevölkerungsprojektion für das Jahr 2022 heran, ausgehend von moderaten Entwicklungen in Geburtenhäufigkeit, Lebenserwartung und Wanderungssaldo (Szenario G2-L2-W2).⁹

Für die Temperaturdaten verwenden wir stündliche Messungen der Lufttemperatur von 52 Stationen des Bodenmessnetzes des Deutschen Wetterdienstes. Diese Daten wurden zuerst über die 24 Stunden eines Tages und dann über KW und Bundesland gemittelt. Wir beschränken die Analyse auf das Sommerhalbjahr (KW 15–40 bzw. 15–36 im Jahr 2022) und unterscheiden drei Dekaden: 1992–2001, 2002–2011 und 2012–2022.

Wir unterteilen die Bundesländer in vier große Regionen: „Norden“ (Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Schleswig-Holstein), „Osten“ (Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen), „Westen“ (Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Hessen) und „Süden“ (Baden-Württemberg, Bayern).

Dadurch können auch regionale Besonderheiten der Wirkung hoher Temperaturen auf die Mortalität erfasst werden. Diese Unterteilung unterscheidet sich von früheren Modellierungen, welche die Regionen Osten und Westen gemeinsam als „Mitte“ betrachteten.^{3,6}

Methoden

Für die Schätzung der Anzahl hitzebedingter Sterbefälle bilden wir zuerst den Verlauf der Gesamtmortalität mithilfe eines generalisierten additiven Modells¹⁰ nach. Diese Modellierung berücksichtigt insbesondere langfristige Trends der Mortalität, saisonale Veränderungen sowie Expositions-Wirkungskurven, die den Einfluss der Wochenmitteltemperatur auf die Mortalitätsrate quantifizieren. Um auch verzögerte Effekte der Temperatur zu erfassen, schließen wir neben der Temperatur der gleichen Woche auch die Temperaturen von bis zu drei Vorwochen in die Modellierung mit ein.

Zur Definition von Hitze verwenden wir einen Schwellenwert, der mithilfe der Expositions-Wirkungskurven bestimmt wird. Für Wochenmitteltemperaturen über diesem Schwellenwert gehen wir von einem kausalen Einfluss der Temperatur auf die Mortalität aus. Der Schwellenwert wird separat pro Region, Altersgruppe und Dekade geschätzt, bewegt sich aber im Allgemeinen in der Nähe von etwa 20°C. Teilweise verwenden wir daher auch den Wert von 20°C zur Definition einer „Hitzewoche“.

Aus dem Modell können wir den Verlauf einer hypothetischen „Hintergrundmortalität“ schätzen, das heißt den erwarteten Mortalitätsverlauf unter der Annahme, dass die Wochenmitteltemperatur stets unterhalb des Schwellenwertes verbleibt. Die Anzahl hitzebedingter Sterbefälle ergibt sich dann aus der Differenz des modellierten Mortalitätsverlaufs und der Hintergrundmortalität.

Die vorliegende Modellierung stimmt in den wesentlichen Komponenten mit früheren Ansätzen^{3,6} überein und wird dort detailliert beschrieben. Abweichungen treten in drei Punkten auf: In der vorliegenden Fassung unterscheiden wir vier statt bisher drei Regionen, bei der Schätzung des langfristigen Trends der Gesamtmortalität berücksichtigen

wir Unterschiede zwischen den Bundesländern (statt wie bisher einheitliche Trends pro Region anzunehmen) und schließlich betrachten wir als Zielvariable statt der Gesamtmortalität die Gesamtmortalität nach Abzug der COVID-19-Todesfälle.

Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die vier betrachteten Regionen (Norden, Osten, Westen und Süden) sowie die jeweilige maximale Wochenmitteltemperatur und durchschnittliche Anzahl der Hitzezeiten im Zeitraum 2012 bis 2022. Die Darstellung verdeutlicht insbesondere die Expositionsunterschiede zwischen den Regionen: Im gesamten Zeitraum traten beispielsweise im Norden regelmäßig weniger Hitzezeiten auf als in den anderen Regionen.

Im Vergleich der Dekade seit 2012 weist das Jahr 2022 eine hohe Anzahl von Hitzezeiten auf, vergleichbar mit dem Rekordsommer 2018. Die maximale Wochenmitteltemperatur lag allerdings in allen Regionen deutlich niedriger als 2018.

Abbildung 2 zeigt die geschätzte Anzahl hitzebedingter Sterbefälle in der Dekade 2012 bis 2022. Für

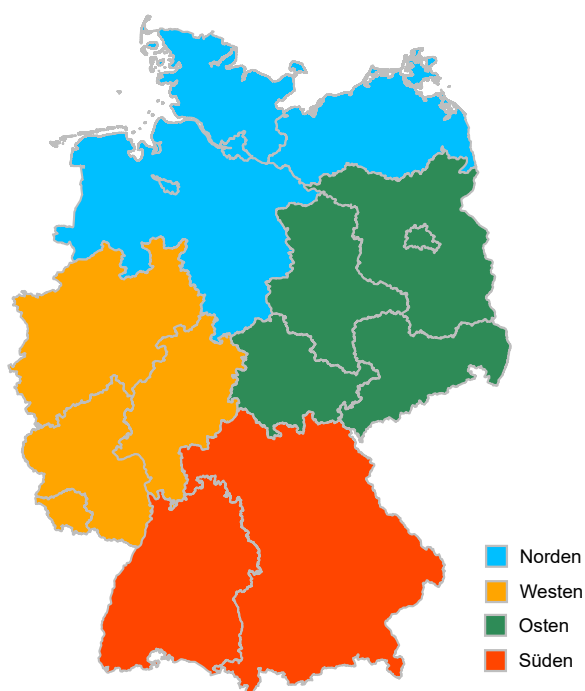
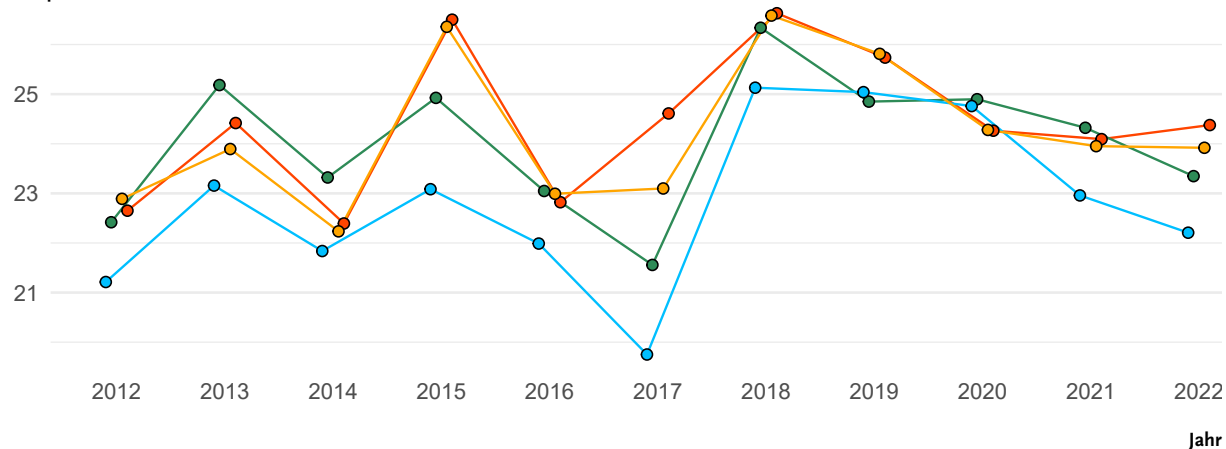
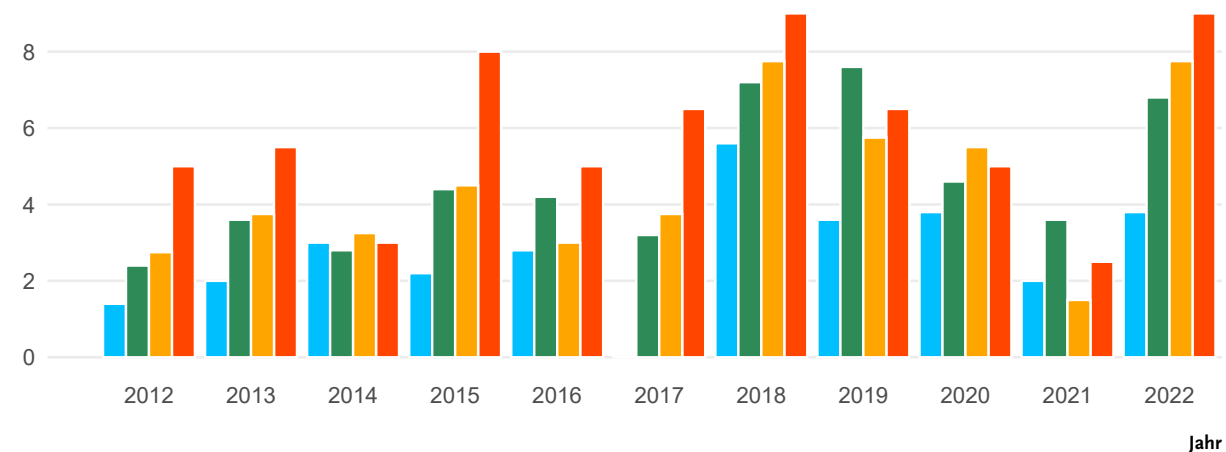


Abb. 1A | Unterteilung der Bundesländer in die Regionen Norden, Osten, Westen und Süden.

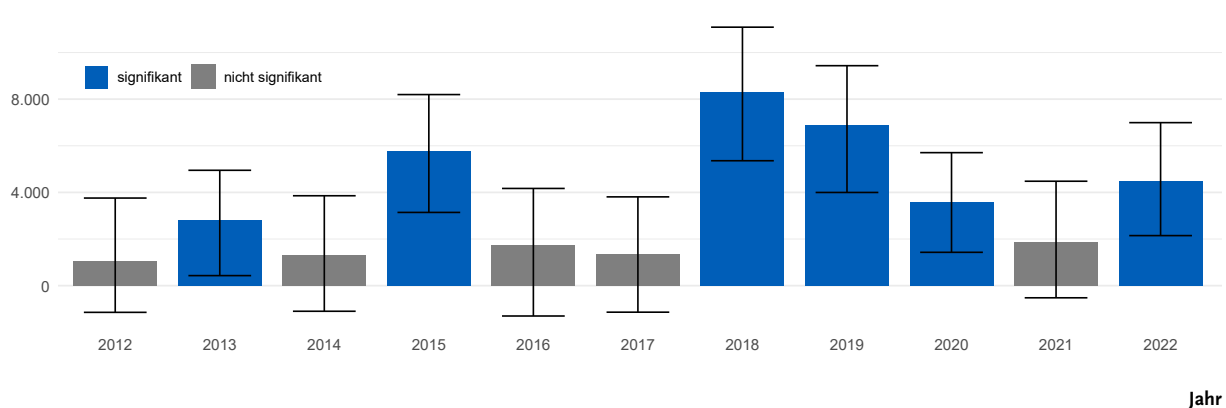
Temperatur in °C



Wochenanzahl



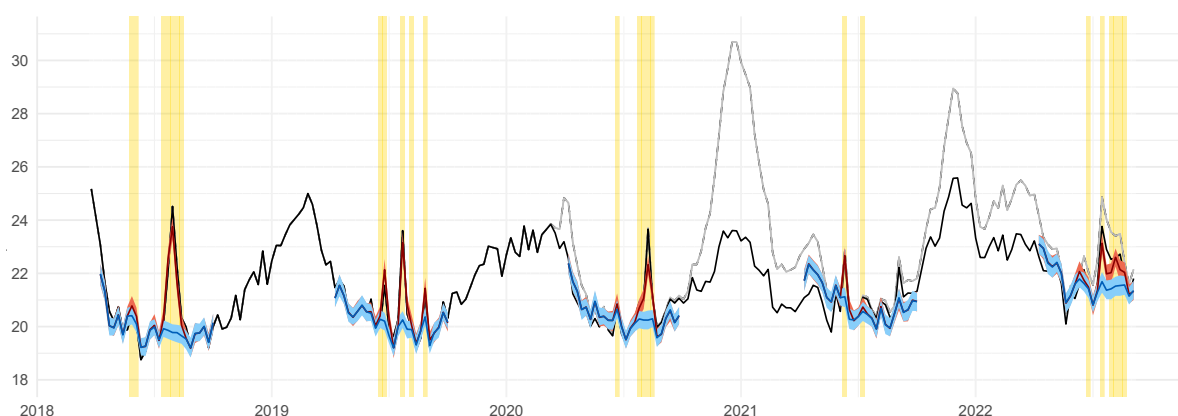
Anzahl Sterbefälle



das Jahr 2022 wurden deutschlandweit rund 4.500 (95 %-Prädiktionsintervall 2.100–7.000) hitzebedingte Sterbefälle geschätzt, womit das Jahr in einer ähnlichen Größenordnung liegt wie die Jahre 2015, 2019 und 2020.

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Gesamtmortalität im Zeitraum 2018 bis 2022 (A) sowie eine Hervorhebung des Sommers 2022 (C). Seit dem Beginn der COVID-19-Pandemie im Frühjahr 2020 muss bei der Betrachtung der Gesamtmortalität stets

Sterbefälle pro 100.000 Einwohner

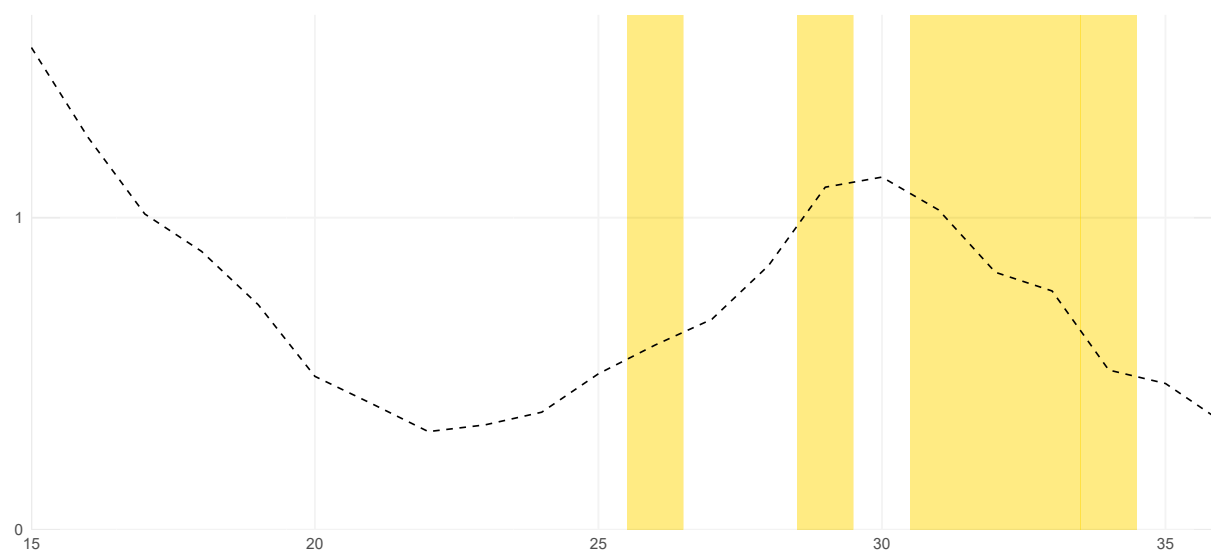


Kalenderwochen 2018–2020

Abb. 3A | A) Verlauf der Gesamtmortalität (Sterbefälle pro 100.000 Einwohner, grau) im Zeitraum 2018 bis 2022. Die schwarze Linie zeigt den Verlauf der Gesamtmortalität nach Abzug der gemeldeten COVID-19-Sterbefälle. Die rote Linie zeigt den vom Modell nachgebildeten Verlauf der Gesamtmortalität, die blaue Linie zeigt den geschätzten Verlauf der Hintergrundmortalität. Hitzewochen, d.h. Wochen, in denen die Wochenmitteltemperatur (T) 20°C übersteigt, sind gelb hervorgehoben.

mit Hitze ohne Hitze $T > 20^{\circ}\text{C}$ - - COVID-19-Mortalität — Gesamtmortalität ohne COVID-19 — Gesamtmortalität

COVID-19-Sterbefälle pro 100.000 Einwohner



Kalenderwochen 2022

Abb. 3B | Verlauf der COVID-19-Sterbefälle pro 100.000 Einwohner im Sommer 2022. Hier zeigt sich kein eindeutiger Zusammenhang mit hohen Außentemperaturen, insbesondere sind im Gegensatz zur Gesamtmortalität keine „Peaks“ während Hitzewochen zu beobachten.

Sterbefälle pro 100.000 Einwohner

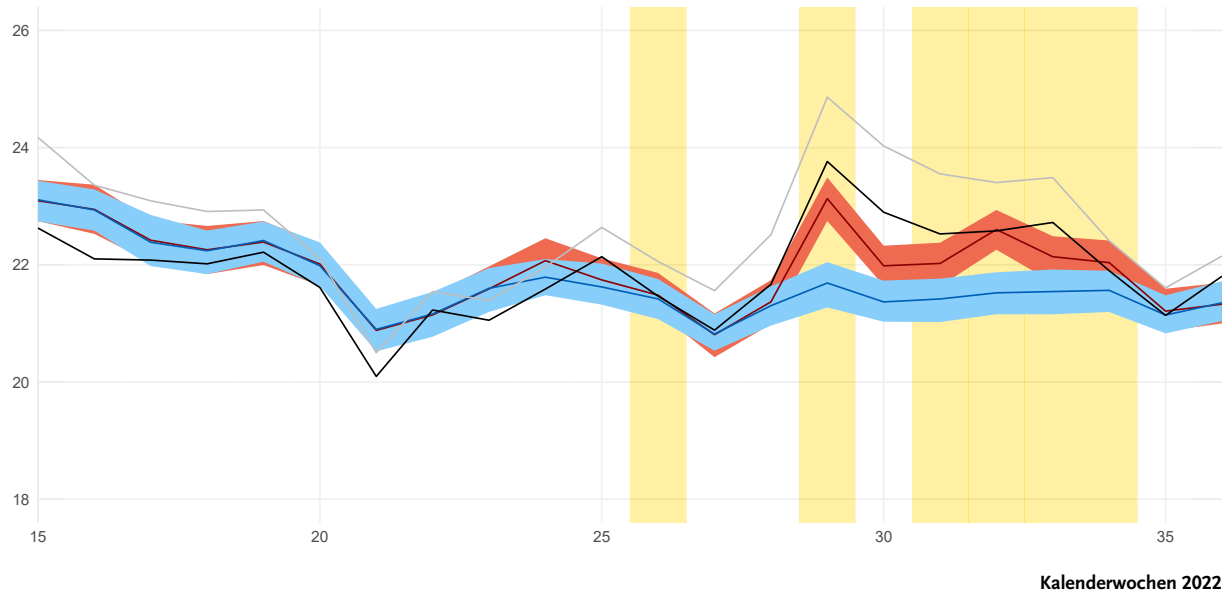


Abb. 3C | Größere Darstellung des Verlaufs der Gesamtmortalität für das Sommerhalbjahr (Kalenderwoche 15–36) 2022.

auch der Einfluss der COVID-19-Sterbefälle berücksichtigt werden. In den Sommern 2020 und 2021 traten verhältnismäßig wenig Sterbefälle durch COVID-19 auf,⁹ weshalb wir in früheren Schätzungen die COVID-19-Sterbefälle nicht gesondert betrachteten.³ Im Sommer 2022 kam es dagegen durch die hohen Infektionszahlen mit der Omikron-Variante BA.5 vermehrt zu COVID-19-Sterbefällen. Abbildung 3B zeigt den Verlauf der gemeldeten COVID-19-Sterbefälle, wobei auch hier Wochen mit Mitteltemperaturen über 20°C gelb hinterlegt sind.

Im Gegensatz zur Gesamtmortalität zeigt der Verlauf der COVID-19-Mortalität keine charakteristischen „Hitzepeaks“.

Regionale Auswertung

Abbildung 4 zeigt die geschätzte hitzebedingte Mortalität im Zeitraum 2012 bis 2022 für die vier Regionen Norden, Osten, Westen und Süden. Hier fällt auf, dass das Ausmaß der hitzebedingten Mortalität nicht immer eindeutig mit der beobachteten Expo-

Anzahl Sterbefälle pro 100.000 Einwohner

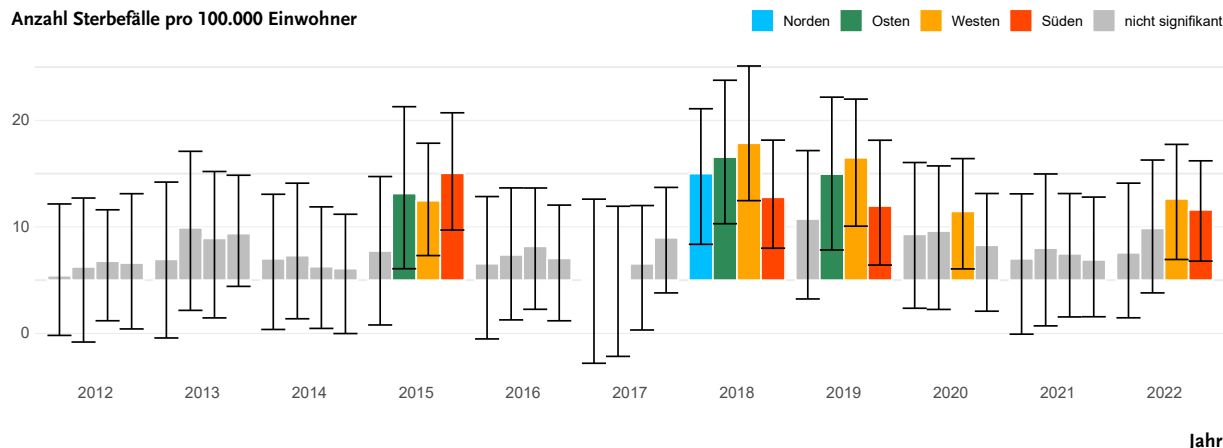


Abb. 4 | Geschätzte Anzahl hitzebedingter Sterbefälle im Zeitraum 2012 bis 2022 in den vier Regionen Norden, Osten, Westen und Süden. Farblich hervorgehobene Balken zeigen Jahre bzw. Regionen mit einer signifikanten Anzahl hitzebedingter Sterbefälle.

sition (Intensität und Dauer der Hitzeperioden) korrespondiert: Im Jahr 2018 traten beispielsweise in der Region Süden sowohl die meisten Hitzewochen als auch die höchsten Wochenmitteltemperaturen auf. Dennoch liegt die hitzebedingte Mortalität niedriger als in den anderen drei Regionen.

Ein Grund für diese Unterschiede ist vermutlich die bessere Hitzeadaptation in Regionen, in denen auch in der Vergangenheit heißere Sommer auftraten. Dieser Effekt drückt sich auch in den Expositions-Wirkungskurven aus: Wie zuvor gezeigt,³ fallen die Expositions-Wirkungskurven in den verschiedenen Regionen unterschiedlich steil aus und die Wirkung der Hitze auf die Mortalität steigt von Süden nach Norden an.

Tab. 1 fasst die geschätzte Anzahl hitzebedingter Sterbefälle im Zeitraum 2012 bis 2022 für Deutschland insgesamt sowie für die vier Regionen zusammen. Daten zu hitzebedingten Sterbefällen je Bundesland von 2012 bis 2022 finden sich im Anhang.

Diskussion

Der Sommer 2022 war der viertwärmste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881 und auch in diesem Jahr trat eine signifikante Anzahl hitzebedingter Sterbefälle auf. Mit rund 4.500 hitzebeding-

ten Sterbefällen liegt dieses vergangene Jahr in einer ähnlichen Größenordnung wie die Jahre 2015, 2019 und 2020.

Im Sommer 2022 fielen hitzebedingte Sterbefälle erstmalig zeitgleich mit durch COVID-19 verursachten Sterbefällen während einer Hitzeperiode zusammen. Hier ist es denkbar, dass in einzelnen Fällen eine Kombination beider Faktoren (COVID-19 und zusätzliche Hitzebelastung) zum Tod geführt hat. Eine Differenzierung dieser beiden möglichen Todesursachen ist im Einzelfall auf dem gegenwärtigen aggregierten Datenstand nicht möglich. Die Betrachtung des zeitlichen Verlaufs der gemeldeten COVID-19-Sterbefälle deutet allerdings darauf hin, dass es keinen relevanten Einfluss von Hitze gab.

Die zusätzliche feinere Auflösung in vier statt wie bisher in drei Regionen erlaubt es, die regionalen Unterschiede der Exposition und in der Wirkung von Hitze besser zu erfassen.

Es ist davon auszugehen, dass es durch den Klimawandel auch in Zukunft vermehrt zu Perioden extremer Hitze in Deutschland kommen wird, die weitreichende gesundheitliche Risiken mit sich bringen können. Für die Beurteilung klimabedingter Gesundheitsrisiken stellt die hitzebedingte Mortalität nur eine, wenn auch eine besonders drasti-

Jahr	Deutschland	Norden	Osten	Westen	Süden
2012	1.000 [-1.100; 3.800]	100 [-800; 1.000]	200 [-700; 1.100]	400 [-1.200; 2.200]	300 [-900; 1.700]
2013	2.800 [400; 4.900]	300 [-800; 1.300]	700 [-200; 1.800]	900 [-700; 2.400]	900 [-400; 2.100]
2014	1.300 [-1.100; 3.900]	300 [-700; 1.200]	300 [-500; 1.400]	400 [-1.100; 1.900]	300 [-800; 1.300]
2015	5.800 [3.100; 8.200]	400 [-600; 1.400]	1.200 [200; 2.300]	2.000 [600; 3.300]	2.200 [1.000; 3.400]
2016	1.700 [-1.300; 4.200]	200 [-800; 1.200]	300 [-700; 1.200]	800 [-800; 2.300]	400 [-700; 1.500]
2017	1.300 [-1.100; 3.800]	0 [-1.200; 1.100]	100 [-1.000; 1.000]	400 [-1.200; 2.000]	900 [-400; 2.000]
2018	8.300 [5.400; 11.100]	1.500 [500; 2.400]	1.700 [800; 2.600]	3.400 [1.500; 4.900]	1.700 [400; 3.100]
2019	6.900 [4.000; 9.400]	900 [-300; 1.800]	1.400 [400; 2.300]	3.100 [1.800; 4.500]	1.500 [0; 2.600]
2020	3.600 [1.400; 5.700]	600 [-400; 1.700]	700 [-200; 1.700]	1.600 [200; 3.000]	600 [-600; 1.900]
2021	1.900 [-500; 4.500]	300 [-800; 1.200]	500 [-500; 1.600]	600 [-700; 2.400]	400 [-1.000; 1.700]
2022	4.500 [2.100; 7.000]	400 [-500; 1.400]	700 [-300; 1.600]	2.000 [400; 3.700]	1.400 [100; 2.500]

Tab. 1 | Anzahl hitzebedingter Sterbefälle im Zeitraum 2012 bis 2022 für Deutschland insgesamt und die vier Regionen Norden, Osten, Westen und Süden. Die 95%-Prädiktionsintervalle sind jeweils in eckigen Klammern angegeben. Signifikante Werte sind fett dargestellt.

sche, Komponente dar und sollte stets auch als Indikator für hitzebedingte Morbidität betrachtet werden. Es wäre wünschenswert, Datenquellen zu erschließen, die eine direkte Analyse dieser Morbidität erlauben, gerade weil diese naturgemäß einen deutlich größeren Personenkreis betrifft, insbesondere auch in jüngeren Altersgruppen.

Ein zeitnahes Monitoring hitzebedingter Mortalität mit hoher regionaler Auflösung kann dabei helfen,

Risiken zu erkennen und Maßnahmen zielgerichtet anzupassen. Die vorliegende Arbeit stellt erstmalig eine bundesweite Schätzung der hitzebedingten Mortalität im laufenden Jahr bereit. Die feinere regionale Auflösung und Berücksichtigung bundeslandspezifischer Trends in der Gesamtmortalität erlaubt auch auf Ebene der Bundesländer eine Schätzung der Anzahl hitzebedingter Sterbefälle.

Literatur

- 1 Vicedo-Cabrera, Ana Maria, N Scovronick, Francesco Sera, Dominic Royé, Rochelle Schneider, Aurelio Tobias, Christofer Astrom, et al. 2021. The Burden of Heat-Related Mortality Attributable to Recent Human-Induced Climate Change. *Nature Climate Change* 11 (6): 492–500.
- 2 Watts, Nick, Markus Amann, Nigel Arnell, Sonja Ayeb-Karlsson, Jessica Beagley, Kristine Belesova, Maxwell Boykoff, et al. 2021. The 2020 Report of the Lancet Countdown on Health and Climate Change: Responding to Converging Crises. *The Lancet* 397 (10269): 129–70.
- 3 Winklmayr, Claudia, Stefan Muthers, Hildegard Niemann, Hans-Guido Mücke, and Mathias an der Heiden. 2022. Heat-Related Mortality in Germany from 1992 to 2021. *Deutsches Ärzteblatt International*.
- 4 Deutscher Wetterdienst. 2022. Deutschlandwetter Im Sommer 2022. https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2022/20220830_deutschlandwetter_sommer2022_news.html. 2022.
- 5 an der Heiden, Matthias, Udo Buchholz, and Helmut Uphoff. 2019. Schätzung Der Zahl Hitzebedingter Sterbefälle Und Betrachtung Der Exzess-Mortalität; Berlin Und Hessen, Sommer 2018. *Epidemiologisches Bulletin – Aktuelle Daten Und Informationen Zu Infektionskrankheiten Und Public Health*, no. 23: 193–202.
- 6 an der Heiden, Matthias, Stefan Muthers, Hildegard Niemann, Udo Buchholz, Linus Grabenhenrich, and Andreas Matzarakis. 2020. Heat-Related Mortality: An Analysis of the Impact of Heatwaves in Germany Between 1992 and 2017. *Deutsches Ärzteblatt International* 117 (37): 603.
- 7 Statistisches Bundesamt. 2022. Sonderauswertung Sterbefallzahlen. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Sterbefaelle-Lebenserwartung/sterbefallzahlen.html>.

- 8 Robert Koch-Institut. 2022. COVID-19 Todesfälle Nach Sterbedatum. https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/COVID-19_Todesfaelle.html.
- 9 Statistisches Bundesamt. 2019. Bevölkerung Im Wandel. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressekonferenzen/2019/Bevoelkerung/pressebroschuere-bevoelkerung.pdf?__blob=publicationFile.
- 10 Wood, Simon N. 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with r. chapman; hall/CRC.

Autorinnen und Autoren

Claudia Winklmayr | Dr. Matthias an der Heiden

Robert Koch-Institut, Abt. 3 Infektionsepidemiologie

Korrespondenz: WinklmayrC@rki.de

Vorgeschlagene Zitierweise

Winklmayr C, an der Heiden M: Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022

Epid Bull 2022;42:3-9 | DOI 10.25646/10695.2

Interessenkonflikt

Die Autorin und der Autor erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung

Diese Arbeit ist im Rahmen des Projekts „DAS: Weiterentwicklung und Harmonisierung des Indikators zur hitzebedingten Übersterblichkeit in Deutschland“ (FKZ 3720 48 203 1) entstanden und wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gefördert.