

Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit

Ch. Koppe, G. Jendritzky, G. Pfaff

Der Wärmehaushalt des Menschen

Über seinen Wärmehaushalt ist der Mensch eng mit der atmosphärischen Umwelt verknüpft, denn der Organismus befindet sich in einer dauernden Auseinandersetzung mit den thermischen Bedingungen. Wärmeproduktion (Stoffwechsel in Form von Grund- und Aktivitätsumsatz) und Wärmeabgabe müssen ins Gleichgewicht gebracht werden, um die Körperkerntemperatur konstant zu halten. Damit werden optimale Bedingungen für alle physiologischen Funktionen gewährleistet. Insbesondere beim gesunden, fitten Menschen arbeitet das Thermoregulationssystem sehr effektiv und passt den Organismus selbst an extreme Bedingungen der Wärmeabgabe an. Diese physiologische Anpassung wird darüber hinaus von Verhaltensanpassung (Bekleidung, Ernährung, Behausung, Aktivitäten, etc.) unterstützt. Unter thermisch indifferenten Bedingungen weisen die Thermoregulationsmechanismen minimale Aktivität auf. Mit zunehmender Wärme- bzw. Kältebelastung steigen jedoch die Anforderungen an das Herz-Kreislaufsystem und die Atmung.

Die **mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt}** ist die einheitliche Temperatur einer schwarz strahlenden Umschließungsfläche, die zu dem gleichen Strahlungsgewinn oder -verlust eines Menschen führt wie unter den aktuellen Bedingungen. Über T_{mrt} werden sämtliche kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse auf die Geometrie eines hier aufrecht stehenden Menschen bezogen.

Der Wärmeaustausch des Menschen mit der Atmosphäre erfolgt über die Flüsse fühlbarer und latenter Wärme sowie über Strahlung (Wärmeleitung kann vernachlässigt werden). Dementsprechend spielen neben der Lufttemperatur auch die Windgeschwindigkeit (turbulenter

Transport), der Wasserdampfdruck und die mittlere Strahlungstemperatur eine Rolle. Stand der Technik für die thermophysologisch relevante Bewertung der thermischen Umgebungsbedingungen ist die Anwendung von kompletten Wärmehaushaltsmodellen des Menschen, die sämtliche Mechanismen des Wärmeaustausches unter Berücksichtigung von Bekleidung mit der metabolischen Rate verknüpfen (VDI 3787 Bl. 2, 1998). Das entsprechende Standardverfahren des DWD ist das Klima-Michel-Modell (Jendritzky et al., 1979; Jendritzky et al., 1990), dessen Wärmehaushaltskern auf der in o.g. VDI-Richtlinie beschriebenen PMV-Gleichung von Fanger (1972) basiert. Allerdings wurde es durch die Übernahme der PMV-Korrektur von Gagge et al. (1986) modifiziert (Jendritzky et al., 2001), um die bei Behinderungen der Wärmeabgabe zunehmend wichtiger werdenden Flüsse latenter Wärme besser zu berücksichtigen. Schließlich kann bei einer Lufttemperatur oberhalb der Hauttemperatur Wärme nur noch über die Verdunstung von Schweiß abgegeben werden, während der sensible Wärmefluss zum Organismus hingerichtet ist.

Das **Predicted Mean Vote PMV** ist ein Maß für das mittlere thermische Empfinden einer größeren Anzahl von Personen auf der psycho-physischen ASHREA-Skala. Ein PMV Wert von 0 entspricht thermischer Behaglichkeit, ein PMV Wert von 1 steht für leicht warme Bedingungen (2 = warm, 3 = heiß, -1 = leicht kühl, -2 = kühl, -3 = kalt).

Die **Gefühlte Temperatur GT** ist die Temperatur einer Referenzumgebung, in der das gleiche Wärme- bzw. Kälteempfinden auftreten würde, wie unter den aktuell wirksamen (gefühlten) Bedingungen. Der Modell-Mensch bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h (Wärmeproduktion 135 Wm^2) in der Ebene und passt sich vernünftig über Variationen seiner Bekleidung (zwischen Sommerkleidung 0.5 clo und mitteleuropäischer Winterkleidung 1.75 clo) an, um thermische Behaglichkeit zu erreichen. Weitere Referenzbedingungen sind: Windstille, rel. Luftfeuchte 50%, mittlere Strahlungstemperatur gleich Lufttemperatur, was näherungsweise Schatten entspricht.

Deshalb sind die beiden in der VDI-Richtlinie beschriebenen Verfahren PMV (Predicted Mean Vote) und PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) wegen ihrer unzureichenden Feuchtesensitivität zur Bewertung von Wärmebelastung ungeeignet. Die vergleichsweise untergeordnete Bedeutung des Dampfdrucks auf PET wird auch von Matzarakis und Andrea (2003) bestätigt.

Das Ergebnis einer Klima-Michel-Modell-Berechnung ist die Gefühlte Temperatur GT (engl.: Perceived Temperature PT) (Staiger et al., 1997). Die Bewertung ist für den Aufenthalt im Freien ausgerichtet. Angewandt auf die Bewertungstabelle in VDI 3787 Bl. 2 (1998, dort Tabelle 3) ergibt sich folgende Klassifikation (Tabelle 1):

Der **clo - Wert** ist ein in der Thermophysiologie häufig benutztes Maß für den Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ Km}^2/\text{W}$; dies entspricht etwa einem "korrekten Straßenanzug". Leichte Sommerkleidung = 0,5 clo entspricht etwa Jeans/T-Shirt, mitteleuropäische Winterkleidung = 1,75 clo Anzug mit Mantel, Schal, Mütze und Handschuhe. (VDI 3787, BL. 2.2, 1998)

Tab.1 Gefühlte Temperatur GT, thermisches Empfinden und Belastungsstufen

GT in °C	thermisches Empfinden	Belastungsstufe	physiologische Wirkung
38	sehr heiß	extrem	Wärmebelastung
	heiß	stark	
	warm	mäßig	
	leicht warm	schwach	
	behaglich	keine	
0	leicht kühl	schwach	Kältestress
	kühl	mäßig	
	kalt	stark	
	sehr kalt	extrem	

Hitzewellen

Es existiert noch keine allgemein akzeptierte Definition einer Hitzewelle, z.B. durch die WMO. Grundsätzlich muss eine wirkungsbezogene Definition auf der Anwendung eines thermophysiological relevanten Wärmehaushaltsmodells des Menschen beruhen. Neben der Überschreitung von Schwellenwerten spielen darüber hinaus auch Andauer, Änderungsgeschwindigkeit und Zeitpunkt innerhalb der Saison (Akklimation) eine Rolle.

Alle bisher existierenden Methoden zur Hitzebelastungsvorhersage beruhen auf der Überschreitung von entweder absoluten oder relativen Schwellenwerten, die zur Auslösung eines „Hitzealarms“ führen. Absolute Schwellenwerte haben den Nachteil, dass sie eine Anpassung der Bevölkerung an das lokale Klima nicht berücksichtigen. Das führt in warmen Klimaten zu einer häufigen Überschreitung des Schwellenwertes, während in kälteren Gegenden der Schwellenwert überhaupt nicht erreicht wird. Auch Keatinge et al. (2000) widersprechen der Existenz einer absoluten Schwelle indem sie anhand von Mortalitätsdaten feststellen, dass die Populationen in Europa an ihre regional repräsentativen mittleren Sommertemperaturen angepasst sind. Bei relativen Schwellenwerten wird davon ausgegangen, dass statistisch gesehen überall die gleiche Anzahl von Tagen mit Wärmebelastung auftritt. Überspitzt formuliert gibt es bei der Definition einer relativen Schwelle, z.B. eines Perzentilwertes, in Madrid genauso viele Tage mit Wärmebelastung wie am Nordpol. Das heißt für die existierenden Methoden zur Wärmebelastungsvorhersage wiederum, dass sie auf ein bestimmtes Klima abgestimmt sind und bei einer Übertragung auf andere Gebiete neu kalibriert werden müssen. Sie sind also nicht universell gültig. Zudem beruht keine der existierenden Methoden auf einem kompletten Wärmehaushaltsmodell des Menschen. Ein weiteres Problem besteht in der Handhabung der Hitzewellensaison. Es gibt Hinweise, dass eine Hitzewelle gleicher Intensität im Frühsommer mehr Menschenleben fordert als im Spätsommer, wenn die Menschen akklimatisiert sind (Kyseľy und Huth, 2004). Einige der existierenden Methoden zur Hitzebelastungsvorhersage, z.B. das synoptische Verfahren nach Kalkstein et al. (1996), versuchen dieses Problem durch Einbeziehung der Lage des Tages in einer vorher festgelegten Sommersaison zu berücksichtigen. Außerhalb dieser Sommersaison (oft 15.05.-30.09.) finden entsprechend keine Hitzewarnungen statt.

Eine Lösung dieser Probleme könnte in einer Kombination aus einem absoluten und einem relativen Ansatz unter Verwendung eines thermischen Index bestehen. Das Verfahren, welches derzeit vom Deutschen Wetterdienst entwickelt wird, basiert zum einen auf absoluten Schwellen der Gefühlten Temperatur (GT), die an die VDI Richtlinie 3787 Blatt 2 (VDI 1998) angelehnt sind, zum anderen aus einem relativen Teil, welcher die kurzfristigen Akklimationsprozesse an das regionale Klima widerspiegeln soll. Dieser Ansatz unterscheidet sich zudem von den meisten bereits existenten Verfahren dadurch, dass er wirkungsbezogen ist. Für die absoluten Schwellen wurden die in Tabelle 1 angegebenen Klassengrenzen (20°C, 26°C, 32°C und 38°C) herangezogen. So erstreckt sich beispielsweise der Bereich leichter Wärmebelastung - ohne Berücksichtigung des relativen Anteils - von 20 bis 25,99°C. Die Berechnung des relativen Anteils geht von der Annahme aus, dass sich kurzfristige Akklimations- und De-Akklimationsvorgänge im Zeitraum von wenigen Tagen bis Wochen abspielen. Daher wurden die 12:00 Uhr UTC Werte stellvertretend für das Tagesmaximum und die 0:00 Uhr UTC Werte der Gefühlten Temperatur stellvertretend für das

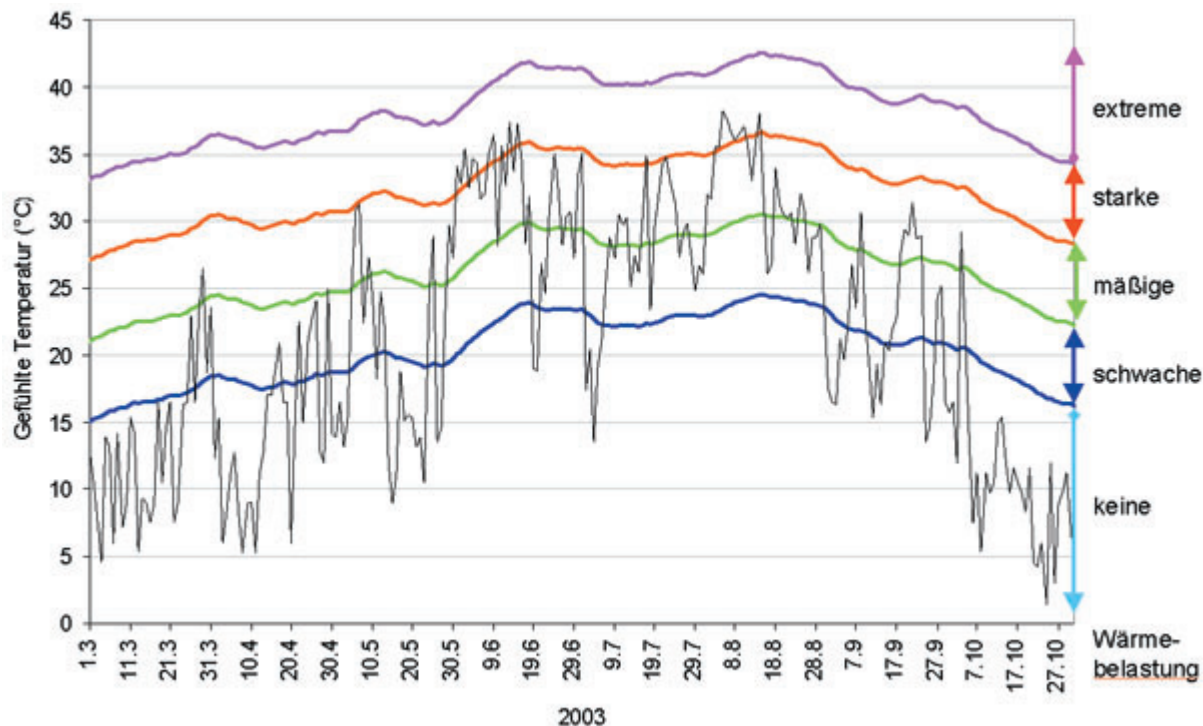


Abb. 1 Verlauf der variablen Schwellenwerte und der 12 Uhr UTC Werte der gefühlten Temperatur für das Jahr 2003 in Karlsruhe. Die 12 Uhr Werte entsprechen nicht zwingend dem Tagesmaximum.

Tagesminimum mit einem halben Gaussfilter, welcher die 30 vorangegangenen Tage einbezieht, geglättet. Der Wert der Filterfunktion stellt die Gefühlte Temperatur dar, an die eine kurzfristige Anpassung angenommen wird.

Dabei wurde in einem ersten Schritt ein konservativer Ansatz zur Wahl der Gewichte zwischen absoluter und relativer Schwelle gewählt. Der absolute Teil wurde mit zwei Drittel und der relative mit einem Drittel gewichtet (de Dear & Schiller Brager 2001). Die Schwelle, ab welcher eine Hitzewarnung ausgegeben wird, verschiebt sich daher im Laufe des Jahres. In Abbildung 1 ist der Verlauf der Schwellen für Wärmebelastung am Beispiel des Sommers 2003 für Karlsruhe dargestellt. Obwohl der Sommer 2003 in Karlsruhe ungewöhnlich heiß war, traten keine Situationen mit extremer Wärmebelastung auf. Bereits für Situationen mit starker Wärmebelastung kommt es in Baden-Württemberg zu einem signifikanten Anstieg der Mortalität (Abbildung 3).

Der Vorteil des hier vorgestellten Verfahrens liegt in der Einbeziehung von Adaptations- und Akklimatisationsvorgängen. Dadurch erübrigt sich eine Anpassung der Hitzebelastungsvorhersage an lokalklimatische Gegebenheiten und eine Festlegung der Sommersaison. Zusätzlich beruht das Verfahren auf einem kompletten Wärmehaushaltsmodell und ist damit thermophysiologisch relevant. Vergleichende Untersuchungen zeigen, dass an Tagen mit starker oder extremer Wärmebelastung eine signifikante Erhöhung der Mortalität festzustellen ist (Abb. 3), und zwar in allen hier zur Vergleichsuntersuchung herangezogenen Gebieten (Lissabon, Madrid und Baden-Württemberg). Die unterschiedliche Höhe des Mortalitätsanstiegs während Tagen mit starker oder extremer Wärmebelastung könnte an der unterschiedlichen Vulnerabilität liegen. Die Vulnerabilität hängt unter anderem auch von sozioökonomischen Faktoren ab, welche in dem hier vorgestellten Hitzewarnverfahren nicht berücksichtigt wurden.

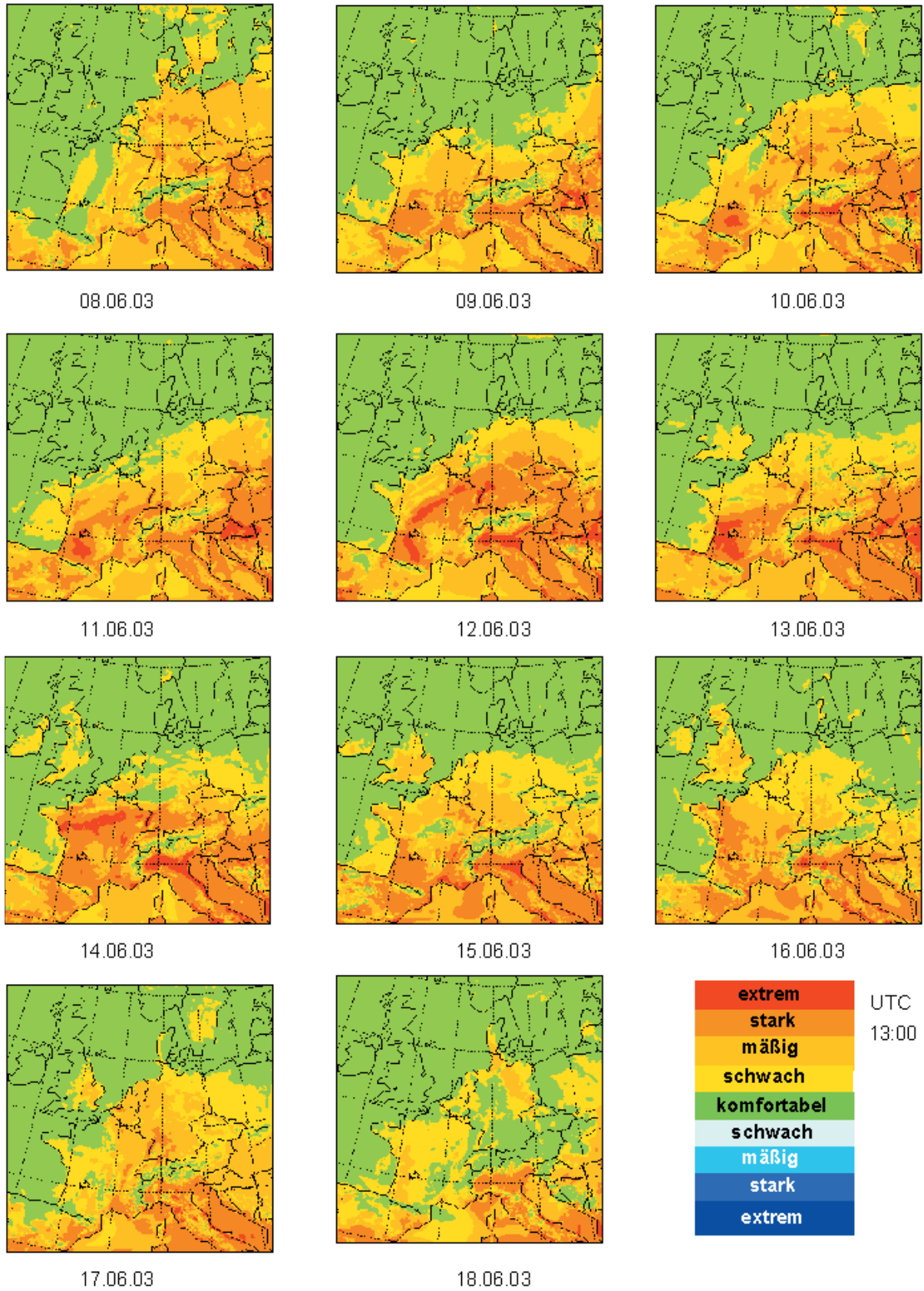


Abb. 2a Beispiele der Verteilung der Gefühlten Temperatur GT 13:00 Uhr UTC. vom 8. Bis 18. Juni 2003.

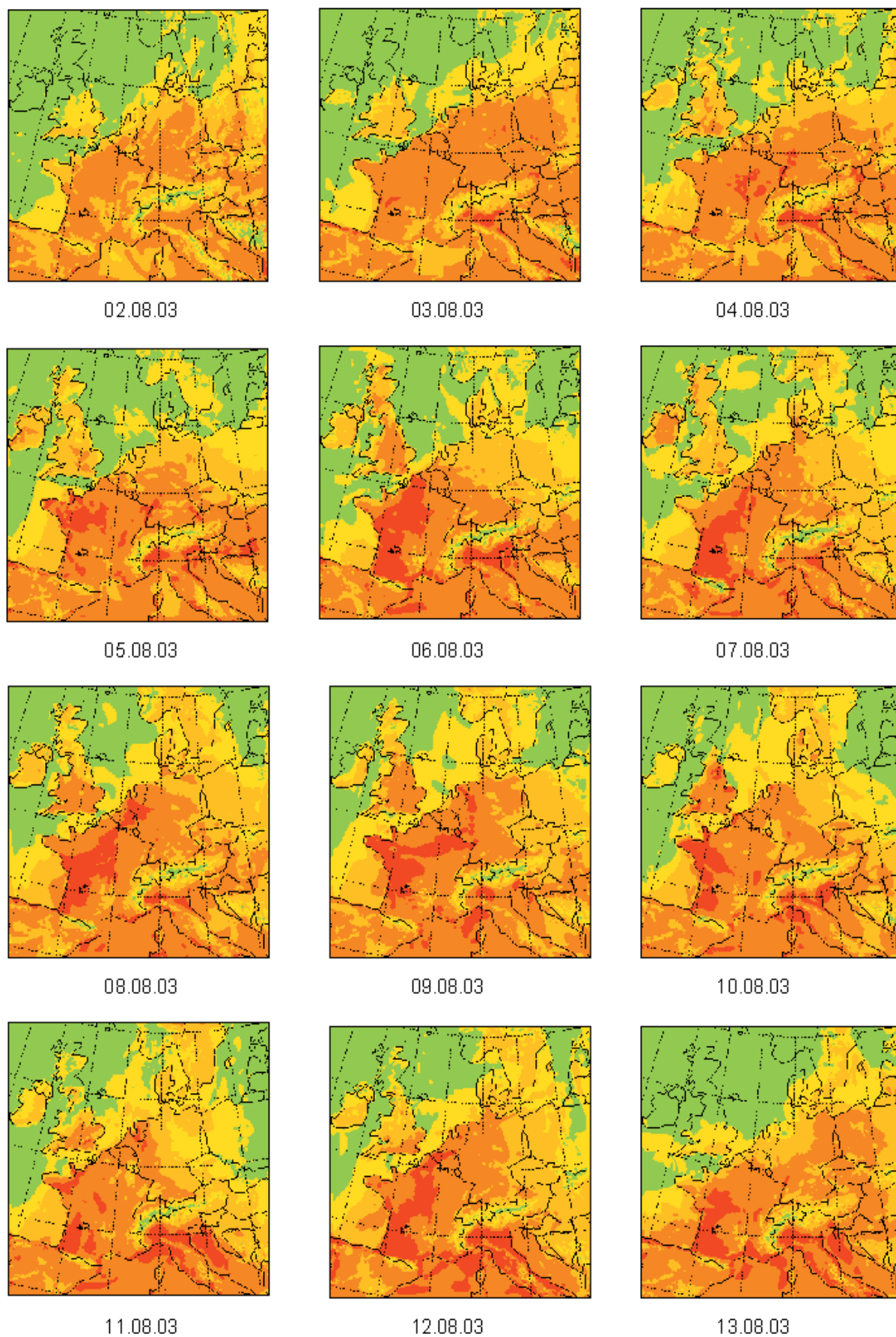


Abb. 2b Beispiele der Verteilung der Gefühlten Temperatur GT 13:00 Uhr UTC. vom 2. bis 13. August 2003.

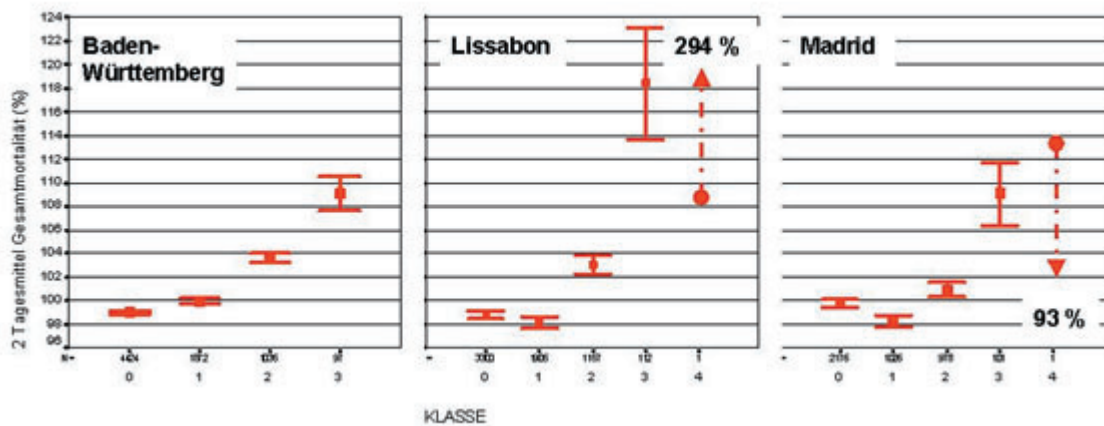


Abb. 3 Mittlere Abweichung vom Erwartungswert und 95% Konfidenzintervall der Gesamtmortalität während unterschiedlicher Stufen thermischer Belastung. Stufen thermischer Belastung: 0: Komfortbedingungen, 1: leichte Wärmebelastung, 2: mäßige Wärmebelastung, 3: starke Wärmebelastung, 4: extreme Wärmebelastung.

Die thermischen Bedingungen im Sommer 2003

Die Hitzewelle 2003 hat vor allem in den mittleren Breiten Westeuropas zu Rekordtemperaturen und zu einer extrem langen Andauer von heißen Tagen geführt (siehe auch Schönwiese et al. in diesem Band). Allerdings stieg die Gefühlte Temperatur in Südwest- und Westdeutschland aufgrund der sehr trockenen Luft (erleichterter latenter Wärmefluss), anders als im Westen Frankreichs oder im Mittelmeerraum, kaum über die Lufttemperatur. Dem Glücksfall, dass in Deutschland die Luftmassen sehr trocken waren, ist es zu verdanken, dass die Übersterblichkeit wahrscheinlich nicht das Ausmaß anderer Länder wie z.B. Frankreich angenommen hat.

Betrachtet man die gesamte Sommersaison, so zeigt sich eine erste Hitzewelle mit starker bis extremer Wärmebelastung bereits in der ersten Junihälfte (Abb. 2a: 8. – 13. Juni). Die Darstellung basiert auf den 13 Std. Routine-Vorhersage von GT mit dem numerischen Wettervorhersagemodell LM des DWD als quasi stabile Analyse für einen Europa-Ausschnitt im 7 km Raster. Die erste Hitzewelle zeigte im Vergleich zu der im August eine deutliche interdiurne Variabilität. Die Hitzewelle im August betraf überwiegend Frankreich und das westliche Mittelmeer von der Adria bis an die spanische Ostküste. (Abb. 2b: 1. – 13. August). Extrem hohe Gefühlte Temperaturen treten immer bei hohen Wasserdampfgehalten auf, welche die Verdunstung von Schweiß als wesentliche Möglichkeit des Organismus, bei den hohen Lufttemperaturen noch Wärme abgeben zu können, massiv behindern.

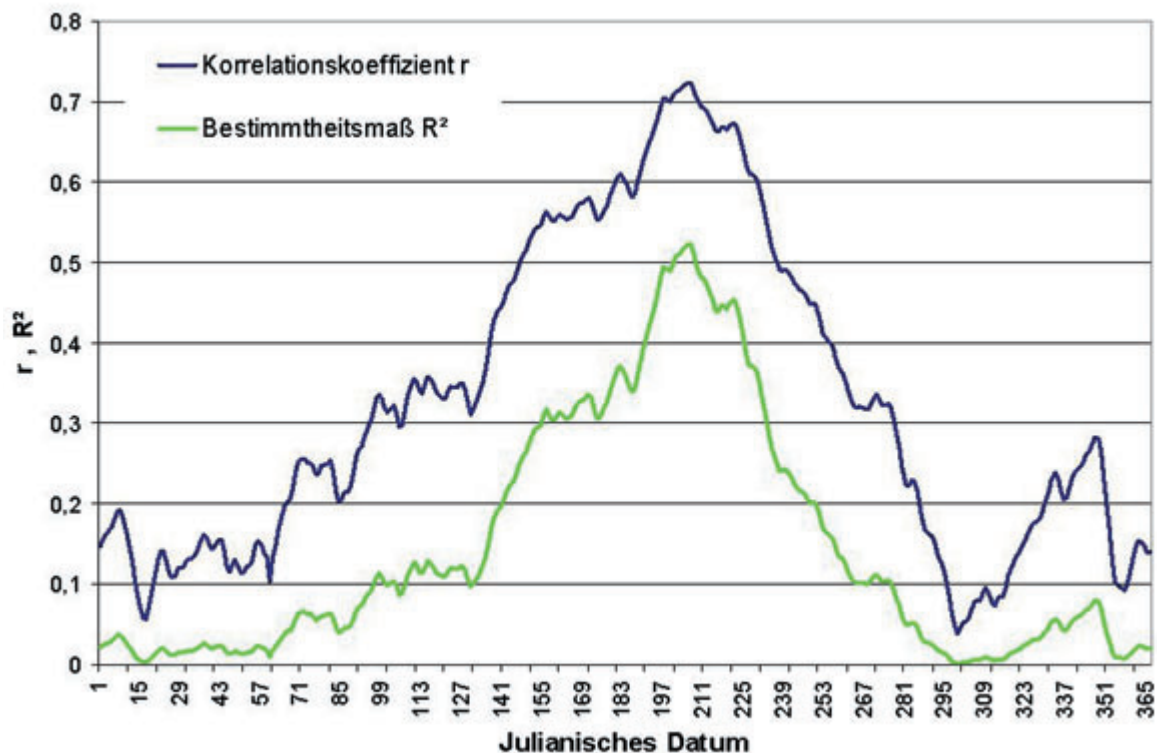


Abb. 4 Jahresgang des 31-Tage-Korrelationskoeffizienten (Bestimmtheitsmaßes) zwischen der Abweichung der Gefühlten Temperatur GT und der Mortalitätsrate MR vom jeweiligen Erwartungswert.

Die Auswirkungen der Wärmebelastung

Die Hitzewelle im August 2003 über West- und Südeuropa hat insbesondere durch die katastrophalen Auswirkungen in Frankreich mit offiziell angenommenen 14.800 Hitzeopfern (60% mehr Todesfälle als erwartet) ein großes Medieninteresse gefunden (INVS, 2003). Schätzungen des Earth Policy Institutes in Washington (http://www.earth-policy.org/Updates/Update29_data.html) gehen davon aus, dass dieser Hitzewelle 25 000 – 35 000 Menschen zum Opfer gefallen sind. Für Deutschland werden von den Statistischen Landesämtern nicht vor Anfang 2004 qualitätsgeprüfte Mortalitätsdaten für epidemiologische Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Das Gesundheitsamt Köln hat für seinen Einzugsbereich (1 Mill. Einwohner) im August von einer Zunahme um 16,5% im Vergleich zum Mittel der Augustwerte der vorangegangenen 3 Jahre (775 Sterbefälle pro Monat) berichtet. Eine Ad-hoc Analyse des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg für das Sozialministerium Baden-Württemberg, welche auf einer Erhebung der Todesfälle in mehr als 1000 Pflegeheimen beruht, geht bei einer konservativen Abschätzung von einer im Vergleich zum Vorjahr um ca. 16-24 % erhöhten Mortalität aus (LGA BW, 2003).

Diese Zahlen überraschen nicht. Im Einklang mit der internationalen Literatur zu diesem Thema ergab eine epidemiologische Untersuchung von 30-jährigen (1968-1997) täglichen Mortalitätsdaten aus Baden-Württemberg über den Einfluss der thermischen Umweltbedingungen einen erstaunlich engen Zusammenhang zwischen der thermischen Umwelt und der Mortalitätsrate insbesondere im Hochsommer (Abb. 4). Berechnet man für jeden Tag des Jahres den Korrelationskoeffizienten zwischen den Abweichungen der Gefühlter Temperatur und der Mortalitätsrate vom Erwartungswert für den Zeitraum von 15 Tagen vor dem betreffenden Tag und 15 Tagen nach diesem

Tag, so zeigt sich das dieser im Mittel über die 30 Jahre zwischen Mai und August größer als 0,5 ist.

In jeder der 9 als extrem identifizierten Hitzewellen aus der Vergangenheit in Baden-Württemberg starben über 16 Tage verteilt im Mittel ca. 180 Personen mehr, als zu erwarten gewesen wären (siehe Abb. 5). Das Vorverlegen des Todeseintrittsdatums („Harvesting“-Effekt) ist dabei bereits herausgerechnet. Hitzebelastung trifft insbesondere Personen mit eingeschränkter Anpassungskapazität aufgrund mangelhafter Fitness und nicht notwendigerweise „nur“ ältere Mitbürger. Es gibt darüber hinaus Hinweise für eine Zunahme von Verkehrs- und Arbeitsunfällen.

Eine knapp 100 Studien umfassende Literaturstudie zum Thema „Wärmebelastung und Mortalität“ zeigt, dass die Zeitverzögerung zwischen dem Peak in der Temperatur und dem der Mortalität zwischen null und drei Tagen liegt. Die Höhe des Mortalitätsanstiegs in Situationen mit Wärmebelastung liegt je nach Sensitivität der betrachteten Gruppe zwischen 0,5 % (junge gesunde Menschen, Landbevölkerung, guter sozialer Status u.a.) und 64 % (alte Menschen, geringer sozialer Status, Bettlägerigkeit, Stadtbevölkerung, Multimorbidität, alleine lebend, kein Zugang zu klimatisierten Räumen (USA), in oberen Stockwerken lebend, Einnahme von Drogen u.a.) (Basu & Samet, 2002). Weitere Literatúrauswertungen findet man in den Referenzlisten der unten aufgeführten Publikationen.

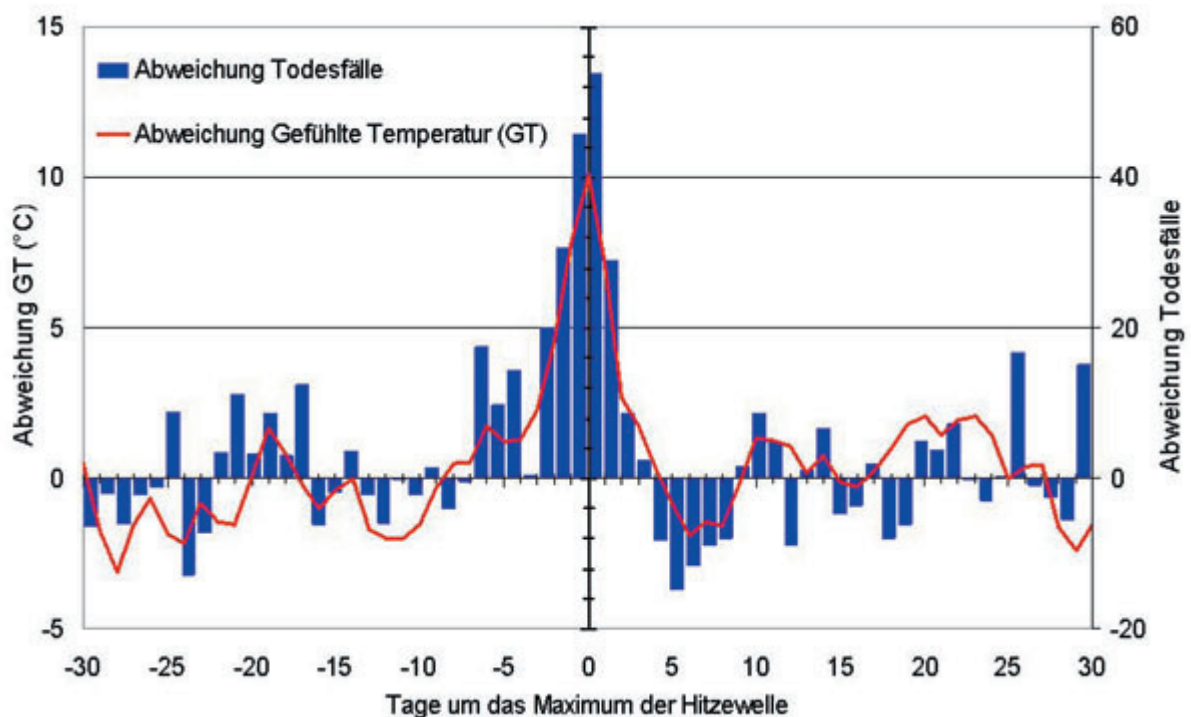


Abb. 5 Mittlere Hitzewelle (+/- 30 Tage) aus 9 Extremereignissen in Baden-Württemberg (10,7 Mio. Einwohner) zwischen 1968 und 1997. Basislinie: standardisierte Normalbedingungen (Erwartungswert).

Prävention

Anders als in Großbritannien, Portugal, den USA und Kanada existiert in der Bundesrepublik Deutschland bisher weder eine Bewertung der Rolle von Klima und Klimaänderung für die Gesundheit der Bevölkerung noch eine entsprechende Vorsorgeplanung. Modellprojekte von WHO/WMO/UNEP zu gesundheitsbezogenen Hitzebelastungswarnsystemen (Heat Health Warning System HHWS) lassen jedoch den Schluss zu, dass mit geeigneten lokal-/ regional adjustierten Interventionsmaßnahmen Menschenleben gerettet werden können. Dies wird durch eine Evaluation eines Hitzewarnsystems in den USA bestätigt, nach der innerhalb von 3 Jahren in Philadelphia 117 Tote vermieden werden konnten (Teisberg et al., 2004). Es besteht auch in Deutschland Handlungsbedarf mit geeigneten Maßnahmen vorzusorgen, da (1) wegen der natürlichen Klimavariabilität und (2) der angenommenen Klimaänderung mit einer Wiederholung solcher Extremereignisse gerechnet werden muss (Jendritzky et al., 2004).

Es ist deshalb erforderlich, im Sinne der Vorsorge in den Ballungsräumen der Bundesrepublik Deutschland gesundheitsbezogene Hitzebelastungswarnverfahren einzuführen. Um valide Vorhersageverfahren abzuleiten, müssen für die Ballungsräume in den verschiedenen Klimazonen Deutschlands systematische epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss der thermischen Umweltbedingungen auf Mortalität und (falls es die Datenlage zulässt) Morbidität mit vergleichbarer Methodik durchgeführt werden. Die Entwicklung lokalspezifischer Public-Health-Maßnahmen für eine bevölkerungsbezogene Prävention hitzebedingter Mortalität erfordert die Einbeziehung regionaler/lokaler Behörden und Institutionen, Entscheidungsträger und betroffener Gruppen aus dem Bereich des Gesundheitswesens. Es ist ein Katalog von lokal-/ regionalspezifischen Interventionsmaßnahmen zu erstellen und auf dieser Basis Warnpläne mit klaren Verantwortlichkeiten zu implementieren mit dem Ziel, Leben zu retten. Damit wird die Adaptationskapazität der Bevölkerung an extreme thermische Bedingungen verbessert werden. Das Fachproblem betrifft die Bereiche Gesundheit und Umwelt und ist damit ressortübergreifend (Koppe et al., 2004). Grundsätzlich liegt die Zuständigkeit für Maßnahmen bei den Ländern. Notwendig sind jedoch koordinierte bundesweite Aktivitäten.

Literatur

- Basu, R., Samet, Jm. (2002): Relation between Elevated Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiological Evidence. *Epidemiological Reviews*, 24 (2): 190-202.
- De Dear, R., Schiller Brager G. (2001): The adaptive model of thermal stress and energy conservation in the built environment. *Int JBiometeorol* 45: 100-108.
- Gagge, A.P., Fobelets, A.P., Berglund, P.E. (1986): A standard predictive index of human response to the thermal environment. *Ashre Trans.* Vol. 92: 709-731.
- Havenith, G. (2002). Interaction of clothing and thermoregulation. *Exogenous Dermatology*, 1:221-268.
- INVS (Institut de Vielle Sanitaire) (2003): Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003 en France. Zugriffen am 11.12.2003: http://www.invs.sante.fr/publications/2003/bilan_chaleur_1103/.
- Jendritzky, G., Sönnig, G.W., Swantes, H. J., (1979): Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung ("Klima-Michel-Modell"). *Beitr. Akad. f. Raumforschung u. Landesplanung* 28, 85 S.
- Jendritzky, G., Schirmer, H., Menz, G., Schmidt-Kessen, W. (1990): 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., Maarouf, A., Staiger, H., (2001): Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for outdoor Applications. In: *Moving Thermal Comfort Standards into 21st Century. Proceedings CD ROM, Oxford Brookes University Center for Sustainable Development: 353-367.*
- Jendritzky, G., Koppe, C., Pfaff, G., (2003): Die Hitzewelle 2003 in West- und Südeuropa. In: Bernhofer C, Goldberg V (Hrsg.): *5.FA BIOMET-Tagung - Mensch-Pflanze-Atmosphäre (3.-5. Dezember 2003, Dresden). Tharandter Klimaprotokolle, Band 9: 33-35.*
- Jendritzky, G., Koppe, C., Laschewski, G., (2004): Klimawandel. Auswirkungen auf die Gesundheit. *internist prax* 44: 219-232.
- Kalkstein, L.-S., Jamason, P.F., Greene, J.S., (1996): The Philadelphia Hot Weather-Health Watch/Warning System: Development and Application, Summer 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 77, No. 7: 1519-1528.
- Keatinge, W.,R., Donaldson, G. C., Cordioli, E., Martinelli M., Kunst, A.E., Mackenbach, J.P., Nayah, S.,Vuori, I. (2000): Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *British Medical Journal* 321: 670 - 673.
- Koppe, C., Jendritzky, G., Kovats, S., Menne, B., et al. (2004): Heat waves - Impacts and Responses. *cCASHh workshop on thermal stress. 5.-7.05.03 in Freiburg. WHO-Report, Health and Global Environmental Change, Series No. 2. Colomb,Rome.*
- Kovats, S., Koppe, C. (forthcoming): Heat waves: past and future impacts. In: Ebi K, Burton I, Smith J eds. *Integration of public health with adaptation to climate change: lessons learned and new directions.* Lisse, The Netherlands, Swets & Zeitlinger.
- Kyselý, J., Huth, R., (2004): Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and 'traditional' approaches. *Climate Research*, Vol. 24: 265 - 274.
- Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Auftrag des Sozialministeriums Baden-Württemberg (2003): *Auswirkung der Hitzewelle im August 2003: Ergebnisse einer Umfrage des Sozialministeriums Baden-Württemberg.* Sozialministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Laschewski, G., Jendritzky, G. (2002): Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years daily mortality data from SW Germany. *Climate Research* 21: 91-103
- Matzarakis, A., Andrea, S. (2003): Analyse des thermischen Bioklimas von Zypern. In Bernhofer C, Goldberg V (Hrsg.): *5. FA BIOMET-Tagung - Mensch-Pflanze-Atmosphäre (3.-5. Dezember 2003, Dresden). Tharandter Klimaprotokolle, Band 9: 238-240.*
- Staiger, H., Bucher, K., Jendritzky, G. (1997): Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien in der Maßzahl Grad Celsius. *Annalen der Meteorologie* Vol. 33: 100-107.
- Teisberg, T.J., Ebi, K.L., Kalkstein, L.,S., Robinson, L., Weiher, R.F. (2004): The net benefits of the Philadelphia Heat Wave Warning System. *BAMS*, in print.
- Verein deutscher Ingenieure VDI (1998): *Environmental meteorology - Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at the regional level. Part I: Climate. VDI Richtlinien. VDI 3787 Blatt 2. VDI DIN-Handbuch-Reinhaltung der Luft, Band 1b.* Beuth Verlag, Düsseldorf.