

4.7 Hitzewellen und Hitzewarnungen in Städten

KATHRIN GRAW, STEFAN MUTHERS & ANDREAS MATZARAKIS

Stadtbewohner sind von Hitzewellen, die in Folge des Klimawandels häufiger, intensiver und länger auftreten, stärker betroffen als Bewohner auf dem Land. Die während des Tages aufgeheizten Gebäude in Städten kühlen nachts weniger stark aus als Gebäude im geringer verdichteten Umland. Dadurch wird das bereits beanspruchte Thermoregulationssystem des Körpers zusätzlich gefordert und nächtliche Ruhephasen werden verkürzt. Anhaltend hohe Temperaturen wirken auf diese Weise besonders belastend auf den menschlichen Körper. In Deutschland verstarben 2003 ca. 7.600 Menschen an den Folgen hitzebedingter Gesundheitsbelastung. Um auf bevorstehende Hitzewellen rechtzeitig reagieren zu können und Maßnahmen für den Gesundheitsschutz einzuleiten, hat sich das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes etabliert. Die besondere Belastung in Städten infolge des Effekts der Städtischen Wärmeinsel wird seit 2017 bei Hitzewarnungen besonders berücksichtigt. Untersuchungen in Berlin und Brandenburg haben ergeben, dass während der Hitzewelle 1994 die höchsten Abweichungen der Mortalität vom Erwartungswert in den am dichtesten bebauten Gebieten Berlins auftraten. Um zukünftig mit den intensiveren Hitzewellen umgehen zu können und Gesundheitsrisiken zu vermeiden, sollten daher insbesondere im städtischen Raum Anpassungsmaßnahmen entwickelt werden.

Heat waves and heat warnings in cities: *Urban dwellers are more affected by heat waves, which will occur more frequently, more intensively and will last longer as a result of climate change, than rural dwellers. The buildings in cities that are heated during the day cool down less at night than buildings in less densely populated areas. This places additional demands on the body's already stressed thermoregulation system and shortens rest periods at night. In this way, persistently high temperatures have a particularly stressful effect on the human body. In Germany, around 7600 people died in 2003 as a result of heat-related health problems. The heat warning system of the German Meteorological Service has established itself in order to be able to react in time to impending heat waves and to initiate measures for health protection. Since 2017, the specific heat stress in cities due to the Urban-Heat-Island effect has been given special consideration in heat warnings. Studies in Berlin and Brandenburg have revealed that during the heatwave in 1994 the highest deviation of mortality from the expected value occurred in the most densely built-up areas of Berlin. In order to be able to deal with the more intense heat waves in the future and to avoid health risks, adaptation measures should therefore be developed, especially in urban areas.*

Hitzewellen

Hitzewellen erhöhen Morbiditäts- und Mortalitätsraten, insbesondere von älteren Menschen über 75 Jahren mit Vorerkrankungen und Pflegebedürftigkeit. Bis Ende des 21. Jh. wird durch den Klimawandel eine Verdreifachung der Zahl der Hitzewellen in Deutschland erwartet (MUTHERS et al. 2017). Als Hitzewellen werden Perioden mit ungewöhnlich hohen Temperaturen und fehlender nächtlicher Abkühlung, die mehrere Tage andauern, bezeichnet. Die zu erreichende Höhe der Temperaturen und die Andauer unterscheidet sich je nach Anwendungsbereich und Untersuchungsregion.

Eine einheitliche Definition existiert nicht. Häufig wird ein Schwellenwert für die Temperatur und die minimale Dauer festgelegt, wobei absolute oder relative Schwellenwerte verwendet werden. Relative Schwellenwerte eignen sich besser für den Vergleich zwischen verschiedenen Ländern, da der Mensch an das lokale Klima angepasst ist.

Die gesundheitlichen Folgen von Hitzewellen sind in Sterbedaten für zahlreiche Länder nachgewiesen (MORA et al. 2017) und auch für Deutschland gut untersucht (MUTHERS et al, 2017, AN DER HEIDEN 2019). Im Sommer 2003, in dem eine Hitzewelle Anfang August große Teile West- und Mitteleuropas traf, wurden

in Deutschland rund 7600 zusätzliche Todesfälle registriert (AN DER HEIDEN 2019). Nicht nur in den Mortalitätsdaten, auch in anderen Daten des Gesundheitssystems (Krankenhauseinweisungen, Notarzteinsätze, etc.) ist der negative Einfluss von Hitzewellen gut nachgewiesen (YE et al. 2012).

Reaktionen des Körpers auf Hitze

Der menschliche Körper reagiert mit einer erhöhten Schweißproduktion auf hohe Temperaturen und sorgt auf diese Weise für Abkühlung. Durch den Flüssigkeitsverlust verliert der Körper Wasser, aber auch wichtige Mineralstoffe. Beides erhöht die Viskosität des Blutes und damit das Risiko für Thrombosen und andere Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Bei hohen Temperaturen weiten sich außerdem die Blutgefäße, um mehr Blut zur Abkühlung in die Körperperipherie zu leiten. Dadurch sinkt der Blutdruck.

Auch generell belastet die Hitze das Herz-Kreislauf-System und der Körper ist einem höheren Stress ausgesetzt, um die Körperkerntemperatur konstant zu halten. Dieser zusätzliche Stress kann zahlreiche bestehende Beschwerden verstärken, weswegen auch für andere Erkrankungen, wie etwa Erkrankungen der Atemwege, ein deutlicher Einfluss der Hitze nachgewiesen

ist (KOPPE & JENDRITZKY 2008). Ist die Thermoregulation eingeschränkt, können Störungen des Wasser- und Elektrolythaushalts auftreten, die zu lebensbedrohlichen Beeinträchtigungen des Herz-Kreislauf-Systems führen können.

Risikofaktoren, die das Risiko hitzebedingter Gesundheitsschäden erhöhen

Ältere und morbidere Menschen sind während Hitzewellen einem deutlich erhöhten Risiko ausgesetzt (CAMPBELL 2018). Ältere Menschen schwitzen später und weniger als junge. Deshalb kann im Alter weniger Wärme über die Haut abgegeben werden (HERRMANN 2019). Durch den Flüssigkeitsverlust und einen niedrigen Blutdruck nimmt bei Hitze auch die körperliche Belastbarkeit von älteren Menschen ab. Treppensteigen, das Aufstehen vom Stuhl oder das Halten des Gleichgewichts fallen schwerer und es steigt die Gefahr zu stürzen (LINDEMANN 2019).

Gesundheitlich vorbelastete Menschen, sind im Allgemeinen in ihrer Fähigkeit sich der Hitze anzupassen eingeschränkt und leiden dadurch stärker unter hohen Temperaturen als gesunde Menschen. Darüber hinaus kann bei starker Hitze auch eine Anpassung der Medikation notwendig sein. Werden beispielsweise Medikamente zur Absenkung des Blutdrucks eingenommen, sollte zu Beginn des Sommers mit dem Hausarzt oder Apotheker über eine Anpassung der Medikation bei Hitzewellen gesprochen werden (HERRMANN 2019). Neben den genannten Personengruppen haben aber auch Kleinkinder und Säuglinge sowie mobilitätseingeschränkte Menschen ein erhöhtes Risiko unter Hitze zu leiden (MANGUS & CANARES 2019).

Das Gesundheitsrisiko von Hitzewellen ist aufgrund von intrinsischen Personen-spezifischen Charakteristika und extrinsischen Faktoren innerhalb der Bevölkerung ungleich verteilt (MILAN & CREUTZIG 2015). Als intrinsische Risikofaktoren gelten Vorerkrankungen wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Chronische Lungenerkrankungen, Diabetes mellitus, Chronische Nierenerkrankungen, Neurologische Erkrankungen (z.B. M. Parkinson, Demenz), Psychiatrische Erkrankungen (verstärkt bei Medikamenteneinnahme und Betreuungsbedarf), Höhergradige Adipositas und Vorangehende Krankenhausaufenthalte. Auch das generelle Einnehmen von Medikamenten wie u.a. Diuretika oder Antipsychotika oder von Alkohol- und anderen Suchtmitteln gilt als Risikofaktor. Außerdem kann die Wohnsituation das Risiko erhöhen, wenn sich das Schlafzimmer unter dem Dach befindet oder es sich ganz um eine Dachwohnung handelt und es keinen Zugang zu kühlen Räumen gibt. Falsche Belüftungsgewohnheiten sowie ein Haus

mit thermisch schlecht isolierter Bausubstanz erhöhen ebenfalls das Risiko unter Hitze zu leiden, insbesondere, wenn sich das Haus oder die Wohnung innerhalb einer Stadt oder eines Ballungsgebietes befindet (HERRMANN 2019). Die räumlichen und sozioökonomischen Gegebenheiten zählen zu den extrinsischen Faktoren (MILAN & CREUTZIG 2015). Ein bedeutender extrinsischer Faktor ist die stärkere Wärmebelastung in der Stadt in Folge des städtischen Wärmeinsel-Effekts.

UHI - Effekt

Der sogenannte *Urban Heat Island* – Effekt (städtischer Wärmeinsel-Effekt) beschreibt die vor allem nachts höheren Luft- und Oberflächentemperaturen in Städten im Vergleich zum ländlichen Umland. Die höheren Temperaturen entstehen durch die tagsüber aufgeheizten Gebäude, die ihre Wärme nachts wieder abgeben und somit die nächtliche Abkühlung reduzieren. Je größer die Stadt bzw. je größer der Gebäudeanteil und der Versiegelungsgrad in der Stadt ist, desto größer ist der *UHI*-Effekt. Ländliche Regionen erwärmen sich nicht so schnell, da Wasser-, Grünflächen oder auch Bäume mehr Wärme aufnehmen können als Baumaterialien wie Beton, Metall, Glas oder Ziegel. Um 1 Kg Wasser um 1 K zu erwärmen wird sehr viel mehr thermische Energie benötigt, als um 1 Kg Beton um 1 K zu erwärmen, da die spezifische Wärmekapazität von Wasser sehr viel höher ist als von Beton.

Neben der Modifizierung des Wärmehaushalts wird durch die stärkere Versiegelung innerhalb einer Stadt auch der Wasserhaushalt beeinflusst. Die Baustruktur, -höhe und Anordnung hat Auswirkungen auf die Belüftung der Stadt und die Materialeigenschaften auf die Reflexion der solaren Strahlung. Mehrfachreflexionen von kurzwelliger Strahlung zwischen den Gebäuden führen zu einer größeren Absorption kurzwelliger Strahlung. Die Luftverunreinigungen durch Verbrennungsprozesse wie Verkehr, Industrie, oder Hausbrand rufen außerdem eine größere atmosphärische Gegenstrahlung hervor und die größere Horizonteinengung in einer Stadt bewirkt gleichzeitig eine geringere effektive Ausstrahlung. Alle diese Merkmale einer Stadt modifizieren das lokale Klima und führen zur Ausprägung eines Stadtklimas, welches sich vom lokalen Klima in der ländlichen Umgebung unterscheidet (MATZARAKIS 2018).

Besonderes Risiko für Stadtbewohner

Hitzewellen sind aufgrund des *UHI*-Effektes für Stadtbewohner belastender als für Bewohner auf dem Land. Durch die Urbanisierung wächst neben dem demografischen Wandel auch aus diesem Grund der Anteil der Risikogruppe (SCHUSTER 2017). In

Deutschland leben 77% der Bevölkerung in Städten oder Ballungsgebieten. Weltweit leben mehr als die Hälfte der Bevölkerung in städtischen Gebieten (RAMAMURTHY 2017).

Beispiele einzelner Städte

In Berlin und anderen großen Städten konnte gezeigt werden, dass die Mortalitätsraten während Hitzewellen ansteigen (GABRIEL & ENDLICHER 2011). Beispielsweise in Frankfurt am Main stieg die Anzahl der Krankenhauseinweisungen an den Hitzewelle-Tagen im Juli 2015 ($>32\text{ }^{\circ}\text{C}$ für wenigstens 5 Tage in Folge) um 22%. Bei den hitzeassoziierten Einweisungen (Exsikkose, Synkope, unklares Fieber, Hitzeerschöpfung) betrug die Zunahme über 200% (STEUL 2018). Für Berlin und Brandenburg konnte gezeigt werden, dass die Gesundheitsrisiken während der Hitzewellen, die zwischen 1990 und 2006 auftraten, für ältere Menschen in ländlichen und städtischen Gebieten erhöht waren, insbesondere aber, dass im Jahr 1994, in dem im Sommer die stärkste Hitzewelle des 17-jährigen Zeitraums auftrat, die größten Abweichungen der erwarteten Sterblichkeit in den am dichtesten bebauten Gebieten Berlins auftraten (Abb. 4.7-1) (GABRIEL & ENDLICHER 2011). Ebenso wurden in Tschechien die höchsten Abweichungen der relativen Mortalität an heißen Tagen in den wärmsten Regionen Tschechiens beobachtet, wobei die wärmsten Regionen auch den am meisten urbanisier-

ten Gebieten Tschechiens entsprechen (URBAN 2016). Eine Studie von WARD (2016) hat die Oberflächentemperaturen während der europaweiten Hitzewelle im Juli 2006 in 70 europäischen Städten untersucht und festgestellt, dass Städte mit einem kühleren Klima und einer großen Anzahl von Grünflächen mehr von der Hitzewelle betroffen waren, da die kühleren nördlicheren europäischen Städte vulnerabler gegenüber Hitzewellen zu sein scheinen als die südlicheren europäischen Städte, die besser angepasst erscheinen. In der Megastadt New York wurden im Juli 2016, in dem 3 Hitzewellen auftraten, kontinuierlich meteorologische Daten mittels Wetterstationen und Innenraumsensoren aufgezeichnet. Während der Hitzewellen konnte ein *UHI*-Effekt von $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ festgestellt werden (RAMAMURTHY 2017).

Der *UHI*-Effekt deutscher Städte während der Hitzeperiode Ende Juli bis Anfang August 2018 betrug in München bis zu $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, in Berlin bis zu $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, in Freiburg und Hannover bis zu $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ sowie in Hamburg und Frankfurt bis zu $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Berechnung der Lufttemperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland erfolgte anhand der Differenz der täglichen Lufttemperaturminima zwischen den innerstädtischen DWD-Messstationen und den außerhalb der Städte gelegenen Stationen (an Flughäfen bzw. am Flugplatz in Freiburg). In Abb. 4.7-2 sind die täglichen Minimum- und Maximumtemperaturen (T_{\min} und T_{\max}) im Zeitraum vom 18.07. – 16.08.2018

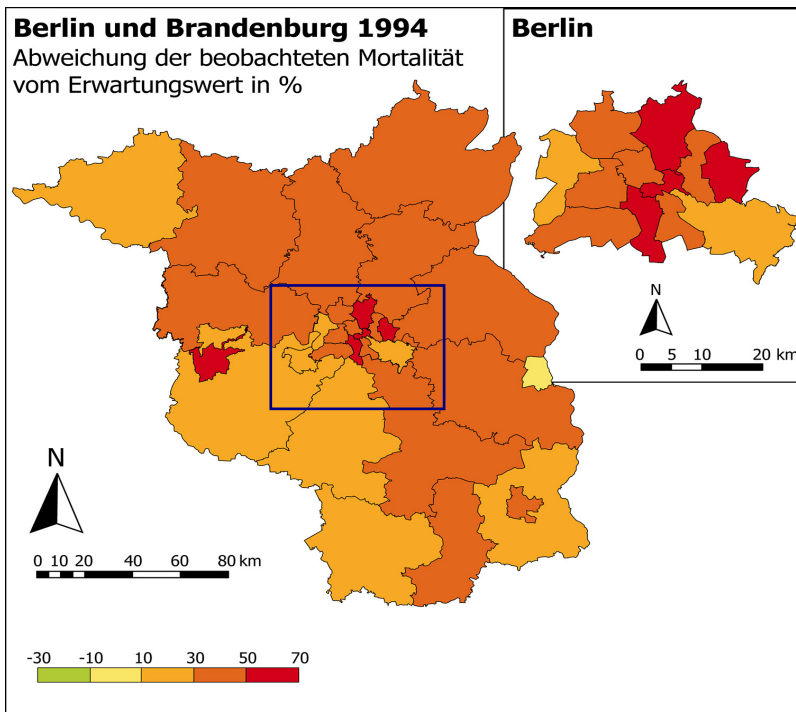


Abb. 4.7-1: Während der Hitzewelle 1994 zeigten sich die größten positiven Abweichungen von der erwarteten Sterblichkeit in den am dichtesten besiedelten Gebieten Berlins und Brandenburgs (aus GABRIEL & ENDLICHER 2011 mit freundlicher Genehmigung von Frau Gabriel).

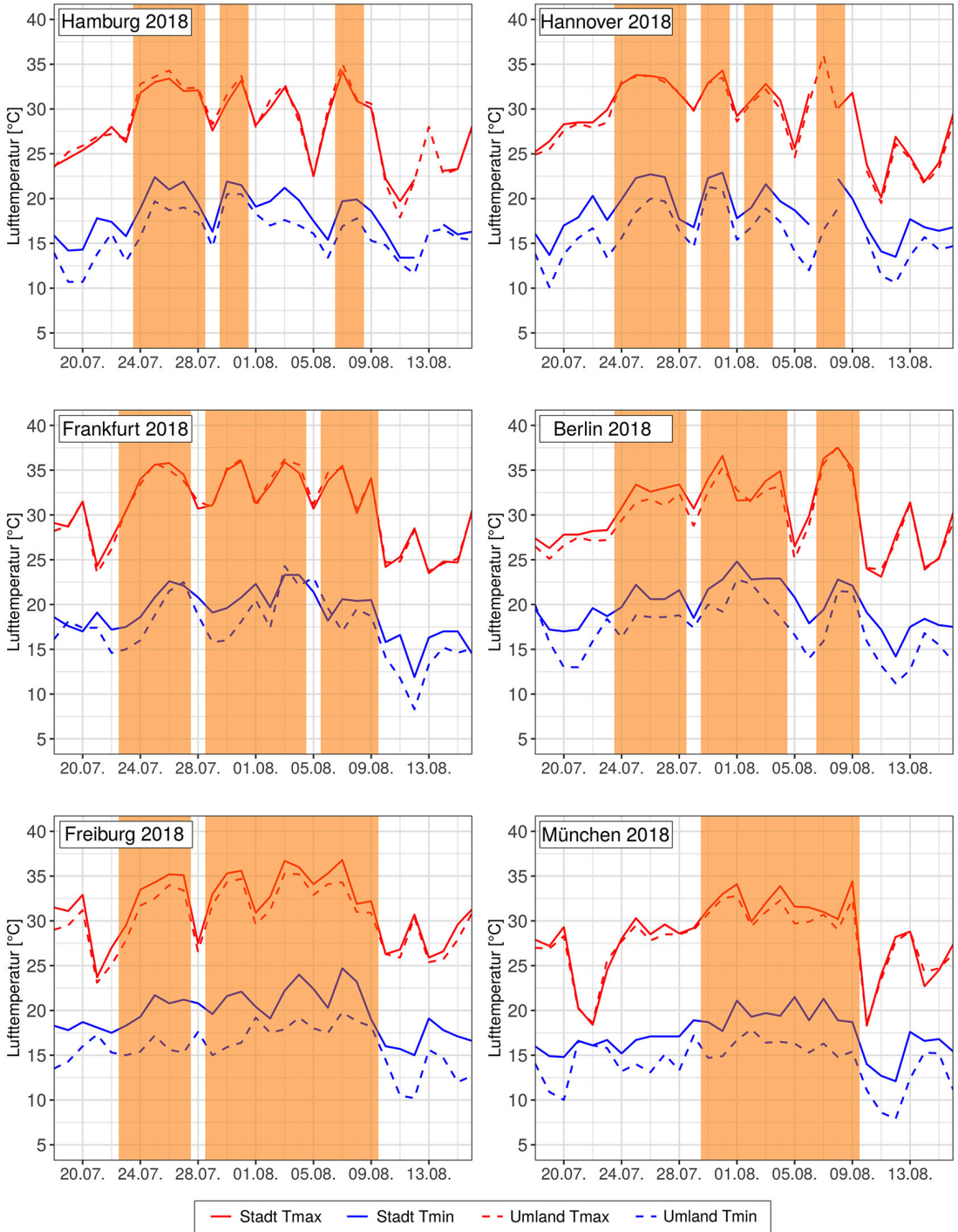


Abb. 4.7-2: Tägliche Maximum- und Minimumtemperaturen (T_{max} , T_{min}) für verschiedene Städte Deutschlands sowie ihr Umland während der Hitzeperiode Ende Juli Anfang August 2018. Hitze警告ungen wurden vom DWD während der orange markierten Zeiträume herausgegeben.

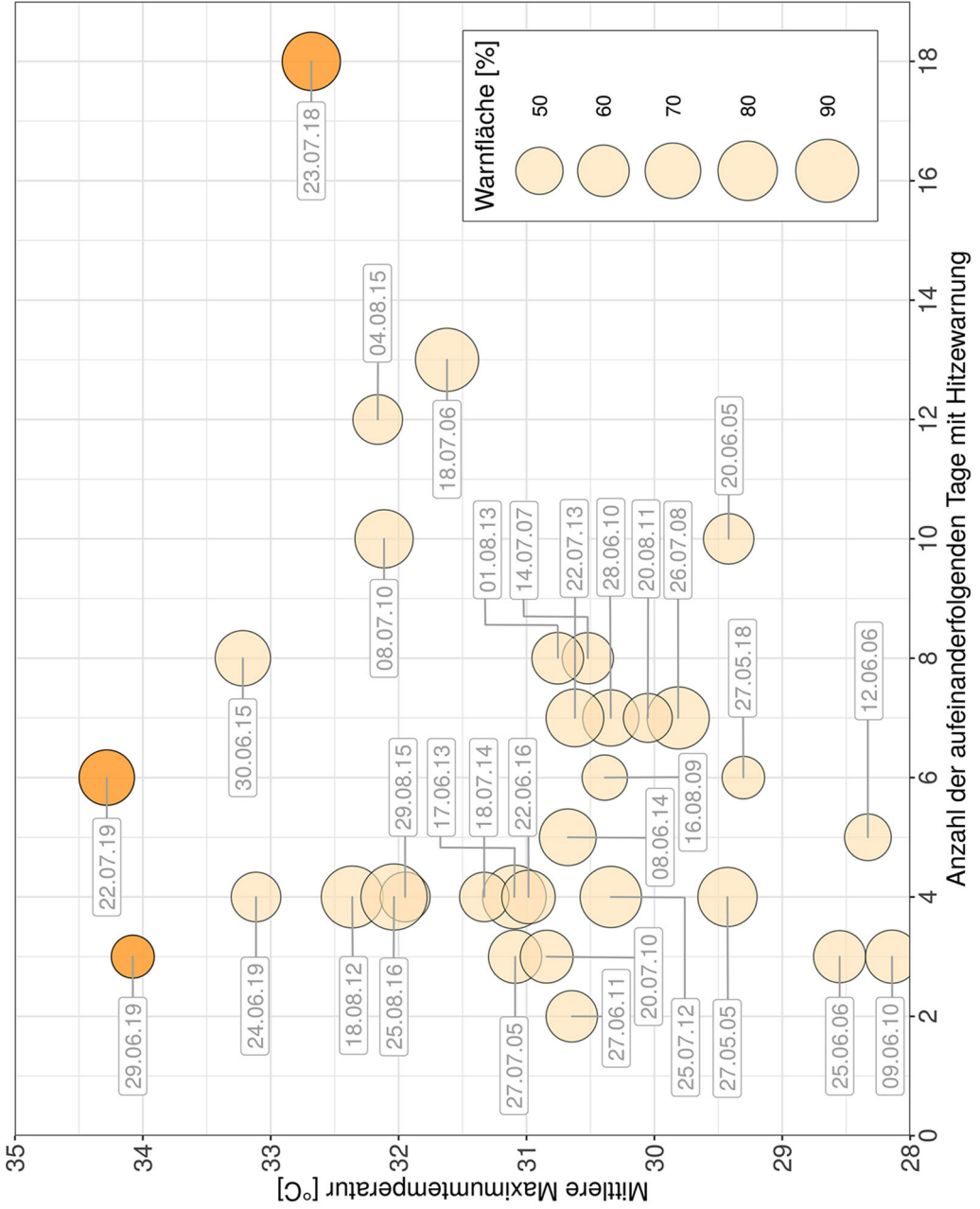


Abb. 4.7-3: Die größten Hitzeperioden Deutschlands von 2005 bis 2019 mit einer betroffenen Fläche von mehr als 100.000 km² (33% des Bundesgebiets). Die Kreisfläche gibt die vom DWD bewarnte Fläche Deutschlands während einer Hitzeperiode in % an. Das angegebene Datum entspricht dem Beginn der jeweiligen Hitzeperiode. Die zwei heißesten und die längste Hitzeperiode traten in den letzten Jahren (2018, 2019) auf (E-Obs v20.0e, CORNES et al. 2018).

für die Städte Hamburg, Hannover, Berlin, Frankfurt, Freiburg und München sowie die zugehörigen T_{\min} und T_{\max} der Stationen außerhalb der Städte dargestellt. Der vor allem nachts auftretende *UHI*-Effekt ist besonders deutlich anhand der Minimumtemperaturen zu erkennen. Während sich die Maximumtemperaturen zwischen Stadt und Umland nur geringfügig unterscheiden, sind die Minimumtemperaturen im Umland durchgehend niedriger als die Minimumtemperaturen in den Städten.

Orange markierte Bereiche entsprechen Tagen an denen eine Hitzewarnung des DWD für den jeweiligen Warnkreis, in dem die Stadt liegt, herausgegeben wurde. Die Länge und Anzahl der Hitzewellen, die während der Hitzeperiode vom 23.07. – 09.08.2018 in Deutschland aufgetreten sind, variierte in den verschiedenen Städten. Beispielsweise waren Freiburg und München von den längsten Hitzewellen betroffen, während im Norden in Hamburg und Hannover vor allem kürzere Hitzewellen aufgetreten sind bzw. die gesamte Hitzeperiode öfter unterbrochen wurde als im Süden oder Osten Deutschlands. Eine Erklärung hierfür können die meist aus Nordwesten nach Deutschland einfließenden kühleren Luftmassen sein, die ihre abkühlende Wirkung nicht bis in den Süden aufrechterhalten konnten und sich auf dem Weg nach Süden bereits wieder erwärmt haben. Im Osten Deutschlands macht sich die stärkere kontinentale Prägung bemerkbar. Die höchste Maximumtemperatur wurde in der größten Stadt in Berlin mit über 37 °C am 08.08.2018 erreicht. Knapp darunter folgt das im warmen Oberrheingraben gelegene Freiburg. Neben den hohen Maximumtemperaturen sind außerdem Tropennächte, d.h. Nächte, in denen die Minimumtemperatur nicht unter 20 °C abkühlte, gut zu erkennen. Diese fallen häufig mit den herausgegebenen Hitzewarnungen zusammen, da ein Kriterium für die Herausgabe von Hitzewarnungen eine fehlende nächtliche Abkühlung ist.

Hitzewarnungen des Deutschen Wetterdienstes

Hitzewarnungen werden seit 2005 zum Schutz der Bevölkerung in Deutschland vom Deutschen Wetterdienst (DWD) operativ herausgegeben. Basis ist ein Energiebilanzmodell des Menschen mit dem die Gefühlte Temperatur berechnet wird. Kombiniert wird das Modell mit einem Gebäudesimulationsmodell zur Abschätzung der Wärmebelastung in Innenräumen (PFAFFEROTT & BECKER 2005). Eine Hitzewarnung der Stufe I wird herausgegeben, wenn der Schwellenwert zu starker Wärmebelastung um 12 UTC an mindestens 2 Tagen in Folge überschritten wird und eine ausreichende nächtliche Abkühlung der Wohnräume nicht mehr gewährleistet

ist. Die Schwelle zur starken Wärmebelastung liegt bei etwa 32 °C Gefühlter Temperatur, kann aber im Verlauf des Sommers aufgrund der Anpassung des Menschen variieren und leicht darunter und darüber liegen. Die Berechnung des variablen Schwellenwertes erfolgt mit Hilfe des HeRATE-Verfahrens (KOPPE 2005). Mit einer Gefühlten Temperatur von 34 °C erreicht der variable Schwellenwert zu starker Wärmebelastung seine obere Grenze und kann nicht weiter ansteigen. Eine Hitzewarnung der Stufe II wird herausgegeben, wenn der Schwellenwert zu extremer Wärmebelastung überschritten wird. Eine extreme Wärmebelastung erfolgt ab einer Gefühlten Temperatur von 38 °C bzw. bei älteren Menschen aufgrund ihrer geringeren Fähigkeit zur Anpassung an die Hitze bereits ab 36 °C Gefühlter Temperatur.

Um die verstärkte Wärmebelastung in Städten zu berücksichtigen, wird seit 2017 auch der *UHI*-Effekt für alle Städte Deutschlands mit mehr als 100.000 Einwohnern im Hitzewarnsystem berücksichtigt. Über einen statistischen Ansatz nach WIENERT et al (2013) wird der Temperaturvorhersage für die kommenden Tage der *UHI*-Effekt hinzugefügt. Der *UHI*-Effekt ist dabei eine Funktion der Größe der Stadt (Parametrisiert über die Einwohnerzahl), der 24 stündigen Vorgeschichte der Gesamtbedeckung und der Windgeschwindigkeit sowie dem Tag des Jahres und der Zeit. Auf Basis dieser modifizierten Vorhersage wird dann erneut eine Innenraumtemperatur berechnet, die die nächtliche Wärmebelastung in städtischen Innenräumen beschreibt.

Ein Vergleich der in Deutschland seit Einführung des Hitzewarnsystems im Jahr 2005 aufgetretenen Hitzewellen hinsichtlich Intensität, Andauer und betroffener Fläche ist in *Abb. 4.7-3* dargestellt. Jeder Kreis in der Abbildung entspricht einer Hitzewelle. Die Größe der Kreise beschreibt die betroffene Fläche. Jeder Kreis ist mit dem Startdatum der Hitzewelle gekennzeichnet. Anhand der Lage auf dem Diagramm ist die Dauer der Hitzewelle bzw. die Anzahl der aufeinanderfolgenden Tage mit Hitzewarnung sowie die mittlere Maximumtemperatur jeder Hitzewelle abzulesen. Die Maximumtemperaturen wurden auf Basis des E-OBS Datensatzes über die von der Hitzewelle betroffenen DWD Warnkreise berechnet (E-Obs v20.0e, CORNES et al. 2018). Zu erkennen ist, dass insbesondere die letzten Jahre durch deutliche Extreme hervorstechen. Im Sommer 2019 trafen zwei der bislang heißesten Hitzewellen auf. Auch im Sommer 2015 kam es zu einer besonders heißen mehrtägigen Hitzewelle Ende Juni. Hinsichtlich der Andauer sticht der Sommer 2018 deutlich hervor, in dem mit einer Dauer von 18 Tagen die mit Abstand längste Hitzewelle seit dem Jahr 2005 in Deutschland auftrat.

Ausblick

Sechs der elf stärksten Hitzewellen im Zeitraum 1950-2015 traten in den Jahren nach 2000 auf (Russo et al. 2015). Um die gesundheitlichen Folgen einer Hitzewelle zu reduzieren sind Anpassungsmaßnahmen notwendig. Mit dem Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienst, dass frühzeitig auf eine Gefahrensituation aufmerksam macht, wurde eine Anpassungsmaßnahme im Jahr 2005 umgesetzt. Die heißesten (2015 und 2019) und längsten (2018) Hitzewellen seit 2005 traten dabei in den letzten Jahren auf. Mit dem fortschreitenden Klimawandel ist eine weitere Zunahme von Hitzewellen sehr wahrscheinlich (Muthers et al. 2017).

Literatur

- AN DER HEIDEN M., S. MUTHERS, H. NIEMANN, U. BUCHHOLZ, L. GRABENHENRICH & A. MATZARAKIS (2019): Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, Ausgabe 5/2019.
- CAMPBELL S., T. A. REMENYI, C. J. WHITE & F. H. JOHNSTON (2018): Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*, Vol. 53, P. 210-218.
- CORNES R., G. VAN DER SCHRIER, E. J. M. VAN DEN BESSELAAR & P. D. JONES (2018): An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 123. doi:10.1029/2017JD028200.
- GABRIEL K. M. A. & W. R. ENDLICHER (2011): Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, Vol 159, Issues 8-9, Pages 2044-2050, ISSN 0269-7491. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.016>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111000388>.
- HERRMANN A., W. E. HAEFELI U. LINDEMANN K. RAPP P. ROIGK & C. BECKER (2019): Epidemiologie und Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden älterer Menschen. *Z Gerontol Geriat*, 52, 487. <https://doi.org/10.1007/s00391-019-01594-4>.
- KOPPE C. (2005): Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. Dissertation.
- KOPPE C. & G. JENDRITZKY (2008): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. In: LOZAN J. L., H. GRASSL, G. JENDRITZKY, L. KARBE & K. REISE (Hrsg.) Warnsignal Klima. Gesundheitsrisiken/ Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. Wiss. Auswertungen. https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2014/03/koppe_jendritzky.pdf
- LINDEMANN U., C. BECKER & P. ROIGK (2019): Alter + Hitze: Tipps für ältere Menschen RBK (Robert Bosch Krankenhaus) – Broschüre, gefördert vom Bundesministerium für Gesundheit.
- MANGUS C. W. & T. L. CANARES (2019): Heat-Related Illness in Children in an Era of Extreme Temperatures. *Pediatrics in Review*, 40, 3.
- MATZARAKIS A. (2018): Das Stadtklima – Herausforderung heute und für die Zukunft. *Der Architekt* 5/18.
- MORA C., B. DOUSSET, I. R. CALDWELL, F. E. POWELL, R. C. GERONIMO, C. R. BIELECKI, C. W. W. COUNSELL, B. S. DIETRICH, E. T. JOHNSTON, L. V. LOUIS et al. (2017): Global risk of deadly heat. *Nat. Clim. Chang.* 7, 501-506.
- MUTHERS S., G. LASCHEWSKI & A. MATZARAKIS (2017): A comparison of the summer 2003 and 2015 with a particular focus on health impacts in South-West Germany. *Atmosphere*, 8(11), 224; doi: 10.3390/atmos8110224.
- MILAN B. F. & F. CREUTZIG (2015): Reducing urban heat wave risk in the 21st century. *Environmental Sustainability*, 14: 221-231.
- PFÄFFEROTT J. & P. BECKER (2008): Erweiterung des Hitzewarnsystems um die Vorhersage der Wärmebelastung in Innenräumen, *Bauphysik* 30(4):237-243. doi: 10.1002/bapi.200810031.
- RAMAMURTHY P., J. GONZÁLEZ, L. ORTIZ, M. AREND & F. MOSHARY (2017) Impact of heatwave on a megacity: an observational analysis of New York City during July 2016.
- RUSSO S., J. SILLMANN & E. M. FISCHER (2015): Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environ Res Lett* 10:124003.
- SCHUSTER C., J. HONOLD, S. LAUF & T. LAKES (2017): Urban heat stress: novel survey suggests health and fitness as future avenue for research and adaption strategies. *Environ. Res. Lett.* 12.
- STEUL K. S., L. LATASCH, H. G. JUNG & U. HEUDORF (2018): Morbidität durch Hitze – eine Analyse der Krankenhauseinweisungen per Rettungseinsatz während einer Hitzewelle 2015 in Frankfurt/Main. *Gesundheitswesen* 80:353–359; Erratum: Morbidität durch Hitze – eine Analyse der Krankenhauseinweisungen per Rettungseinsatz während einer Hitzewelle 2015 in Frankfurt/Main *Gesundheitswesen* 2018; 80(08/09): 767-767. doi: 10.1055/a-0658-2816.
- URBAN A., K. BURKART, J. KYSELÝ, C. SCHUSTER, E. PLAVCOVÁ, H. HANZLÍKOVÁ, P. ŠTĚPÁNEK & T. LAKES (2016): Spatial Patterns of Heat-Related Cardiovascular Mortality in the Czech Republic. *IJERPH*. doi: 10.3390/ijerph13030284.
- WARD K., S. LAUF, B. KLEINSCHMIT & W. ENDLICHER (2016): Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Sci Total Environ.*, 1, 569-570:527-539. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.119.
- WIENERT U., F. KREIENKAMP, A. SPEKAT & W. ENKE (2013): A simple method to estimate the urban heat island intensity in data sets used for the simulation of the thermal behaviour of buildings. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 2, 179–85. doi:10.1127/0941-2948/2013/0397.
- YE X., W. RODNEY, Y. WEIWEI, P. VANECKOVA, X. PAN & S. TONG (2012): Ambient Temperature and Morbidity: A Review of Epidemiological Evidence. *Environmental Health Perspectives* 120, Nr. 1, 19-28. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003198>.

Kontakt:

Kathrin Graw

Dr. Stefan Muthers

Prof. Dr. Andreas Matzarakis

Deutscher Wetterdienst DWD-Freiburg im Breisgau

andreas.matzarakis@dwd.de

Graw K., S. Muthers & A. Matzarakis (2019): Hitzewellen und Hitzewarnungen in Städten. In: Lozán, J. L. S.-W. Breckle, H. Graßl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Städte*. pp. 152-158. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. DOI:10.25592/warnsignal.klima.die-staedte.22.