

REGIONALISIERTE SCHÄTZUNGEN ZUR
**HITZEBEDINGTEN
STERBLICHKEIT**
IN BAYERN

ANALYSEN AUF BASIS DER HEAT-II-METHODE
FÜR DIE JAHRE 2018 BIS 2022

Dr. Andrea Buschner, Dr. Karin Tesching, Valerie Leukert, M.Sc.

Bayern war in den letzten Jahren ebenso wie andere Regionen in Deutschland und Europa von einer zunehmenden Anzahl an Hitzesommern geprägt. Die gestiegene Zahl an Hitze-Aktionsplänen bis auf kommunale Ebene macht deutlich, dass für die Umsetzung von präventiven Maßnahmen eine regionalisierte Schätzung hitzebedingter Mortalität unabdingbar ist. Dieser Beitrag nimmt erstmals eine regionalisierte Schätzung der hitzebedingten Sterbefälle für Bayern vor.¹ Auf Basis der sogenannten HEAT-II-Methode werden die Zahlen für sechs adaptierte Klimaregionen in Bayern ermittelt und die Ergebnisse anschließend kritisch eingeordnet. In den Jahren 2018 bis 2022 wurden für Bayern insgesamt 1 800 hitzebedingte Sterbefälle geschätzt. Die Sommermonate der Jahre 2018, 2019 und 2022 erwiesen sich hierbei als besonders relevant, während die kühleren Sommer 2020 und 2021 nur einen geringen Beitrag zur hitzebedingten Mortalität in diesem Zeitraum leisteten. Insbesondere trugen die Region Main-Spessart-Rhön sowie die Donauregion zu den hitzebedingten Sterbefallzahlen im Freistaat Bayern bei. Das verwendete HEAT-II-Verfahren erwies sich als ein insgesamt praktikables und leicht verständliches Vorgehen, um die klimatischen Besonderheiten Bayerns bei der Schätzung hitzebedingter Mortalität zu berücksichtigen. Allerdings bestehen auch methodische Einschränkungen, die im Zuge des Beitrags erörtert werden.

¹ Ein besonderer Dank gilt Paul Baumann, der im Rahmen seiner Masterarbeit an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg wichtige Grundlagen für den vorliegenden Beitrag geschaffen hat. Insbesondere die Anpassung der Auswertungsroutinen auf den bayerischen Kontext sowie die Durchführung einer Vielzahl an Test- und Sensitivitätsanalysen wurden von ihm maßgeblich vorbereitet. Ebenso danken wir den Mitgliedern der Arbeitsgruppe „Hitzemortalität in Bayern“ Susanne Kutzora, Caroline Quartucci, Veronika Weinhhammer (alle Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit) und Christopher Zier (Landesamt für Umwelt), die mit ihren konstruktiven Rückmeldungen und Diskussionspunkten zum Gelingen dieses Artikels beigetragen haben.

Einleitung

In den vergangenen Jahrzehnten ist es in den Sommermonaten auch in Bayern heißer geworden. Die durchschnittliche Jahrestemperatur im Freistaat hat sich seit Mitte des 20. Jahrhunderts um 1,9 Grad erhöht (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2022). Auffällig ist dabei auch die Zunahme von Hitzetagen und Tropennächten. Verschiedene Auswertungen von Klimaprojektionen des Landesamts für Umwelt zeigen, dass sich dieser Trend angesichts des Klimawandels in Zukunft fortsetzen wird (ebd.). Hitzetage und längere Hitzeperioden stellen eine besondere gesundheitliche Belastung für den Menschen dar, indem sie beispielsweise das Herz-Kreislauf-System massiv beeinträchtigen. Dies kann im schlimmsten Fall zu lebensbedrohlichen Erkrankungen oder sogar zum Tod führen (Winklmayr et al. 2023). Besonders gefährdet sind hierbei ältere Personen, Menschen mit (chronischen) Vorerkrankungen, Personen mit einer (körperlich schweren) Berufstätigkeit im Freien, aber auch Schwangere sowie (Klein-)Kinder (Robert Koch-Institut und Umweltbundesamt 2013; Weltgesundheitsorganisation 2019). Der demographische Wandel wird durch die ins Rentenalter gelangende große Generation der Baby-Boomer in den nächsten Jahren dafür sorgen, dass sich die Zahl der durch Hitze gefährdeten Personen noch einmal deutlich erhöht.

Dass ein Zusammenhang zwischen hohen Temperaturen und einer gesundheitlichen Belastung bis hin zum Tod besteht, ist empirisch gut belegt (Winklmayr et al. 2023; Hajat & Kosatky 2010). Nichtsdestotrotz ist die Schätzung der Anzahl an hitzebedingten Sterbefällen schwierig, da die amtliche Todesursachenstatistik Hitze nur in den seltensten Fällen als Todesursache ausweist (Winklmayr et al. 2023). Stattdessen werden Diagnosen wie zum Beispiel Herzkreislaufversagen, Nierenversagen in Folge von Dehydrierung, Herzinfarkt oder Multiorganversagen vom leichenschauenden Arzt als todesursächlich bescheinigt. Die Zahl der Menschen, die im Zusammenhang mit Hitzeereignissen versterben, kann also nur mit Hilfe der Gesamtmortalität geschätzt werden.

Dr. Karin Tesching



hat an der Universität Rostock Demographie studiert und am Max-Planck-Institut für demografische Forschung in Rostock sowie an der Universität Stockholm promoviert. Von 2013 bis 2015 war sie am Institut für Arbeitsmarkt-

und Berufsforschung in Nürnberg als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig. Im April 2015 hat sie am Bayerischen Landesamt für Statistik als Referentin im Sachgebiet „Bevölkerung, Kompetenzzentrum Demographie“ begonnen und im Juli 2021 die ständige Vertretung der Sachgebietsleitung übernommen.

Obwohl es hierfür mittlerweile zahlreiche Analyseverfahren gibt, hat sich im methodischen Vorgehen bisher noch kein „Goldstandard“ hervorheben können (Siebert et al. 2019). Im Allgemeinen wird bei der Schätzung der hitzebedingten Mortalität die erwartete Zahl an Sterbefällen – ohne Einfluss von Hitze – mit der tatsächlichen Zahl an Sterbefällen verglichen. Die Differenz wird als „Zahl der hitzebedingten Sterbefälle“ interpretiert. Darunter können also auch Personen sein, die nicht unmittelbar an der Hitzebelastung verstorben sind, sondern äußeren Ursachen zum Opfer fielen, welche häufiger an warmen Sommertagen vorkommen (z. B. Motorrad- oder Badeunfälle).

2 Belgien, Dänemark, Deutschland, England, Frankreich, Italien, Kroatien, Luxemburg, die Niederlande, Österreich, Polen, Portugal, Schweiz, Slowenien, Spanien, Tschechien.

3 „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).

4 Darüber hinaus sind im Anhang der Studie separat auch hitzebedingte Sterbefälle für die einzelnen Bundesländer abrufbar. Für Bayern wurden nach einer Neuberechnung lediglich für die Jahre 2015, 2018 und 2019 signifikante Werte ermittelt (RKI 2023; an der Heiden 2023).

Valerie Leukert, M.Sc.

ist seit April 2017 am Bayerischen Landesamt für Statistik tätig und beschäftigt sich als Referentin im Sachgebiet „Bevölkerung, Kompetenzzentrum Demographie“ insbesondere mit Bevölkerungsvorausberechnungen

und dem demographischen Wandel in Bayern. Zuvor studierte sie Soziologie an der Universität Bremen und Demographie an der Universität Rostock.

Dr. Andrea Buschner

hat an der Otto-Friedrich-Universität in Bamberg Soziologie studiert und dort auch promoviert. Bevor sie ans Bayerische Landesamt für Statistik kam, war sie zwölf Jahre am Staatsinstitut für Familienforschung in

Bamberg als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig. Seit November 2018 ist sie Referentin im Sachgebiet „Bevölkerung, Kompetenzzentrum Demographie“ und dort vornehmlich für die Todesursachenstatistik zuständig.

Für den Rekord-Hitzesommer 2003 (Deutscher Wetterdienst 2003) werden in einer Studie von Robine et al. (2008) auf Basis tagesgenauer, regionalisierter (NUTS-2) Sterbefalldaten für ausgewählte europäische Länder² insgesamt über 66 500 zusätzliche Sterbefälle ermittelt. Bei diesem vergleichsweise einfachen Verfahren werden allerdings alle Kalendertage in den Sommermonaten (hier: 01.06. bis 31.08.) berücksichtigt, unabhängig von den tatsächlich vorliegenden Temperaturen. Um die Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit gezielt untersuchen zu können, ist es mittlerweile gängige Praxis, ein Temperaturmaß zur Identifikation von Zeiträumen mit besonderer Hitzebelastung heranzuziehen. So werden beispielsweise in einer regionalisierten Studie für Europa für den Sommer 2022 neben wöchentlichen Sterbefallzahlen auch die durchschnittlichen Lufttemperaturen in die Berechnung einbezogen. Insgesamt werden für Europa fast 62 000 hitzebedingte Sterbefälle ausgewiesen, darunter über 8 000 für Deutschland (Ballester et al. 2023). Ebenfalls wöchentliche Daten für Sterbefälle

und die durchschnittliche Lufttemperatur werden in einer Untersuchung des Robert Koch-Instituts (RKI) für Deutschland verwendet. Das RKI nimmt zudem eine Unterteilung Deutschlands in vier große Regionen³ vor (Winklmayr und an der Heiden 2022). Für Deutschland werden hierbei etwa 4 500 hitzebedingte Sterbefälle im Sommer 2022 geschätzt, darunter 1 360 Sterbefälle für die Region Süden (Baden-Württemberg und Bayern) (an der Heiden 2023; Winklmayr und an der Heiden 2022)⁴. In einer weiteren, jüngst veröffentlichten Studie wurden erstmals Analysen mit täglichen Daten für Sterbefallzahlen und mittlere Lufttemperatur für Deutschland und seine Bundesländer durchgeführt (Huber et al. 2024). Diese ermittelt für Deutschland insgesamt 9 600 hitzeassoziierte Sterbefälle im Sommer 2022, darunter über 1 000 Sterbefälle für Bayern. Damit gibt es mittlerweile auch für den Freistaat Ergebnisse zur Zahl der hitzebedingten Sterbefälle, die auf Basis tagesgenauer Daten ermittelt wurden, allerdings auch hier ohne Berücksichtigung regionaler Temperatur- und Klima-Unterschiede innerhalb Bayerns.

„Bayern ist ein ausgesprochen vielfältiges Land – auch im Hinblick auf das Klima. Zwischen dem Gipfel der Zugspitze und Kahl am Main liegen beachtliche 2 860 Höhenmeter. Dieser Höhenunterschied wirkt sich neben der geografischen Lage enorm auf die klimatischen Verhältnisse vor Ort aus.“



Bayerisches Landesamt für Umwelt (2022):
Bayerns Klima im Wandel. Heute und in der Zukunft. (S. 18)

Für Bayern aber stellen die regional unterschiedlichen klimatischen Bedingungen bei der Ermittlung der Hitzesterblichkeit eine besondere Herausforderung dar. Es ist zu vermuten, dass besonders heiße Tage in einzelnen Klimaregionen durch niedrigere Temperaturen in anderen Klimaregionen ausgeglichen und damit verdeckt werden, wenn Hitzetage nur für Bayern insgesamt ermittelt werden. Dies führt möglicherweise zu einer Untererfassung der Hitzebelastung im Freistaat. Dass es in Bayern Regionen gibt, die stärker von hitzebedingter Mortalität betroffen sind, konnte bereits in einer Studie von Ghada et al. (2021) festgestellt werden.

Die hier vorgestellten Analysen basieren auf dem von Grewe et al. im Rahmen des Projekts HEAT-II entwickelten Verfahren⁵ (Grewe et al. 2017). Sie liefern tagesgenaue und – hinsichtlich klimatischer Faktoren – erstmals regional differenzierte Ergebnisse zur hitzebedingten Mortalität in Bayern und bieten damit eine fundierte Schätzung der Gesamtzahl hitzebedingter Sterbefälle im Freistaat.

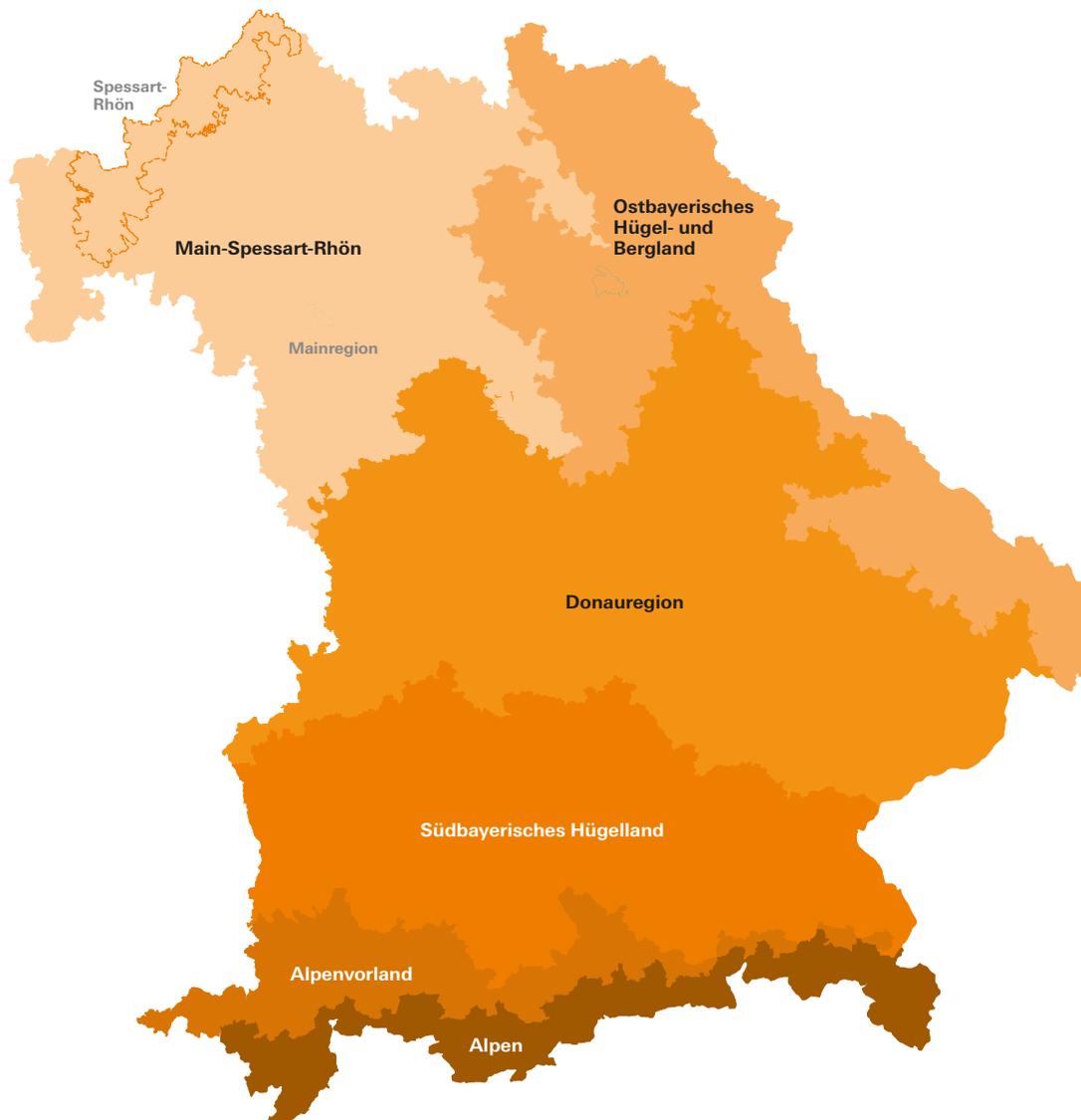
Daten und Methoden

Daten

Um den unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen im Freistaat gerecht zu werden, hat das Bayerische Landesamt für Umwelt sieben zusammenhängende Klimaregionen ermittelt, die in sich ähnliche klimatische Bedingungen aufweisen (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2022). Die ausgewiesenen Klimaregionen sind allerdings nicht deckungsgleich mit den administrativen Grenzen der amtlichen Statistik. Zur Schätzung hitzebedingter Sterbefälle ist es erforderlich, die Sterbefall- und Einwohnerzahlen von Gemeinden eindeutig einer Klimaregion zuzuordnen zu können. Aus diesem Grund hat das Bayerische Landesamt für Umwelt in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Statistik für das Projekt „Hitzebedingte Mortalität in Bayern“ eine Adaption der Klimaregionen vorgenommen, bei der Gemeinden jeweils der Klimaregion zugeordnet wurden, in der sie im Hinblick auf ihre Fläche größtenteils liegen. In Testrechnungen hat sich gezeigt, dass die Region Spessart-Rhön für eine separate Schätzung hitzebedingter Sterbefälle zu kleine Fallzahlen aufweist. Spessart-Rhön und die daran angrenzende Mainregion wurden daher – trotz klimatischer Unterschiede – zur Klimaregion Main-Spessart-Rhön zusammengefasst, wodurch sich die in Abbildung 1 dargestellten sechs Klimaregionen ergeben.

⁵ Der im vorliegenden Artikel verwendete Begriff „HEAT-II-Verfahren“ bezieht sich auf die im Projekt „Etablierung eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität in Hessen“ (HEAT II) (Grewe et al. 2017) beschriebene Methode zur Schätzung hitzeassoziierter Sterblichkeit.

Abb. 1
Klimaregionen Bayerns*



* Es handelt sich um eine Adaption der vom Bayerischen Landesamt für Umwelt veröffentlichten Klimaregionen Bayerns an die administrativen Grenzen. Darüber hinaus wurde die Region Spessart-Rhön aufgrund der geringen Anzahl an Sterbefällen pro Kalendertag mit der Mainregion zusammengefasst. Quelle: eigene Darstellung.

In der vorliegenden Analyse erfolgt eine Schätzung hitzebedingter Sterbefälle für einzelne Kalenderjahre im Zeitraum 2018 bis 2022, wobei sich der Untersuchungszeitraum in den einzelnen Kalenderjahren auf die Sommermonate (01.06. bis 31.08.) beschränkt. Da das Sterbefallgeschehen eines Kalenderjahres jeweils mit dem Sterbefallgeschehen der fünf Vorjahre (Referenzzeitraum) verglichen wird, sind Daten rückwirkend bis zum Jahr 2013 erforderlich. Die täglichen

Temperaturdaten für Bayern sowie die sechs Klimaregionen wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt aufbereitet und bereitgestellt. Die Auswertung tagesgenauer Sterbefallzahlen auf Gemeindeebene, die Zuordnung der Sterbefallzahlen zu den Klimaregionen sowie die Berechnung durchschnittlicher Einwohnerzahlen in den Klimaregionen erfolgte durch das Bayerische Landesamt für Statistik.

Methoden

Zur Berechnung der Zahl an hitzebedingten Sterbefällen stützt sich das HEAT-II-Verfahren auf die Identifikation von Tagen in den Sommermonaten, an denen zwei Bedingungen erfüllt sind:

- (1) Es handelt sich um einen Hitzetag und
- (2) ein Exzesstag liegt vor, es sind also mehr Sterbefälle aufgetreten als erwartet.

Die Operationalisierung von Tagen als **Hitzetage** kann entweder anhand der reinen Lufttemperatur erfolgen (z. B. Tageshöchsttemperatur, Tagesdurchschnittstemperatur) oder über konstruierte Temperaturmaße (z. B. „apparent temperature“, Humidex), welche durch die Berücksichtigung von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit versuchen, die vom Menschen gefühlte Temperatur darzustellen (Barnett et al. 2010; Masterton 1979 nach Conti et al. 2005). In einer Untersuchung verschiedener Temperaturmaße als Prädiktor für Mortalität (nach Altersgruppen, Jahreszeiten und Regionen) in 107 US-amerikanischen Städten zeigte sich kein Temperaturmaß durchgängig als das Geeignetste. Die Autoren empfehlen daher die Wahl des Temperaturmaßes nach Praktikabilität beziehungsweise Verfügbarkeit von Daten zu treffen (Barnett et al. 2010).

In dieser Untersuchung wird die Tagesdurchschnittstemperatur als Temperaturmaß verwendet. In die Tagesdurchschnittstemperatur fließen sowohl Tages- als auch Nachtwerte ein, was die Berücksichtigung tropischer Nächte und somit fehlender Abkühlungs- und Erholungsphasen ermöglicht (Siebert et al. 2019). In einer Untersuchung von Siebert et al. (2019) für Hessen wurde eine Tagesdurchschnittstemperatur von 23 Grad Celsius als kritische Temperaturschwelle ermittelt, ab der vermehrt Exzesstage – also Tage mit Sterbefallzahlen über dem Erwartungswert – auftreten. Da nicht davon auszugehen ist, dass sich das Temperaturempfinden oder die Sensibilität der Menschen in Bezug auf Hitze zwischen Bayern und Hessen maßgeblich unterscheidet, wird auch in dieser Untersuchung eine durchschnittliche Tagestemperatur von 23 Grad Celsius als Hitzekriterium verwendet.

Eine Besonderheit stellt im Freistaat Bayern die Alpenregion dar. In dieser Region liegt ein Teil der Messstationen oberhalb von 1 000 oder sogar 2 000 Höhenmetern (z. B. Spitzingsattel: 1 128 hm, Wallberg: 1 620 hm, Nebelhorn: 2 070 hm, Zugspitze: 2 960 hm). Da die Lufttemperatur mit zunehmender Höhe um etwa 6,5 Grad Celsius pro 1 000 Höhenmeter abnimmt (Schönwiese 2020), reduzieren Messstationen in alpiner Höhe die Tagesdurchschnittstemperatur einer Region deutlich. So lag die durchschnittliche Sommertemperatur (01.06. bis 31.08.) in der Alpenregion in den Jahren 2018 bis 2022 zwischen 14,4 Grad Celsius (2020) und 16,3 Grad Celsius (2022) und damit deutlich unterhalb der Temperatur in der Region Alpenvorland (2020: 16,6 Grad Celsius; 2022: 18,2 Grad Celsius). Der überwiegende Teil der Bevölkerung in der Alpenregion lebt jedoch in Gebieten unterhalb von 1 000 Höhenmetern, sodass die Tagesdurchschnittstemperatur der Alpenregion nur bedingt die Lebenssituation der Bevölkerung widerspiegelt. Für die Alpenregion wurde daher – abweichend von den anderen bayerischen Klimaregionen – ein Tag bereits ab einer Tagesdurchschnittstemperatur von über 21 Grad als Hitzetag definiert.⁶

6 (1) Für die Zwecke dieser Studie wäre es von Vorteil, Messergebnisse von Stationen oberhalb von 1 000 Höhenmetern nicht bei der Berechnung der Durchschnittstemperaturen zu berücksichtigen. Das Ausschließen einzelner Messstationen aus dem Datensatz der Alpenregion ist aufgrund der Komplexität der Klimadaten zugrundeliegenden Berechnungen jedoch nicht möglich. (2) Ein Temperaturunterschied von etwa 2 Grad Celsius im Hinblick auf die durchschnittliche Sommertemperatur zwischen der Region Alpenvorland und der Alpenregion ergibt sich sowohl bei Betrachtung eines länger zurückliegenden Zeitraums (1971–2000: 2,03 Grad Celsius) als auch bei Fokussierung auf die jüngere Vergangenheit (2010–2019: 1,97 Grad Celsius). (3) Testrechnungen für die Alpenregion, in denen anstelle der Temperaturwerte der Alpenregion die des Alpenvorlandes verwendet wurden, ergaben etwas höhere Schätzwerte für hitzebedingte Sterbefälle in der Alpenregion als Berechnungen mit angepasster Temperaturschwelle.



Astrid Gaast / stopphotozone.com

Die Ermittlung von **Exzesstagen** erfolgt anhand eines Vergleichs der tatsächlich aufgetretenen Sterbefälle an einem Kalendertag mit den erwarteten Sterbefällen für diesen Tag. Dabei ergibt sich die Zahl der erwarteten Sterbefälle – die sogenannte Basismortalität – aus einer um Hitzeeinflüsse bereinigten Referenzperiode. Im vorliegenden Beitrag wurden für die Auswertungsjahre 2018 bis 2022 jeweils die fünf Vorjahre als Referenzperiode herangezogen.

Liegt an einem Hitzetag gleichzeitig Exzess-Sterblichkeit vor, spricht man von einem **Hitze-Exzesstag**. Die Sterbefälle, die an diesen Tagen über dem erwarteten Wert liegen, werden als **hitzebedingte Sterbefälle** gezählt (vgl. Methodenkasten für eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise beim HEAT-II-Verfahren).

Methodenkasten:

Schätzung der Anzahl hitzebedingter Sterbefälle mit Hilfe des HEAT-II-Verfahrens

Beispiel: Untersuchungszeitraum Juni bis August 2018 für die Donauregion

1. Berechnung der Basismortalität für einzelne Kalendertage

Die Basismortalität (Abb. M1, orange gestrichelte Linie) entspricht der erwarteten Sterbefallzahl am jeweiligen Tag und wird auf Grundlage des Referenzzeitraums – vorangegangene fünf Jahre – ermittelt. In einem ersten Schritt (vgl. Tabelle M1) werden hierfür jene Tage im Referenzzeitraum identifiziert, die ebenfalls das Hitzekriterium (> 23 Grad) erfüllen (gelbe Markierung). An diesen Tagen (z. B. 21.06.2017) wird die Sterbefallzahl durch den Median der drei aufeinanderfolgenden Kalendertage der drei Vorjahre (neun Werte im orangen Kasten) ersetzt, um den zu ermittelnden Erwartungswert nicht bereits durch Hitzeeinflüsse zu verzerren. Die 102 Sterbefälle des 21.06.2017 werden somit durch den errechneten Median (94) ersetzt. Analog hierzu wird mit allen anderen Hitzetagen im Referenzzeitraum umgegangen.

Tab. M1:
Beispielausschnitt für die Bereinigung der Sterbefallzahlen im Referenzzeitraum um mögliche Hitzeeinflüsse (Donauregion 2018)

...	18.6.	19.6.	20.6.	21.6.	22.6.	23.6.	24.6.	...
2013	121 >97	127 >97	123 >84	132	98	83	90	
2014	91	99	81	91	84	91	116	
2015	96	101	94	89	104	81	114	
2016	102	73	105	114	110	96 >91	103 >90	
2017	85	109	109	102 >94	123 >91	95 >103	108	
2018	106	104	93	99	90	103	102	

Gelb: Kalendertage mit einer Tagesdurchschnittstemperatur von über 23 Grad Celsius

Anschließend wird für jeden Kalendertag des Untersuchungszeitraums der Erwartungswert (= Basismortalität) ermittelt, indem jeweils der ungewichtete, gleitende Durchschnitt der fünf umliegenden Kalendertage der fünf Vorjahre berechnet wird (vgl. Tabelle M2, blauer Kasten für 21.06.2018). Die Basismortalität für den 21.06.2018 beträgt somit 96 Sterbefälle.

Tab. M2:
Beispielausschnitt für die Berechnung der Basismortalität für jeden Kalendertag des Untersuchungszeitraums (Donauregion 2018)

...	18.6.	19.6.	20.6.	21.6.	22.6.	23.6.	24.6.	...
Sterbefälle								
2013	97	97	84	132	98	83	90	
2014	91	99	81	91	84	91	116	
2015	96	101	94	89	104	81	114	
2016	102	73	105	114	110	91	90	
2017	85	109	109	94	91	103	108	
2018	106	104	93	99	90	103	102	
Basismortalität								
2018	92	95	97	96	98	98	97	

Gelb: Kalendertage mit einer Tagesdurchschnittstemperatur von über 23 Grad Celsius

2. Ermittlung der Exzessschwelle für einzelne Kalendertage

Die Ermittlung der Exzessschwelle (Abb. M1, braun gestrichelte Linie) erfolgt für jeden Kalendertag, indem jeweils zur Basismortalität die doppelte Standardabweichung addiert wird.

3. Identifikation der Hitze-Exzesstage

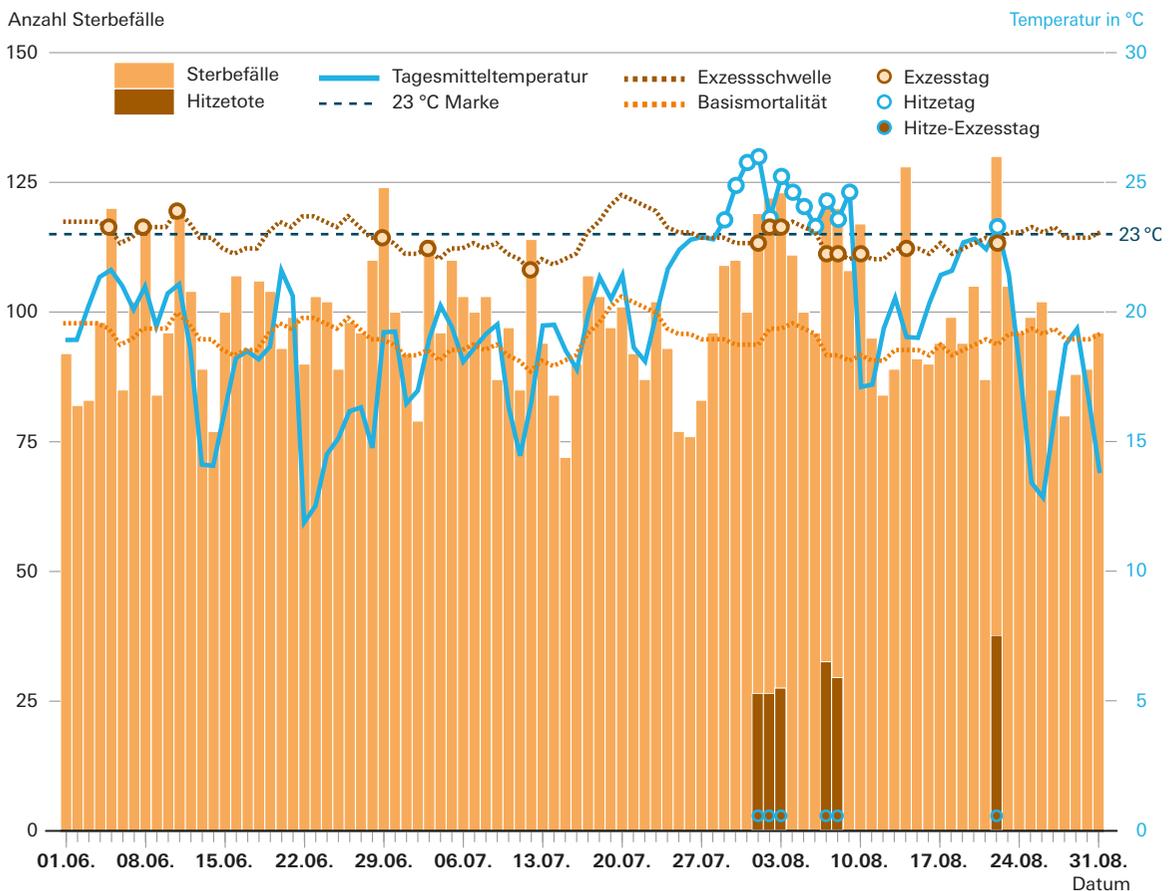
Ausgehend von dieser Exzessschwelle bekommen dann alle Kalendertage die Markierung „Exzesstag“ (Abb. M1, braun-beige Punkte), an denen die tatsächliche Sterbefallzahl (Abb. M1, orangene Säulen) die Exzessschwelle überschreitet. Nachdem alle Kalendertage mit einer Tagesdurchschnittstemperatur von mehr als 23 Grad Celsius mit der Markierung „Hitzetag“ (Abb. M1, blau-weiße Punkte) versehen wurden, ergeben sich die „Hitze-Exzesstage“ (Abb. M1, blau-braune Punkte) durch das gleichzeitige Vorliegen beider Markierungen (Exzesstag, Hitzetag) an einem Kalendertag.

4. Berechnung der hitzebedingten Sterbefallzahlen an Hitze-Exzesstagen

Ist die Bedingung „Hitze-Exzesstag“ erfüllt – es liegt also ein heißer Tag mit Exzesssterblichkeit vor –, so errechnet sich die Zahl der hitzebedingten Sterbefälle (Abb. M1, braune Säulen) aus der Differenz der Anzahl der tatsächlichen Sterbefälle und der Basismortalität an diesem Tag.

Abb. M1

Darstellung der Elemente des HEAT-II-Verfahrens am Beispiel der Donauregion 2018



Ergebnisse

Aufgrund der heterogenen klimatischen Verhältnisse in Bayern wird die Zahl hitzebedingter Sterbefälle in dieser Untersuchung separat für sechs bayerische Klimaregionen ermittelt. Die nachfolgenden Ergebnisse für den gesamten Freistaat ergeben sich durch Aggregation der hitzebedingten Sterbefälle in diesen Klimaregionen. Zunächst wird die Hitzemortalität in Bayern in den Jahren 2018 bis 2021 betrachtet. Im Anschluss folgt eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem Sommer 2022, der nicht nur durch starke Hitzeperioden, sondern auch durch eine hohe Zahl an Covid-19-Infektionen geprägt war. In einem weiteren Schritt werden die Beiträge der einzelnen Klimaregionen zur Hitzemortalität im Freistaat untersucht. Abschließend wird die hier vorgenommene regionalisierte Ermittlung hitzebedingter Sterblichkeit einer gesamt-bayerischen Betrachtung vergleichend gegenübergestellt.

Regional geschätzte Hitzemortalität für Bayern im Zeitvergleich

Die Zahl der hitzebedingten Sterbefälle in Bayern kann für die Jahre 2018 bis 2021 auf insgesamt 1 243 beziehungsweise durchschnittlich 311 Sterbefälle pro Jahr geschätzt werden (vgl. Tabelle 1). Diese Sterbefälle ereigneten sich an insgesamt 26 Hitze-Exzesstagen. Insbesondere die Jahre 2018 und 2019 schlugen mit 504 und 479 hitzebedingten Sterbefällen an elf und sechs Hitze-Exzesstagen stark zu Buche. Die Sommer 2018 und 2019 waren mit einer durchschnittlichen Tagestemperatur von 18,9 und 19,0 Grad Celsius heißer als die Sommermonate der Jahre 2020 und 2021. Diese wiesen aufgrund mäßiger Temperaturen von 17,6 beziehungsweise 17,4 Grad Celsius mit jeweils rund 130 Hitze-Sterbefällen deutlich geringere Werte auf als die beiden Vorjahre.

Tab. 1:
Kennzahlen hitzebedingter Mortalität in Bayern in den Jahren 2018 bis 2021*

	2018	2019	2020	2021	2018–2021
	Anzahl				Durchschnitt
Durchschnittliche Einwohnerzahl ¹	13 036 963	13 100 729	13 132 460	13 158 586	13 107 185
Sterbefälle (Juni–August)	31 330	31 560	31 686	32 406	31 746
Hitzetage	16	11	9	6	10,5
Exzesstage	57	53	55	56	55,3
Hitze-Exzesstage	11	6	5	4	6,5
Hitzebedingte Sterbefälle	504	479	131	129	310,8
Hitzebedingte Sterbefälle pro Hitze-Exzesstag	45,8	79,8	26,2	32,3	47,8
Hitzebedingte Sterbefälle pro 1 000 Sterbefälle	16,1	15,2	4,1	4,0	9,8
Hitzebedingte Sterbefälle pro 100 000 Einwohner	3,9	3,7	1,0	1,0	2,4
Durchschnittliche Tagestemperatur (Juni–August) in Grad Celsius	18,9	19,0	17,6	17,4	18,2

* Werte für Bayern werden durch Aggregation der Ergebnisse aus den sechs Klimaregionen ermittelt.

¹ Die durchschnittliche Einwohnerzahl eines Jahres wird als arithmetisches Mittel zwischen den Beständen am Jahresanfang und am Jahresende berechnet.

Quelle: eigene Berechnungen.

Auch die Zahl der hitzebedingten Sterbefälle pro 1 000 Sterbefälle gibt Aufschluss über die Bedeutung von Hitzemortalität in den vier betrachteten Jahren des Untersuchungszeitraums. Während 2018 und 2019 ungefähr 16 und 15 Sterbefälle pro 1 000 Verstorbene als hitzeassoziiert betrachtet werden können – sich also an besonders heißen Tagen ereignet haben – lagen die entsprechenden Werte in den Jahren 2020 und 2021 lediglich bei etwa vier Sterbefällen pro 1 000 Verstorbene.

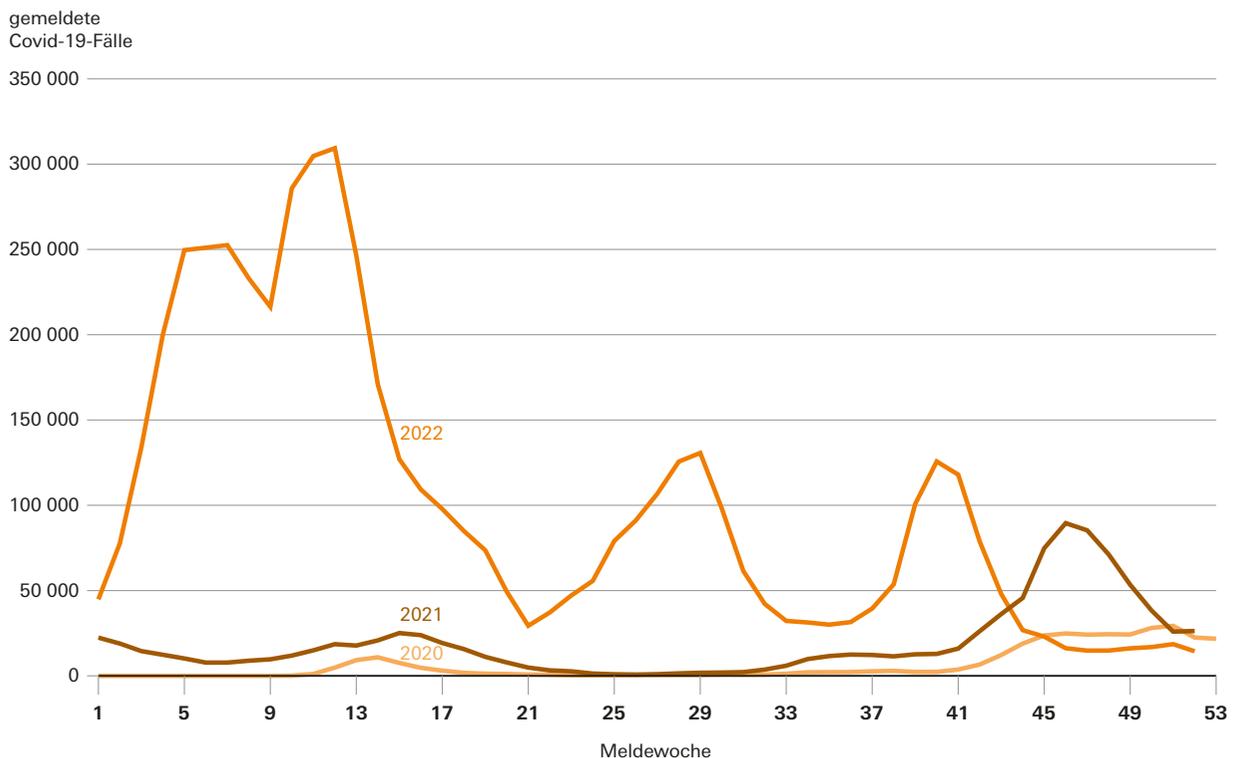
Das Jahr 2022 – viele Hitzetage und hohe Covid-19-Infektionszahlen im Sommer

Im Jahr 2022 lag die durchschnittliche Temperatur in den Sommermonaten (Juni bis August) bei 19,2 Grad (vgl. Tabelle 2). Damit war der Sommer in diesem Jahr ähnlich warm wie in den Jahren 2018 (18,9 Grad) sowie 2019 (19,0 Grad) und deutlich wärmer als in den unmittelbaren Vorjahren (2020: 17,6 Grad; 2021: 17,4 Grad). Dementsprechend gab es im Sommer 2022 mit elf Tagen auch mehr Hitzetage als in den zwei Vorjahren (2020: 9 Tage; 2021: 6 Tage).

Der Sommer 2022 war jedoch nicht nur durch vergleichsweise hohe Temperaturen geprägt, sondern auch durch eine hohe Anzahl an berichteten Covid-19-Infektionen. Während sich die Infektionswellen in Bayern – seit Beginn der Covid-19-Pandemie im März 2020 – überwiegend zwischen Oktober und Mai ereigneten, gab es im Jahr 2022 auch in den Sommermonaten hohe Covid-19-Fallzahlen (vgl. Abbildung 2).⁷

⁷ Ab Januar 2022 hat in Deutschland die Covid-19-Variante Omikron die Variante Delta als dominierende Variante abgelöst. Die Variante Omikron war zum einen durch eine erhöhte Übertragbarkeit gekennzeichnet, zum anderen durch eine bis dahin eingeschränkte Wirksamkeit der Impfstoffe im Hinblick auf den Schutz vor der Infektion und die Virus-Weitergabe (LGL 2024b).

Abb. 2
Covid-19-Infektionszahlen in Bayern in den Jahren 2020 bis 2022



Quelle: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL 2024a); eigene Darstellung.

Tab. 2:
Kennzahlen der hitzebedingten Mortalität in Bayern 2022

	2022	2022 (ohne Covid-19- Sterbefälle)
	Anzahl	
Durchschnittliche Einwohnerzahl ¹	13 273 191	13 273 191
Sterbefälle (Juni–August)	36 285	34 945
Hitzetage	11	11
Exzesstage	77	60
Hitze-Exzesstage	11	8
Hitzebedingte Sterbefälle	834	557
Hitzebedingte Sterbefälle pro Hitze-Exzesstag	75,8	69,6
Hitzebedingte Sterbefälle pro 1 000 Sterbefälle	23,0	15,9
Hitzebedingte Sterbefälle pro 100 000 Einwohner	6,3	4,2
Durchschnittliche Tagestemperatur (Juni–August) in Grad Celsius	19,2	19,2

¹ Die durchschnittliche Einwohnerzahl eines Jahres wird als arithmetisches Mittel zwischen den Beständen am Jahresanfang und am Jahresende berechnet.

Quelle: eigene Berechnungen.

Die hohen Infektionszahlen im Sommer 2022 zeigen sich auch in der Todesursachenstatistik des Bayerischen Landesamts für Statistik. Wurden im Zeitraum Juni bis August der Jahre 2020 und 2021 mit bayernweit insgesamt 97 beziehungsweise 293 an Covid-19 Verstorbenen vergleichsweise niedrige Zahlen verzeichnet, registrierte die amtliche Statistik für den Sommer 2022 insgesamt 1 340 Covid-19-Sterbefälle.

Aufgrund des zeitgleichen Auftretens von Hitze und hohen Covid-19-Fallzahlen ist unklar, inwieweit im Sommer 2022 Sterbefälle an Hitze-Exzesstagen (d. h. an Tagen mit einer Durchschnittstemperatur von mehr als 23 Grad Celsius und überdurchschnittlich vielen Sterbefällen) tatsächlich der Hitze oder dem kritischen Covid-19-Infektionsgeschehen zuzuordnen sind. Aus diesem Grund wurde für das Jahr 2022 zusätzlich eine Berechnung durchgeführt, in der bei der Ermittlung aller Parameter (Basismortalität, Exzessschwelle, Exzesstage, Hitze-Exzesstage, hitzebedingte Sterbefälle) die Covid-19-Sterbefälle ausgeschlossen wurden.

Unter Ausschluss der an Covid-19 Verstorbenen bewegt sich die Zahl der hitzebedingten Sterbefälle im Jahr 2022 mit 557 Fällen in etwa auf dem Niveau der heißen Sommer 2018 und 2019. Auch die Zahl der hitzebedingten Sterbefälle pro 1 000 Verstorbenen liegt 2022 bei 16 Fällen und ist somit mit den Jahren 2018 und 2019 vergleichbar. Würde man Personen, die an Covid-19 verstorben sind, für das Jahr 2022 nicht ausschließen, so läge die Schätzung der hitzebedingten Sterbefälle mit 834 Fällen deutlich höher. Aufgrund der vergleichsweise hohen Zahl an Covid-19-Sterbefällen im Sommer 2022, werden für dieses Jahr im Folgenden die Ergebnisse der Schätzung ohne Covid-19-Sterbefälle verwendet.

Regionale Unterschiede in der Hitzemortalität

Zu den geschätzten 1 800 hitzebedingten Sterbefällen, die 2018 bis 2022 für den Freistaat verzeichnet wurden, trugen die sechs Klimaregionen in unterschiedlichem Maße bei (vgl. Tabelle 3). Die Alpenregion machte hierbei mit 33 hitzebedingten Sterbefällen nur etwa 1,8% aller Hitze-Sterbefälle in Bayern aus. Auch die Region Alpenvorland wies in den fünf betrachteten Jahren mit 32 Verstorbenen eine geringe Zahl an hitzebedingten Sterbefällen auf (1,8%). Vergleichsweise niedrig war auch die geschätzte Zahl für das Ostbayerische Hügel- und Bergland, wo im Untersuchungszeitraum insgesamt 155 hitzebedingte Sterbefälle (8,6%) verzeichnet wurden. Nur etwa jeder achte hitzebedingte Sterbefall ist somit der Alpenregion, dem Alpenvorland oder dem Ostbayerischen Hügel- und Bergland zuzuordnen. Die vergleichsweise geringe Bedeutsamkeit hitzebedingter Mortalität in diesen drei Regionen zeigt sich auch da-

ran, dass hier in kühleren Jahren (z.B. 2020, 2021) keine beziehungsweise kaum hitzebedingte Sterbefälle zu verzeichnen sind.

Im Gegensatz dazu waren die Donauregion sowie die Regionen Main-Spessart-Rhön und Südbayerisches Hügelland von vergleichsweise hohen hitzebedingten Sterbefallzahlen geprägt. Die meisten Hitze-Sterbefälle im betrachteten Fünfjahreszeitraum 2018 bis 2022 ereigneten sich mit 667 Fällen (37,1%) in der Donauregion. Weitere 469 hitzebedingte Sterbefälle (26,1%) wurden für die Region Main-Spessart-Rhön gezählt. Insgesamt 444 – oder fast ein Viertel der Hitze-Sterbefälle in Bayern (24,7%) – wurden für die Region Südbayerisches Hügelland geschätzt. In diesen drei Regionen ereigneten sich somit knapp 88% der hitzebedingten Sterbefälle in Bayern.

Tab. 3:
Anzahl der hitzebedingten Sterbefälle in den sechs Klimaregionen Bayerns

	2018	2019	2020	2021	2022 ¹	2018–2022 ¹
	Anzahl					Durchschnitt
Alpenregion	0	16	4	0	13	6,6
pro 1 000 Sterbefälle	–	19,2	4,7	–	14,7	8,9
pro 100 000 Einwohner	–	5,6	1,4	–	4,5	2,6
Alpenvorland	12	9	5	0	6	6,4
pro 1 000 Sterbefälle	8,8	6,7	3,6	–	3,9	4,6
pro 100 000 Einwohner	2,1	1,6	0,9	–	1,0	1,1
Südbayerisches Hügelland	99	93	0	53	199	88,8
pro 1 000 Sterbefälle	10,1	9,1	–	5,1	17,7	8,6
pro 100 000 Einwohner	2,1	1,9	–	1,1	4,1	1,9
Donauregion	177	198	68	50	174	133,4
pro 1 000 Sterbefälle	19,5	22,0	7,4	5,3	17,2	14,2
pro 100 000 Einwohner	4,7	5,3	1,8	1,3	4,6	3,5
Ostbayerisches Hügel- und Bergland ...	34	35	0	8	78	31,0
pro 1 000 Sterbefälle	11,5	11,9	–	2,7	23,4	10,2
pro 100 000 Einwohner	3,4	3,5	–	0,8	7,9	3,1
Region Main-Spessart-Rhön	182	128	54	18	87	93,8
pro 1 000 Sterbefälle	25,0	17,7	7,6	2,5	11,1	12,8
pro 100 000 Einwohner	6,7	4,7	2,0	0,7	3,2	3,4
Bayern insgesamt	504	479	131	129	557	360,0
pro 1 000 Sterbefälle	16,1	15,2	4,1	4,0	15,9	11,1
pro 100 000 Einwohner	3,9	3,7	1,0	1,0	4,2	2,7

1 Sommer 2022 ohne Covid-19-Sterbefälle.

Quelle: eigene Berechnungen.

Eine gesamtbayerische Betrachtung der Exzesssterbefälle nivelliert regionale Unterschiede und führt in manchen Fällen dazu, dass sich für den gesamten Freistaat keine auffallend hohen Sterbefallzahlen ergeben.



Eine nähere Betrachtung der Region Südbayerisches Hügelland zeigt, dass hier mit einem jährlichen Durchschnittswert von knapp 89 Verstorbenen eine vergleichsweise hohe Zahl an hitzebedingten Sterbefällen vorliegt. Die Region stellt jedoch – auch bedingt durch die beiden Großstädte München und Augsburg – mit durchschnittlich 4,8 Millionen Einwohnern und etwa 10 000 Sterbefällen pro Jahr die bevölkerungsstärkste Region dar. Bezieht man die Zahl der hitzebedingten Sterbefälle auf die Einwohnerzahl, so liegt die Region mit knapp zwei hitzebedingten Sterbefällen pro 100 000 Einwohner beziehungsweise etwa neun Hitze-Verstorbenen pro 1 000 Sterbefälle im Zeitraum 2018 bis 2022 unter dem Schnitt für den gesamten Freistaat (2,7 hitzebedingte Sterbefälle pro 100 000 Einwohner; 11,1 hitzebedingte Sterbefälle pro 1 000 Sterbefälle).

Die Region Main-Spessart-Rhön und vor allem die Donauregion weisen dagegen auch bei Berücksichtigung der Bevölkerungsgröße mit durchschnittlich 3,4 beziehungsweise 3,5 hitzebedingten Sterbefällen pro 100 000 Einwohner und 12,8 beziehungsweise 14,2 Hitze-Verstorbenen pro 1 000 Sterbefälle im gesamtbayerischen Vergleich hohe Werte auf.

Regionalisierte Ermittlung im Vergleich zur Gesamtbetrachtung der Hitzemortalität in Bayern am Beispiel des Jahres 2020

Bisherige Studien zur hitzebedingten Mortalität betrachten Bayern entweder als Ganzes (z. B. Huber et al. 2024) oder stützen sich in den Analysen gar auf Süddeutschland, bestehend aus Baden-Württemberg und Bayern (an der Heiden 2023; Winklmayr und an der Heiden 2022). Eine detailliertere Regionalisierung findet in der Regel nicht statt. Bei der Verwendung einer Tagesdurchschnittstemperatur für den gesamten Freistaat sorgen jedoch kühlere Regionen wie die Alpenregion oder das Alpenvorland dafür, dass das Hitzekriterium für Bayern seltener erfüllt wird, obwohl in einzelnen Regionen durchaus Durchschnittstemperaturen von über 23 Grad vorgelegen haben. In einer Gesamtbetrachtung von Bayern treten somit bestimmte Hitzetage nicht hervor, wodurch die Schätzung hitzebedingter Sterbefälle deutlich niedriger ausfällt. Der Unterschied zwischen einer Gesamtbetrachtung des Freistaats und einer regionalisierten Analyse zeigt sich besonders stark in Jahren, in denen es in den Sommermonaten starke Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Regionen gegeben hat. Auch die Übersterblichkeit, also das signifikante Überschreiten der erwarteten Sterbefallzahlen, kann sich regional und zeitlich unterschiedlich gestalten. Eine gesamtbayerische Betrachtung der Exzesssterbefälle nivelliert regionale Unterschiede und führt in manchen Fällen dazu, dass sich für den gesamten Freistaat keine auffallend hohen Sterbefallzahlen ergeben.

Ohne Regionalisierung ergeben sich mit der hier verwendeten Methode für das Jahr 2020 keine Hitze-Verstorbenen für Bayern, obwohl es in diesem Jahr in bestimmten Regionen heiße Tage mit überdurchschnittlich hohen Sterbefallzahlen gab (vgl. Tabelle 4).⁸ In den Sommermonaten 2020 lag die Tagesdurchschnittstemperatur für Bayern bei nur 17,6 Grad Celsius. Für den gesamten Freistaat konnten in diesem Jahr nur vier Hitzetage verzeichnet werden, wobei keiner dieser Tage gleichzeitig auch ein Exzesstag war.

⁸ Der gleiche Befund ergibt sich auch für das Jahr 2021.

Vor allem die Donauregion und die Region Main-Spessart-Rhön waren im Jahr 2020 jedoch von vergleichsweise hohen Temperaturen geprägt. In den Sommermonaten lagen hier die Durchschnittstemperaturen bei 18,1 Grad beziehungsweise 18,3 Grad Celsius, während sie in der Alpenregion 14,4 Grad, im Alpenvorland 16,6 Grad, im Ostbayerischen Hügel- und Bergland 17,1 Grad und im Südbayerischen Hügelland 17,6 Grad Celsius betrug. In der Donauregion gab es in der Folge sechs Hitzetage, drei Hitze-Exzesstage und insgesamt 68 hitzebedingte Sterbefälle. Die Region Main-Spessart-Rhön wies acht Hitzetage, zwei Hitze-Exzesstage und insgesamt 54 hitzebedingte Sterbefälle auf. Während eine Schätzung nach dem HEAT-II-Verfahren ohne Regionalisierung für Bayern für das Jahr 2020 keine hitzebedingten Sterbefälle ergibt, kommt das gleiche Verfahren bei einer regionalisierten Anwendung für den Freistaat auf insgesamt 131 Hitze-Verstorbene.

Tab. 4:
Kennzahlen der hitzebedingten Mortalität in Bayern 2020

	Alpen	Alpen- vorland	Südbay. Hügelland	Donau	Ostbay. Hügel- und Bergland	Main- Spessart- Rhön	Bayern aggregiert	Bayern gesamt
Durchschnittliche Einwohnerzahl ¹	287 050	572 309	4 796 528	3 773 410	984 560	2 718 603	13 132 460	13 132 460
Sterbefälle Juni–August (Anzahl)	854	1 392	10 134	9 244	2 952	7 110	31 686	31 686
Durchschnittliche Tagestemperatur Juni–August (in Grad Celsius)	14,4	16,6	17,6	18,1	17,1	18,3	17,6	17,6
Anzahl								
Hitzetage	1	2	3	6	3	8	9	4
Exzesstage	23	21	7	10	13	10	55	4
Hitze-Exzesstage	1	1	0	3	0	2	5	0
Hitzebedingte Sterbefälle	4	5	0	68	0	54	131	0
Hitzebedingte Sterbefälle pro Hitze-Exzesstag	4,0	5,0	–	22,7	–	27,0	26,2	–
Hitzebedingte Sterbefälle pro 1 000 Sterbefälle	4,7	3,6	–	7,4	–	7,6	4,1	–
Hitzebedingte Sterbefälle pro 100 000 Einwohner	1,4	0,9	–	1,8	–	2,0	1,0	–

¹ Die durchschnittliche Einwohnerzahl eines Jahres wird als arithmetisches Mittel zwischen den Beständen am Jahresanfang und am Jahresende berechnet.

Quelle: eigene Berechnungen.



Diskussion

Einordnung der Ergebnisse

Unter Nutzung des HEAT-II-Verfahrens wurden erstmals hitzebedingte Sterbefälle unter Berücksichtigung der regional unterschiedlichen klimatischen Bedingungen für Bayern ermittelt. Dabei zeigte sich im untersuchten Zeitraum von 2018 bis 2022 für die Jahre 2018, 2019 und insbesondere 2022 mit vergleichsweise heißen Sommermonaten eine erhöhte Zahl hitzebedingter Verstorbener. Verglichen mit anderen Studien fällt die Schätzung für das Jahr 2022 mit 557 hitzebedingten Sterbefällen für den gesamten Freistaat in dieser Untersuchung eher konservativ aus. Das Robert Koch-Institut (an der Heiden 2023; Winklmayr und an der Heiden 2022) ermittelt beispielsweise 1 360 Sterbefälle⁹ für Baden-Württemberg und Bayern zusammen (Region Süden), Huber et al. (2024) sogar über 1 000 Sterbefälle¹⁰ für Bayern allein. Die Ergebnisse der nun vorgelegten Untersuchung zeigen, dass regional betrachtet vor allem die Region Main-Spessart-Rhön und die Donauregion durch hohe Temperaturen und hitzebedingte Sterbefallzahlen auffallen. Ein ähnliches Ergebnis spiegelt sich in der Studie von Ghada et al. (2021) wider. Auch hier waren Kreise in Mittel- und Unterfranken stärker von hitzebedingter Mortalität betroffen.

9 95%-Konfidenzintervall Bayern: [620; 2 090]

10 95%-Konfidenzintervall Bayern: [670; 1 370]

Deutlich geworden sind die Unterschiede, die sich bei einer Gegenüberstellung der für Bayern insgesamt und über die aggregierten Klimaregionen ermittelten Ergebnisse zeigen. Werden die Berechnungen für Bayern insgesamt durchgeführt, können kühlere Regionen wie die Alpenregion und das Alpenvorland die Tagesdurchschnittstemperatur so weit reduzieren, dass das Hitzekriterium für den Freistaat nicht mehr erfüllt wird. Dadurch bleiben Hitzetage und Hitzeperioden, die zur gleichen Zeit in anderen Regionen Bayerns bestehen können, verborgen. Werden die Analysen dagegen getrennt nach den Klimaregionen durchgeführt und die Ergebnisse anschließend aggregiert, schlagen sich die höheren Temperaturen in den einzelnen Regionen nieder. Insgesamt können so im Jahr 2020 für Bayern 131 hitzebedingte Sterbefälle ausgewiesen werden, die ohne Regionalisierung verdeckt geblieben wären. Insbesondere in Jahren, in denen große regionale Unterschiede in den täglichen Temperaturen vorliegen, ist eine Regionalisierung bei der Ermittlung von hitzebedingter Sterblichkeit in Bayern wichtig.

Limitationen

Wenngleich der regionalisierte Ansatz der vorliegenden Untersuchung einen deutlichen Vorteil gegenüber bisherigen Studien zur Schätzung der Zahl hitzebedingter Sterbefälle in Bayern bedeutet, muss auch auf die Limitationen der hier angewandten Methode und Daten hingewiesen werden.

Eine wesentliche Einschränkung ist, dass im ursprünglichen Verfahren nach HEAT-II (ebenso wie bei anderen Verfahren zur Ermittlung hitzebedingter Sterbefälle) die spezifischen Todesursachen unberücksichtigt bleiben. Daraus resultiert, dass beispielsweise Motorrad-, Bade- und Wanderunfälle, aber auch außergewöhnliche Ereignisse wie etwa eine Pandemie zu einer Erhöhung der Sterbefälle an einem Hitzetag beitragen können. Für die hier untersuchten Jahre 2020 bis 2022 zeigt sich ein solcher Effekt deutlich durch die Corona-Pandemie, welche insbesondere die Zahl der Sterbefälle im Sommer 2022 erhöht hat. Um dem zu begegnen, wurden in dieser Untersuchung bei den Berechnungen für das Jahr 2022 die Covid-19-Sterbefälle anhand von Informationen aus der Todesursachenstatistik ausgeschlossen. Es stellt sich hierbei aber die Frage, bei wie vielen dieser Personen Hitze dazu beigetragen hat, dass die Covid-19-Infektion tödlich endete.

Weitere Probleme zeigen sich bei der Ermittlung der Basismortalität. Durch die Verwendung der letzten fünf Jahre wird ein immer wärmer werdender Zeitraum als Referenzperiode gewählt und der Effekt des Klimawandels somit herausgerechnet. Die in den Jahren der Referenzperiode ebenfalls auftretenden hitzebedingten Sterbefälle bewirken eine Erhöhung der Exzessschwelle, so dass im Untersuchungsjahr weniger Tage als (Hitze-)Exzesstage identifiziert werden. Eine ähnliche Problematik besteht hinsichtlich demographischer Entwicklungen. Weder die Veränderung der Bevölkerungszahl noch die zunehmende Alterung der Bevölkerung, die beide auch die Sterbefallzahlen beeinflussen, können im HEAT-II-Verfahren ausreichend berücksichtigt werden. Diese methodische Schwäche tritt ebenfalls bei regionalen Vergleichen hervor, wenn Unterschiede in der Zahl der Sterbefälle auch durch die Altersstruktur der untersuchten Regionen bedingt sein können.

Die tagesgenaue Betrachtung hat gegenüber einer Untersuchung nach Kalenderwochen zwar den Vorteil, dass einzelne Hitzetage nicht durch kühlere Wochentage verdeckt werden. Sie geht aber auch mit dem Problem einher, dass die besondere Wirkung von anhaltenden Hitzeperioden beziehungsweise Hitzewellen sowie eine erhöhte Sterblichkeit an Tagen, die auf einen Hitzetag folgen, nicht erfasst wird. Zudem sind durch kleinere Fallzahlen die Möglichkeiten einer weitereren Ausdifferenzierung wie zum Beispiel einer tiefergehenden Regionalisierung begrenzt. Testanalysen haben gezeigt, dass HEAT-II für eine Auswertung nach Kalenderwochen jedoch eher ungeeignet ist beziehungsweise das Konzept zur Bestimmung der Basismortalität in diesem Fall grundsätzlich überarbeitet werden müsste.

Eine weitere Schwäche des Verfahrens ist der starke Einfluss der gewählten Parameter auf die Ergebnisse. So können beispielsweise schon kleine Veränderungen bei den Grenzwerten für das Hitzekriterium dafür sorgen, dass die Zahl der Hitzetage und damit auch der hitzebedingten Sterbefälle deutlich erhöht oder verringert wird. Besonders kritisch ist dies, da hier ein Punktschätzer und kein Erwartungsbereich ausgewiesen wird.

Denn nur mit verlässlichen sowie regional und demographisch ausdifferenzierten Daten ist eine gezielt wirkende Hitzeschutzplanung möglich.



Für Bayern stellt die Alpenregion eine besondere Herausforderung bei der regionalisierten Anwendung des HEAT-II-Verfahrens dar. Durch Messstationen, die an wenig bis gar nicht besiedelten Orten mit sehr niedrigen Temperaturen wie z.B. der Zugspitze platziert sind, wird die Tagesdurchschnittstemperatur massiv beeinflusst. So konnten mit dem ursprünglich für alle Regionen einheitlichen Hitzekriterium von 23 Grad Celsius in der Alpenregion nur sehr wenige Hitzetage identifiziert werden. Es ist aber davon auszugehen, dass auch in dieser Klimaregion an Orten, an denen die Menschen überwiegend leben, heiße Tage vorlagen. Da ein Ausschluss einzelner Messtationen bei der Berechnung der Tagesdurchschnittstemperatur in dieser Untersuchung nicht möglich war, ist für die Alpenregion eine Anpassung des Grenzwertes für das Hitzekriterium vorgenommen worden.

Ein grundsätzliches Problem bei der Frage nach dem Ort des Ereignisses betrifft auch die Sterbefälle selbst, da hier – wie in den meisten Studien zu hitzebedingter Sterblichkeit – die Daten der amtlichen Sterbefallstatistik verwendet wurden. Diese erfasst die Verstorbenen bisher nur nach ihrem Wohnort. Demnach kann sich eine Person also an einem heißen Ort aufhalten, der nicht ihrem Wohnort entspricht, und dort an den Folgen der Hitze versterben, der Sterbefall wird aber ihrem Wohnort zugerechnet.

Fazit und Ausblick

Vor allem dann, wenn – wie in manchen Jahren in Bayern der Fall – innerhalb eines Tages große regionale Unterschiede in den Temperaturen bestehen, ist eine Regionalisierung bei der Ermittlung hitzebedingter Sterbefälle – auch beim HEAT-II-Verfahren – unerlässlich.

Das HEAT-II-Verfahren bietet ein im Vergleich zu anderen Methoden insgesamt praktikables und leicht verständliches Vorgehen (Siebert et al. 2019). Ziel des vorliegenden Beitrages war es, das Verfahren an die bayerischen Verhältnisse anzupassen und zu testen. Damit konnte nun erstmals eine fundiertere Einschätzung der hitzebedingten Sterbefallzahlen in Bayern unter Berücksichtigung der regionalen klimatischen Besonderheiten für die Sommermonate der Jahre 2018 bis 2022 vorgelegt werden.

Die Ergebnisse wurden mit bisher verfügbaren Befunden aus anderen wissenschaftlichen Untersuchungen verglichen und eingeordnet. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wird die eigens dafür eingerichtete Arbeitsgruppe „Hitzemortalität in Bayern“ – bestehend aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Bayerischen Landesamts für Statistik, des Bayerischen Landesamts für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit sowie des Bayerischen Landesamts für Umwelt – andere Verfahren zur Schätzung hitzebedingter Sterbefälle für Bayern testen. Denn nur mit verlässlichen sowie regional und demographisch ausdifferenzierten Daten ist eine gezielt wirkende Hitzeschutzplanung möglich. ■

Literatur

an der Heiden, M. (2023): Neubestimmung der Prädiktionsintervalle zur Schätzung der hitzebedingten Mortalität – Kommentar und Erläuterung zu „Hitzebedingte Mortalität in Deutschland“ (Epidemiologisches Bulletin 42/2022). In: Epidemiologisches Bulletin, 26, S. 14–16.

Ballester, J./Quijal-Zamorano, M./Méndez Turrubiates, R. F./Pegenaute, F./Herrmann, F. R./Robine, J. M./Basagaña, X./Tonne, C./Antó, J. M./Achebak, H. (2023): Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. In: Nature Medicine, 29(7), S. 1857–1866.

Barnett, A. G./Tong, S./Clements, A. (2010): What measure of temperature is the best predictor of mortality? In: Environmental Research, 110(6), S. 604–611.

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL 2024a): Coronavirus-Infektionszahlen in Bayern. www.lgl.bayern.de/gesundheit/infektionsschutz/infektionskrankheiten_a_z/coronavirus/karte_coronavirus/index.htm, abgerufen am 03.06.2024.

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL 2024b): Neuartiges Coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19). www.lgl.bayern.de/gesundheit/infektionsschutz/infektionskrankheiten_a_z/coronavirus/2019_sars_cov2.htm, abgerufen am 13.06.2024.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2022): Bayerns Klima im Wandel. Heute und in der Zukunft. 4. Auflage. www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_klima_00173.htm, abgerufen am 03.06.2024.

Conti, S./Meli, P./Minelli, G./Solimini, R./Toccaceli, V./Vichi, M./Beltrano, C./Perini, L. (2005): Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy. In: Environmental Research 98(3), S. 390–399.

Deutscher Wetterdienst (2003): Der Rekordsommer 2003. www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20030828_rekordsommer2003.pdf?__blob=publicationFile&v=4, abgerufen am 03.06.2024.

Ghada, W./Estrella, N./Ankerst, D. P./Menzel, A. (2021): Universal thermal climate index associations with mortality, hospital admissions, and road accidents in Bavaria. In: PLOS ONE, 16(11), S. 1–21.

Grewe, H. A./Blättner, B./Uphoff, H./Siebert, H. (2017): Etablierung eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität in Hessen (HEAT II) – Schlussbericht. www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/INKLIM__A/gesundheit/heatII_surveillance.pdf, abgerufen am 03.06.2024.

Hajat, S./Kosatky, T. (2010): Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. In: Journal of Epidemiology and Community Health, 64(9), S. 753–760.

Huber, V./Breitner-Busch, S./He, C./Matthies-Wiesler, F./Peters, A./Schneider, A. (2024): Heat-related mortality in the extreme summer of 2022 – an analysis based on daily data. In: Deutsches Ärzteblatt International, 121(3), S.79–85.

Robert Koch-Institut (RKI 2023): Geschätzte Anzahl hitzebedingte Sterbefälle in Deutschland 2012 bis 2022. Datenstand: 29.06.2023. Online abrufbar unter: www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2023/Ausgaben/26_23_Anhang1.xlsx?__blob=publicationFile, abgerufen am 03.06.2024.

Robert Koch-Institut und Umweltbundesamt (2013): Klimawandel und Gesundheit. Allgemeiner Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland. Online abrufbar unter: www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/Umwelt-Kommission/Stellungnahmen_Berichte/Downloads/klimawandel_gesundheit_handlungsempfehlungen_2013.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 20.04.2024.

Robine, J.-M./Cheung, S. L. K./Le Roy, S./
Van Oyen, H./Griffiths, C./Michel, J.-P./Herrmann,
F. R. (2008): Death toll exceeded 70,000 in Europe
during the summer of 2003. In: *Comptes Rendus
Biologies*, 331(2), S. 171–178.

Schönwiese, C.-D. (2020): *Klimatologie*. 5. über-
arbeitete Auflage. Verlag Utb GmbH.

Siebert, H./Uphoff, H./Grewe, H. A. (2019):
Monitoring hitzebedingter Sterblichkeit in Hessen.
In: *Bundesgesundheitsblatt*, 62, S. 580–588.

Weltgesundheitsorganisation (WHO),
Regionalbüro für Europa (2019): Gesundheitshin-
weise zur Prävention hitzebedingter Gesundheits-
schäden. Neue und aktualisierte Hinweise für
unterschiedliche Zielgruppen. [https://iris.who.int/
bitstream/handle/10665/341625/WHO-EURO-2021-
2510-42266-58732-ger.pdf?sequence=1&isAllowed
=y](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341625/WHO-EURO-2021-2510-42266-58732-ger.pdf?sequence=1&isAllowed=y), zuletzt abgerufen am 03.06.2024.

Winklmayr, C./an der Heiden, M. (2022):
Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022.
In: *Epidemiologisches Bulletin*, 42, S. 3–9.

Winklmayr, C./Matthies-Wiesler, F./Muthers, S./
Buchien, S./Kuch, B./an der Heiden, M./
Mücke, H.-G. (2023): Hitze in Deutschland: Gesund-
heitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention.
In: *Journal of Health Monitoring*, 8(S4), S. 3–34.