

3.1.9 Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität

CHRISTINA KOPPE & GERD JENDRITZKY

Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität: Die Folgen des Hitzesommers 2003 mit über 50.000 der Hitze zuordenbaren zusätzlichen Todesfällen (über 33.000 allein während extremen Hitzewelle in der ersten Augushälfte) sowie die mit großräumigen Waldbränden einhergehende Hitzewelle 2010 in Russland mit geschätzten 55.000 zusätzlichen Todesfällen zeigen eindrücklich die Anfälligkeit der Bevölkerung gegenüber Hitzebelastung. Physiologisch relevante Beschreibungen der Wärmeaustauschbedingungen des Menschen mit seiner thermischen Umwelt basieren auf Wärmehaushaltsmodellen und müssen Anpassung berücksichtigen. Adaptation ist der Schlüsselbegriff sowohl im Verständnis der Beziehungen von Gesundheit zu Wetter/ Klima als auch für die Vorbereitung auf extreme Wetterbedingungen.

The impact of thermal stress on mortality: The outcome of the hot the summer 2003 with more than 50.000 heat related extra deaths in Europe (over 33.000 solely during the extreme fourteen day heat wave in August) and the combined heat and forest fire event in Russia in 2010 with estimated 55.000 extra deaths showed impressively the sensitivity of the population to heat load. Physiologically significant descriptions of the heat exchange conditions of the human being to its thermal environment require both heat budget modeling and consideration of adaptation. Adaptation is the core term both in understanding the relationship between health and weather or climate and in preparing for extreme weather.

Der Mensch ist über seinen Wärmehaushalt, mit dem sein Energieumsatz und der Wärmeaustausch an die Umgebung in Einklang gebracht werden, sehr eng mit der atmosphärischen Umwelt verbunden. In der engen Verknüpfung mit den thermischen Umweltbedingungen liegt begründet, dass Hitzewellen z.B. in den Vereinigten Staaten von Amerika und in Australien die Hauptursache für wetterbedingte Todesfälle sind. Auch in Europa, für welches kein Vergleich der Todesfallzahlen für unterschiedliche »Wetterkatastrophen« existiert, forderte thermische Belastung in der Vergangenheit eine nicht zu vernachlässigende Anzahl an Menschenleben. Während der Hitzewellen im Sommer 2003 dürften beispielsweise in ganz Europa über 50.000 Menschen der Hitze zum Opfer gefallen sein, davon über 33.000 in der extremen Hitzewelle

Tab. 3.1.9-1: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 in Europa. (Quellen s. Text).

Region	Mortalitätssteigerung
Baden-Württemberg	~ 2.100, davon ~ 1.400*
Belgien	2.097 (Alter > 65)
Deutschland	~ 7.000
Frankreich	14.805*
England und Wales	2.091
Italien	3.134, aber: 19.780 mehr als 2002
Niederlande	~ 1.400 - ~2.200, davon ~500*
Portugal	1.953*
Schweiz	975
Spanien	6.595–8.648, davon 3.574*–4.687*
Europa	>50.000, ~33.120*

* Hitzewelle 31.Juli-13.August)

im August (z.B. EEA 2004, KYSELÝ & HUTH 2004, KOSATSKY 2005, KOVATS & JENDRITZKY 2006, LARSEN 2006) (Tab. 3.1.9-1). Damit würde es sich nach Zahl der Opfer um die größte Umweltkatastrophe in West- und Mitteleuropa seit dem 14. Jahrhundert handeln, als die Nordseeküste von einer Sturmflut betroffen war (»große Manndränke«).

Im Jahr 2010 wurde dann der Osten Europas von einer extremen Hitzewelle getroffen, die zusätzlich mit Wald- und Torfbränden einherging. Schätzungen gehen von rund 55.000 zusätzlichen Todesfällen in Russland in den Monaten Juli und August 2010 aus (BARRIOPEDRO et al. 2011).

Ein Anstieg der Mortalitätsrate darf allerdings nur als das äußerste Ende in der Spannweite der Reaktionen der Bevölkerung auf thermische Belastungen angesehen werden, die individuell von nur Belästigung über Verminderung der Leistungsfähigkeit und thermisch bedingte Verschlechterung des Krankheitsbildes (s. Kap. 3.1.11, VON WICHERT, in diesem Band) läuft. Es gibt auch Hinweise, dass die Zahl von Unfällen während Hitzewellen erhöht ist.

Ausführliche Übersichten über bisherige Untersuchungen des Einflusses der thermischen Bedingungen auf die Mortalität, überwiegend aus Nordamerika und Europa sind z.B. bei BASU & SAMET (2002), KOPPE et al. (2004), KOPPE (2005), KOVATS & JENDRITZKY (2006), ASTROM et al. (2011) zu finden. Die Ergebnisse sind aus methodischen Gründen zum Teil nicht direkt vergleichbar. Als wichtigste Ursachen dafür sind zu nennen:

- teilweise nur relativ kurze Zeitreihen,
- unterschiedliche Bestimmung des täglichen Erwar-

- unterschiedliche Bewertung der thermischen Bedingungen und
- unterschiedliche Repräsentanz der Wetterstation für die Exposition der Betroffenen.

Die thermischen Bedingungen, die den Wärmeaustausch des menschlichen Körpers mit seiner Umgebung charakterisieren, werden neben der Lufttemperatur auch durch die lang- und kurzwelligen Strahlungsflüsse, die Luftfeuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit bestimmt (s.u. und Kap. 1.2, LASCHEWSKY in diesem Band). Gleichwohl stützen sich die meisten epidemiologischen Arbeiten lediglich auf die Lufttemperatur als Indikator für die thermische Umwelt. Darüber hinaus werden in der Regel die meteorologischen Daten der nächsten, häufig an einem Flughafen gelegenen Wetterstation für die Bewertung der thermischen Situation in der Stadt herangezogen, da Daten aus dem Stadtbereich häufig nicht verfügbar sind. Zudem lassen sich genaue Expositionsdaten nur sehr schwer bestimmen, da die individuelle thermische Belastung zusätzlich von weiteren Faktoren, wie die Aktivität, und der genauen Exposition (z.B.: Innenraumbedingungen) abhängig ist, die sich auf Bevölkerungsebene nicht bestimmen lassen.

Thermische Belastung

Um einen kausalen Zusammenhang zwischen thermischer Umwelt und Gesundheitsauswirkungen herstellen zu können, ist es wichtig die Umwelt gesundheitsrelevant zu bewerten (LASCHEWSKI & JENDRITZKY 2002).

Dies erfordert ein Verfahren, das die Mechanismen des Wärmeaustauschs des Menschen mit seiner Umgebung unter Berücksichtigung der physiologischen Beanspruchung (s. Kap. 3.1.11, VON WICHERT, in diesem Band) valide beschreibt (PARSONS 2003). Eine Möglichkeit einer physiologisch relevanten Beschreibung der thermischen Bedingungen steht mit dem Klima-Michel-Modell (JENDRITZKY et al. 1979, 1990) zur Verfügung, welches auf den Arbeiten von FANGER (1970) und GAGGE et al. (1986) beruht, und das als beschreibende Größe die gefühlte Temperatur GT (°C) liefert (STAIGER et al. 1997, VDI 2008) (s. Kap. 1.2, LASCHEWSKI; 1.3, TINZ & JENDRITZKY; 3.1.11, VON WICHERT; 5.3, LASCHEWSKI & BUCHER, alle in diesem Band).

Darüber hinaus sollten auch die kurzfristige verhaltensgesteuerte (MORGAN & DE DEAR 2003) und physiologischen (s. Kap. 3.1.11, VON WICHERT, in diesem Band) Anpassung des Menschen an die lokalen Witterungsverhältnisse der letzten Wochen in ein Verwertungsverfahren einbezogen werden. Durch die physiologische Anpassung (Akklimation) ändert sich die Reaktion des menschlichen Körpers auf die thermische Umwelt, weil diese durch eine Effizienzsteigerung des Thermoregulationssystems die effektiv auf ein Individuum wirkende thermische Belastung reduziert. Daneben vermindert die verhaltensgesteuerte kurzfristige Anpassung über die Änderung der getragenen Bekleidung den auf ein Individuum einwirkenden thermischen Stress. als dafür geeignete Methode wurde HeRATE (*HEalth Related Assessment of the Thermal Environment*) entwickelt (KOPPE & JENDRITZKY 2005,

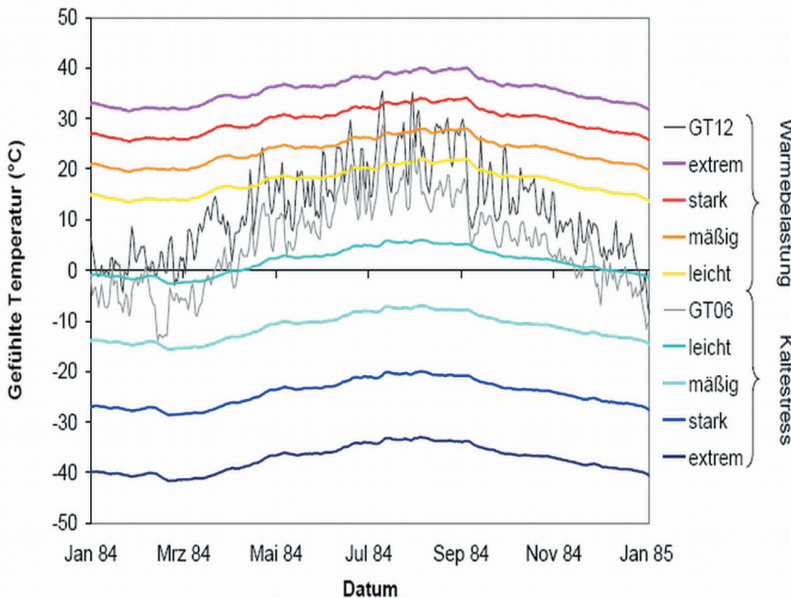


Abb. 3 1 9-1: Verlauf der Schwellenwerte für die thermischen Belastungsstufen (Baden-Württemberg, 1984). GT12, GT06: Gefühlte Temperatur um 12 UTC resp. 06 UTC.

KOPPE 2005), welche das Klima-Michel-Modell um ein konzeptionelles Modell für die kurzfristige Anpassung (bestehend aus kurzfristiger Akklimatisation und verhaltensgesteuerter Anpassung) an die lokale Witterung der letzten vier Wochen ergänzt. Damit werden ursprünglich konstante Schwellen für die unterschiedlichen Intensitäten thermischer Belastungen in Abhängigkeit von der Vorgeschichte variabel (Abb. 3.1.9-1). Darüber hinaus hat das Einbeziehen der kurzfristigen Anpassung den Vorteil, dass das Verfahren ohne weitere Veränderungen auf Daten aus unterschiedlichen klimatischen Regionen und unterschiedlichen Jahreszeiten angewendet werden kann (s. Kap. 1.3, TINZ & JENDRITZKY, in diesem Band).

Mortalität, Sensitivität und Vulnerabilität

Zur epidemiologischen Untersuchung eventueller Umwelteinflüsse auf die Mortalität werden möglichst lange Zeitreihen aus möglichst großen Grundgesamtheiten (also große Städte oder Regionen mit mehreren hunderttausend Einwohnern) benötigt. Die Mortalitätsdaten in Europa zeigen in der Regel einen typischen Jahresgang mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer (Abb. 3.1.9-2), wobei interessanterweise diese Unterschiede in gemäßigten Klimaten stärker ausgeprägt sind als in extremen (EUROWINTER GROUP 1997). Bei der Bewertung des Einflusses der thermischen Belastung auf die Mortalität lautet die Fra-

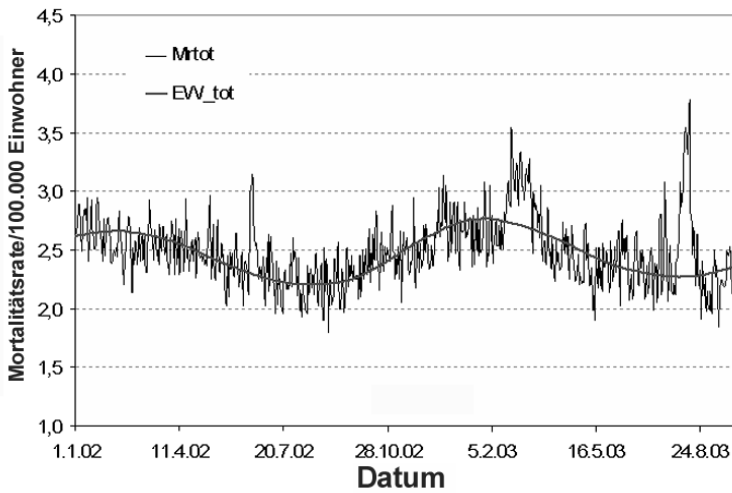


Abb. 3.1.9-2: Tägliche Mortalitätsrate (p. 100.000 Einwohner) mit Verlauf des Erwartungswerte für Baden-Württemberg 2002 bis Herbst 2003.

Relative Mortalität: Europe 1986-1996

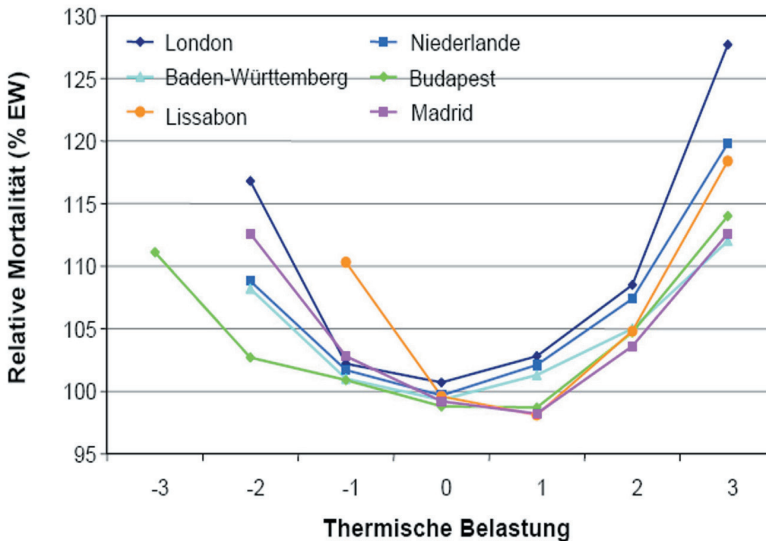


Abb. 3.1.9-3: Mittlere relative Mortalität für die unterschiedlichen thermischen Belastungsklassen unter Berücksichtigung der Zeitverschiebung mit den stärksten Auswirkungen auf die Mortalität (1986-1996). EW: Erwartungswert; -3: starker Kältestress (KS); -2: mäßiger KS; -1: leichter KS; 0: Komfortbedingungen; 1: leichte Wärmebelastung (WB); 2: mäßige WB; 3: starke WB; 4: extreme WB

ge, wie viele Menschen durch die thermische Belastung zusätzlich gestorben sind, also in wie weit die täglichen Mortalitätsraten vom so genannten Erwartungswert abweichen. Mit Hilfe dieser Relation kann die Sensitivität einer Population für eine bestimmte thermische Belastungsstufe beurteilt werden. Die gewählte Darstellungsart ermöglicht den Vergleich von Populationen, die unterschiedlich sensitiv auf thermische Belastung reagieren, und ist zudem unabhängig von Unterschieden und Trends in der Mortalitätsrate. Die Vulnerabilität (Verwundbarkeit) einer Bevölkerung ergibt sich aus der Sensitivität der Bevölkerung und der Häufigkeit ungünstiger Expositionen, z.B. Hitzewellen.

Abb. 3.1.9-2 (KOPPE 2005, SCHÄR & JENDRITZKY 2004) zeigt am Beispiel einer Zeitreihe der Gesamtmortalität von Baden-Württemberg den Verlauf des Erwartungswertes der Mortalität. Deutlich ist der »mittlere« Jahresgang zu erkennen sowie ein Mortalitätsgipfel im Juni 2002 (einwöchige Hitzewelle), eine länger anhaltende Episode mit Übersterblichkeit im ausgehenden Winter 2003 (Grippewelle) und von Mai 2003 an mehreren kleinen bis mittleren Spitzen sowie das extreme Ereignis im August 2003. Die Mortalitätspeaks im Sommer können alle mit Wärmebelastung in Verbindung gebracht werden.

Abb. 3.1.9-3 zeigt anhand von sechs ausgewählten Regionen bzw. Großstädten beispielhaft die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen der mittleren relativen Mortalität (Abweichung in % von einem auf 100% gesetzten Erwartungswert) und der thermischen Belastung (KOPPE 2005). Dabei sind auf der Abszisse die thermischen Belastungsklassen auf Basis des Klima-Michel-Modells mit der Anpassung der Schwell-

lenwerte an die aktuellen Witterungsbedingungen nach HeRATE dargestellt. Die Zeitverschiebung beträgt in Übereinstimmung mit der Literatur auf der warmen Seite 1 Tag und auf der kalten Seite 7 Tage (z.B. BASU & SAMET 2002, LASCHEWSKI & JENDRITZKY 2002, KOPPE et al. 2004, KOVATS & JENDRITZKY 2006).

Die Unterschiede zwischen den untersuchten Gebieten in der Sensitivität für »mäßige Wärmebelastung« bis »leichten Kältestress« sind mit Ausnahme von Lissabon bei »leichtem Kältestress« gering. In Lissabon, Budapest und Madrid war »leichte Wärmebelastung« die Belastungsklasse mit der geringsten relativen Mortalität im Zeitraum 1986–1996. In den übrigen Regionen traten während »Komfortbedingungen« die wenigsten Todesfälle auf. Bei diesen Bedingungen ist die Anforderung an die Thermoregulation des Organismus minimal (Abb. 3.1.9-4).

In allen untersuchten Regionen ist »starke Wärmebelastung« mit der größten Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert verbunden. Besonders hoch war die Mortalitätsrate in dieser Belastungsklasse in London, den Niederlanden sowie Lissabon mit 128, 120 beziehungsweise 118%. In den anderen untersuchten Regionen betrug die relative Mortalität während »starker Wärmebelastung« 112–114% des Erwartungswertes. Dies veranschaulicht die hohe Sensitivität der Bevölkerung in allen untersuchten Gebieten für »starke Wärmebelastung«.

Die Abweichungen der Mortalität vom Erwartungswert unterscheiden sich hingegen in den einzelnen Regionen während »mäßigen Kältestresses« wieder stark voneinander und liegen zwischen 3% in Budapest und 17% in London. In Budapest trat zudem noch ein Tag

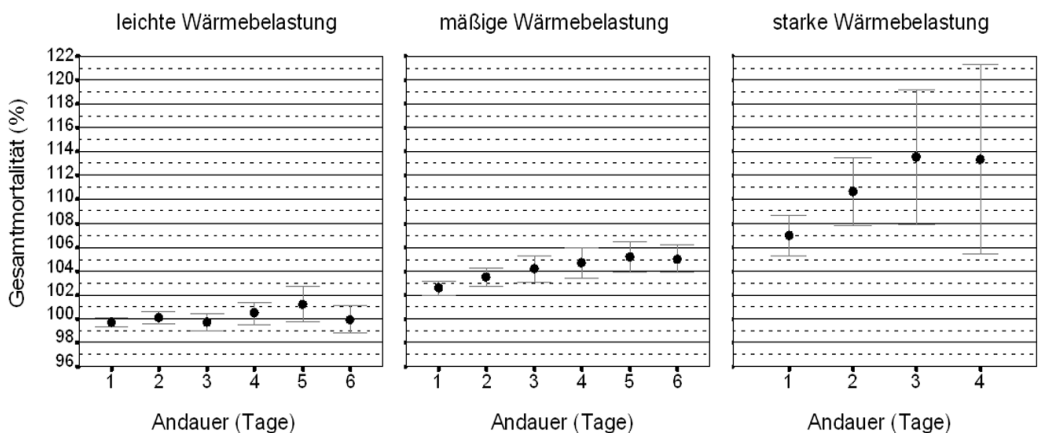


Abb. 3.1.9-4: Auswirkung der Andauer thermischer Belastung auf den Mittelwert der relativen Mortalität (Baden-Württemberg, 1968-2003).

mit »starkem Kältestress« auf, welcher mit einer Übersterblichkeit von 11% einherging.

Die Sensitivität der Bevölkerung für thermische Belastung einer bestimmten Intensität scheint von der Häufigkeit der Belastungsklasse abhängig zu sein. Der Erklärungsanteil der relativen Häufigkeit einer Belastungsklasse an der relativen Mortalität betrug für den Zeitraum 1986–1996 für alle untersuchten Zeitreihen zusammen gut 80%. Je seltener eine bestimmte thermische Exposition auftritt, desto schlechter scheinen die Menschen an solche Bedingungen angepasst zu sein und desto höher ist auch die Zunahme der Mortalität.

Da besonders ältere Menschen während Hitzewellen sterben wird oft argumentiert, dass diese so geschwächt waren, dass sie auch ohne die Einwirkung der Hitzewelle nur noch wenige Tage zu leben gehabt hätten. diese Vorverlegung des Todeseintrittsdatums um nur wenige Tage (sogenannter »harvesting effect«) tritt jedoch nur in rund 20% bis 30% der Fälle auf (Abb. 3.1.9-5) (z.B. LASCHEWSKI & JENDRITZKY 2002, BASU & SAMET 2002, KIRCH et al. 2005). Das bedeutet, dass die meisten Menschen ohne die Belastung noch wesentlich länger hätten leben können.

Grundsätzlich sind Kleinkinder (wegen der noch instabilen Thermoregulation), ältere Menschen und Personen mit Vorerkrankungen am stärksten von hitze-

bedingter Morbidität und Mortalität betroffen (DONALDSON et al. 2002, KOPPE et al. 2004, KIRCH et al. 2005). Die mit zunehmendem Lebensalter überproportional zunehmende Sensitivität auf thermische Belastungen hängt u.a. mit der mit dem Alter korrelierten Abnahme der Fitness, der Zunahme von Erkrankungen und damit verbundenen Therapien, mangelhafter Selbstorganisation zusammen (s. Kap. 3.1.11, VON WICHERT, in diesem Band). Die besondere Sensitivität von alleinstehenden, sozial isolierten und bettlägerigen Menschen und Personen mit niedrigem Einkommen weist dabei auch auf sozioökonomische Faktoren hin.

Frauen sind generell stärker betroffen als Männer. Das liegt wesentlich daran, dass Frauen eine höhere Lebenserwartung haben und es deswegen mehr ältere Frauen gibt, die betroffen sein können. Darüber hinaus ist die Anpassungskapazität von Frauen an Hitze physiologisch bedingt im Vergleich zu Männern etwas geringer.

Nur ein Teil der Opfer von Hitzewellen stirbt an direkt hitzebedingten Erkrankungen (z.B. Hitzschlag); der größere Teil stirbt an anderen, bereits vorhandenen Grunderkrankungen. Da der Organismus des Menschen versucht die Körperkerntemperatur um jeden Preis konstant zu halten, kommt es häufig zum Versagen von anderen Systemen (z.B. Herzkreislaufsystem). Grund-

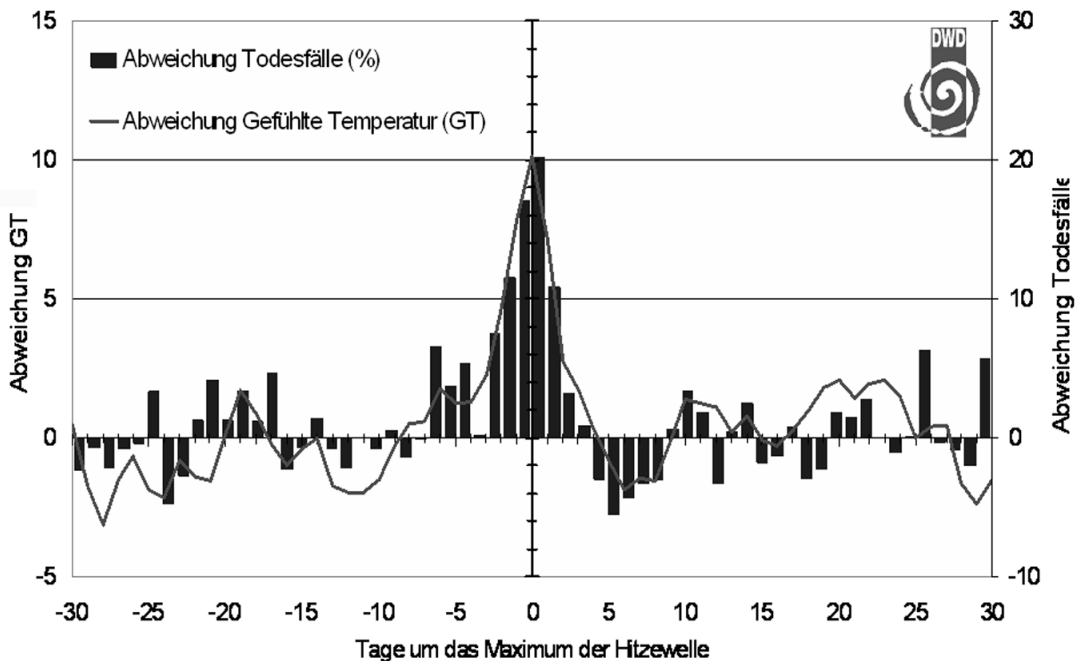


Abb. 3.1.9-5: Mittlere Hitzewelle (+/- 30 Tage) aus 9 Extremereignissen in Baden-Württemberg aus 1968 bis 1997. Basislinie: standardisierte Normalbedingungen (Erwartungswert).

sätzlich erhöht sich das Risiko von hitzebedingter Morbidität oder Mortalität aber auch bei sonst gesunden Personen durch unangepasstes Verhalten (Aktivität, Bekleidung, Alkohol- und Drogenmissbrauch etc.). Bei Hitze können auch mehr Verkehrs- und Betriebsunfälle erwartet werden.

Auch wenn die epidemiologischen Studien zum Einfluss der thermischen Bedingungen auf die Mortalität im Grundsatz ähnliche Zusammenhänge liefern, so bleiben doch noch eine Reihe von Fragen offen. Häufig wird argumentiert, dass in einer wärmeren Welt die Zunahme der Sommermortalität von der Abnahme der Wintermortalität überkompensiert werden wird (s. z.B. DONALDSON et al. 2002). Dagegen sprechen jedoch u.a. völlig unterschiedliche Ursache-Wirkungsbeziehungen und die bisherigen Vergleiche in unterschiedlichen Klimaten (EUROWINTER GROUP 1997). Zudem ist noch offen, welcher Anteil der Wintersterblichkeit rein kältebedingt ist und welcher Anteil auf andere Ursachen, wie beispielsweise vermehrtes Auftreten von Infektionskrankheiten, zurückzuführen ist.

Bisher ist auch die Beschreibung der aktuellen thermischen Exposition unbefriedigend gelöst, indem meteorologische Daten von Umlandstationen auf Populationen angewendet werden, die sich unter dem Einfluss einer unbekanntem Ausprägung der städtischen Wärmeinsel sich überwiegend in Innenräumen in unbekanntem Stockwerken von Gebäuden mit unbekannter Beziehung zur thermischen Umgebung aufhalten. Der DWD hat allerdings inzwischen in seinem Hitzewarnsystem eine Parametrisierung eingeführt, mit welcher der Zusammenhang zwischen Außen- und Innenbedingungen für einen mittleren Gebäudetyp beschrieben wird (BECKER et al. 2005) (s. Kap. 5.3, LASCHEWSKI & BUCHER, in diesem Band).

Fraglich ist auch, welche Rolle Luftschadstoffe bei der Mortalität während Hitzewellen spielen. Mit trocken-heißen Wetterlagen gehen in der Regel auch hohe Konzentrationen an Ozon und Feinstaub einher. Die Ergebnisse in der Literatur sind allerdings uneinheitlich, zumindest bzgl. des Ozons kann von einer geringen Konzentration in Innenräumen und damit einer geringen Exposition der Hauptrisikogruppe ausgegangen werden. Anders sieht es aus, wenn Situationen wie 2010 in Moskau auftreten. Hier ging eine extreme Hitzewelle mit durch Wald- und Torfbrände verursachten Episoden hoher Luftbelastung einher. Möglicherweise sind die gefundenen Unterschiede in den Mortalitätsraten bei Hitzewellen zwischen sonst vergleichbaren Städten u.a. durch unterschiedliche lufthygienische Belastungen begründet.

Schlussfolgerungen - Adaptation

Auch wenn die potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels aufgrund zahlreicher Unsicherheiten noch schwer abzuschätzen sind, müssen dringend Anpassungsstrategien entwickelt werden, um die Gesundheitsrisiken, die beispielsweise durch eine Zunahme von Hitzewellen entstehen können, zu minimieren. Dabei hängen die Auswirkungen auf die Gesundheit von zahlreichen sozioökonomischen, technologischen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen ab, welche die Anpassungsfähigkeit und damit die Vulnerabilität der Gesellschaften bestimmen. In Bezug auf die Minimierung der Gesundheitsauswirkungen von Hitzewellen kann dabei zwischen kurz- und langfristigen Anpassungsmaßnahmen unterschieden werden:

Kurzfristig

Hitzewarnsysteme (*Heat Health Warning Systems* = HHWS) können die Bevölkerung rechtzeitig vor möglichen Gefahren durch Wärmebelastung warnen. Solche Systeme basieren auf der Vorhersage der Überschreitung eines mit den Gesundheitsbehörden abgestimmten Schwellenwertes für thermische Belastung (Wärmebelastungsvorhersage) und anschließenden Interventionen, die auf einem an die lokalen Bedingungen angepassten Notfallplan beruhen müssen. Letztere gehören in die Zuständigkeit des öffentlichen Gesundheitswesens. HHWS müssen sorgfältig geplant werden und eine komplette Beschreibung aller Abläufe und eine klare Festlegung der Schnittstelle zwischen dem nationalen Wetterdienst und dem Gesundheitsbereich beinhalten (KOPPE et al. 2004, BECKER et al. 2005, KOVATS & JENDRITZKY 2006) (s. Kap. 5.3, LASCHEWSKI & BUCHER, in diesem Band).

Hitzewarnsysteme können in der Regel kurzfristig (im Zeitfenster von Monaten bis Jahren) eingerichtet werden. Die Erfahrungen aus dem Sommer 2003 haben dazu geführt, dass nahezu in allen Ländern der EU mehr oder weniger ausgefeilte HHWS implementiert wurden. Untersuchungen zu den Kosten-Nutzen-Relationen existieren allerdings erst ansatzweise, deuten jedoch einen im Vergleich zu den Kosten hohen Nutzen dieser Systeme an.

Langfristig

Das Klima einer Stadt stellt als Ergebnis einer geplanten oder zufälligen Änderung der Landnutzung ein eindrucksvolles Beispiel einer anthropogenen Klimamodifikation dar. Im Hinblick auf das Thema thermische Bedingungen und Gesundheit in der Stadt muss danach die städtische Wärmeinsel Gegenstand der Vorsorgeplanung sein (s. Kap. 3.1.1, BAUMÜLLER, in diesem Band). Es kann davon ausgegangen werden, dass die städtische Wärmeinsel die Intensität

einer großräumigeren Hitzewelle erhöht, wodurch der Einfluss des Wetters auf Morbidität und Mortalität verstärkt wird. Hier muss die Stadtplanung dem gesetzlichen Ziel folgen und zur Schaffung und Sicherstellung gesunder Wohn- und Arbeitsbedingungen die städtische Wärmeinsel reduzieren.

Neben der Notwendigkeit, durch Planungsmaßnahmen die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel (eigentlich des Wärmeinselarchipels) zu verringern, müssen auch die thermischen Bedingungen in den Innenräumen verbessert werden, zumal der Mensch sich in unseren Breiten überwiegend in Innenräumen aufhält. Notwendig ist eine intelligente Architektur, die jetzige und zukünftige Gegebenheiten des Klimas durch Kontrolle der Abschattungsmöglichkeiten, Ventilation, Materialwahl, passive Kühlung etc. berücksichtigt.

Literatur:

- ASTROM, D. O., B. FORSBERG & J. ROCKLOV (2011): Heat wave impact on morbidity and mortality. In: The elderly population: A review of recent studies. *Maturitas*, 69, 99-105.
- BARRIOPELRO, D., FISCHER E. M., LUTERBACHER J., TRIGOR R. M. & R. GARCÍA-HERRERA (2011): The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science* Vol. 332 No. 6026, 220-224.
- BASU, R. & J. M. SAMET (2002): Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiological evidence. *Epidemiologic Reviews* 24, 190–202.
- BECKER, P., K. BUCHER, G. JENDRITZKY & C. KOPPE (2005): Germany's Heat-Health Warning System. *Annalen der Meteorologie*, 41, Volume 1, Deutscher Wetterdienst, 279-281.
- DONALDSON, G., R. S. KOVATS, W. R. KEATINGE & A. J. MCMICHAEL (2002): Heat- and cold-related mortality and morbidity and climate change. Health effects of climate change in the UK, Department of Health.
- EEA (European Environment Agency) (2004): Impacts of Europe's changing climate – An indicator based assessment. EEA Report No 2/2004.
- EUROWINTER GROUP (1997): Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. *Lancet*, 349: 1341-1346.
- FANGER, P. O. (1970): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environment Engineering. Danish Technical Press, Copenhagen. 244 S.
- JENDRITZKY G., G. MENZ, H. SCHIRMER & W. SCHMIDT-KESSEN (1990): Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponenten im Bioklima des Menschen. Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. Beitr. Akademie f. Raumforschung u. Landesplanung, Bd. 114, Hannover, 80 S.
- JENDRITZKY, G. (1990): Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten. In: Jendritzky, G., Schirmer, H., Menz G., Schmidt-Kessen W: Methode zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Akad. f. Raumforschung u. Landesplanung, Hannover, Beiträge 114:7–69.
- JENDRITZKY, G. (2007): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: ENDLICHER, W. & F.-W. GERSTENGARBE (Hrsg.): Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 108-118
- JENDRITZKY, G., BUCHER, K., LASCHEWSKI, G., SCHULTZ, E., STAIGER, H., 1998: Medizinische Klimatologie. In: G. Hildebrandt u. Ch. Gutenbrunner (Hrsg.) *Balneologie und medizinische Klimatologie*. Springer, Heidelberg, 477-598.
- JENDRITZKY, G., D. FIALA, G. HAVENITH, C. KOPPE, G. LASCHEWSKI, H. STAIGER & B. TINZ (2007): Thermische Umweltbedingungen. *Promet*, Jahrg. 33 Nr. 3/4, 83-94.
- JENDRITZKY, G., G. MENZ, H. SCHIRMER & W. SCHMIDT-KESSEN (1990): „Methodik der räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell)“, Beiträge d. Akad. f. Raumforschung und Landesplanung Bd. 114, 7-69.
- JENDRITZKY, G., H. STAIGER, K. BUCHER, A. GRAETZ & G. LASCHEWSKI (2000): “The perceived temperature: the method of Deutscher Wetterdienst for the assessment of cold stress and heat load for the human body”, Internet Workshop on Windchill, April 3-7, 2000, Meteorological Service of Canada, Environment Canada.
- JENDRITZKY, G., W. SÖNNING & H. J. SWANTES (1979): Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung („Klima-Michel-Modell“). Beiträge d. Akad. f. Raumforschung und Landesplanung 28, Hannover: 85 S.
- KIRCH, W., B. MENNE & R. BERTOLLINI (eds.) (2005): Extreme weather events and public health responses. WHO Europe, EU Kommission, EEA, EUPHA, Springer Berlin Heidelberg New York, 303 S.
- KOPPE, C. (2005): Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. Ber. Dt. Wetterdienst Nr. 226, DWD Offenbach/Main, 168 S
- KOPPE, C. & G. JENDRITZKY (2005): Inclusion of short-term adaptation to thermal stresses in a heat load warning procedure. *Meteorol. Z.* 14, No. 2: 271-278.
- KOPPE, C., G. JENDRITZKY & G. PFAFF (2003): „Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit“, DWD Klimastatusbericht, 152-162.
- KOPPE, C., R. S. KOVATS, G. JENDRITZKY, B. MENNE, et al. (2004): Heat waves – risks and responses. Health and global environmental change, Series No. 2. – WHO, Colombo, Rome.
- KOSATSKY, T. (2005): The 2003 European Heat Waves. *Euro Surveill* 10(7), 148ff.
- KOVATS, S. R. & G. JENDRITZKY (2006): Heat-waves and human health. In: MENNE, B. & K. L. EBI (eds.): Climate change and adaptation strategies for human health. Steinkopff, Darmstadt, 63-97.
- KYSELÝ, J. & R. HUTH (2004): Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and 'traditional' approaches. *Climate Research* 25, 265–274.
- LARSEN, J. (2006): Setting the record straight: More than 52,000 europeans died from heat in summer 2003. Earth Policy Institute, Washington, Update 56: 28 July 2006 (www.earth-policy.org/Updates/2006/Update56_data.htm).
- LASCHEWSKI, G. & G. JENDRITZKY (2002): Effects of the thermal environment on human health: an investigation on 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Clim Res*, 21, 91 – 103.
- MORGAN, C. & R. DE DEAR (2003): Weather, clothing and thermal adaptation to indoor climate. *Climate Research* 24, 267–284.
- PARSONS, K. C. (2003): Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance. 2. Ausgabe. London, Taylor & Francis. 527 S
- SCHÄR, C. & G. JENDRITZKY (2004): Hot news from summer 2003. *nature* 432, 559-560.
- STAIGER, H., K. BUCHER & G. JENDRITZKY (1997): Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien in der Maßzahl Grad Celsius. *Annalen der Meteorologie*, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 33: 100-107.
- VDI (2008): Umweltmeteorologie Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung Teil I: Klima 3787 Blatt 2, Änderungsentwurf.

Kontakt:

Dr. Christina Koppe

Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach

christina.koppe@dwd.de

Koppe, Chr. & G. Jendritzky (2014): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 3.1.9) - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.