

1.3 Weltkarten der thermischen Umgebung des Menschen

BIRGER TINZ & GERD JENDRITZKY

Weltkarten der thermischen Umgebung des Menschen: Der Einfluss des Klimas für das Wärmeempfinden des Menschen ist durch die Kombination eines Wärmebilanzmodells des Menschen mit den relevanten Klimaparametern beschreibbar. Die hier vorgestellten Weltkarten des Bioklimas basieren auf den Ergebnissen von Klimasimulationen mit dem gekoppelten Atmosphäre/Ozean-Modell ECHAM4/MPI-OM und dem Klima-Michel-Modell des Deutschen Wetterdienstes. Verwendet wurden zwei Zeitabschnitte (1970–1980 und 2041–2050) in der Auflösung T106 (ca. 100 km mittleren Breiten). Überwiegend thermischer Komfort herrscht vor allem in den vom Ozean beeinflussten mittleren Breiten. Vorherrschenden Kältestress gibt es in der Antarktis und auf Grönland bzw. permanente Wärmebelastung in den feuchten Tropen. Der Vergleich der Weltkarten für 1971–1980 (Referenzperiode) mit der Projektion gemäß des Treibhausgasszenarios »business as usual« für 2041–2050 zeigt eine deutliche Abnahme von Kältestress und eine korrespondierende Zunahme von Wärmebelastung, während für die Tage mit thermischem Komfort unterschiedliche Trends simuliert werden. Dabei können schon Regionen mit besonders dringender Anpassung gefunden werden, dies betrifft neben den Subtropen und Tropen ebenfalls die gemäßigten Klimate. Allerdings müssen die noch immer beträchtlichen Unsicherheiten der regionalen Klimaänderungen beachtet werden.

Global maps for human thermal environments – The relevance of climate for thermal comfort can be described by a combination of a heat budget model of the human being and the relevant climate elements. Global bioclimate maps are based on results of climate simulation models with coupled atmosphere-ocean model ECHAM4/MPI-OM and the »Klima-Michel-Modell« of Deutscher Wetterdienst. Here the two periods 1970–1980 and 1941–1950 in T106-resolution (about 100 km in middle latitudes) have been used. Comfortable conditions mainly occur in the maritime influenced middle latitudes. At least cold stress can be found in Antarctica and Greenland and permanent heat load in the humid tropics. The comparison of global maps for 1971 to 1980 (control run, assumed as status-quo) and future climate for 2041 to 2050 for the GHG scenario »business-as-usual« shows, as expected, basically a clear decrease in cold stress and a corresponding increase in heat load, while thermal comfort conditions show different trends. In particular the climate change scenario indicates areas where the need for adaptation is most pressing, for instance in the tropics and subtropics, but also in the middle latitudes. Although the confidence in climate change simulations is still low on regional scale.

Es ist eine der grundlegenden Aufgaben der Human-Biometeorologie die thermischen Umgebungsbedingungen des Menschen in einer vollständigen, wissenschaftlich korrekten sowie verständlichen Art und Weise zu beschreiben (vgl. Kap 1.2). Es gilt einerseits alle für den Wärmehaushalt des Menschen relevanten meteorologischen Größen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind sowie kurz- und langwellige Strahlungsflüsse) in die Bewertung mit einzubeziehen. Andererseits ist es Ziel eine biometeorologische Bewertungsgröße zu verwenden, die unabhängig von der Kombination der meteorologischen Eingangsgrößen, dem aktuellen Wärmeempfinden des Menschen eine eindeutige Maßzahl zuordnet.

Hier wird das Klima-Michel-Modell (KMM; JENDRITZKY 1990) eingesetzt, das auf der Behaglichkeitsgleichung von FANGER (1970) beruht, welche für hohe Temperaturen durch den PMV*-Ansatz (PMV = Predicted Mean Vote / Maßzahl für das thermische Empfinden) von GAGGE et al. (1986) korrigiert wurde, um die hier zunehmend relevanten latenten Wärmeflüsse realistischer zu behandeln. Die thermische Belastung wird dann über die Gefühlte Temperatur (STAIGER et al. 2011) anschaulich beschrieben. Diese stellt die Lufttemperatur einer Referenzumgebung dar, in welcher das gleiche Kälte- bzw. Wärmeempfinden auftritt, wie

unter den aktuellen meteorologischen Bedingungen.

Für Anwendungen in der Human-Biometeorologie wie Vorsorgeplanung, Tourismus oder Klimafolgenforschung sind Kartendarstellungen der thermischen Verhältnisse ein anschauliches und nützliches Hilfsmittel. Die betrachtete Skala, Auflösung und Inhalt solcher Karten hängen von der betrachteten Fragestellung ab. Eine Übersicht mit Beispielen findet sich in JENDRITZKY et al. (2007).

Der heiße Sommer 2003 (SCHÄR & JENDRITZKY 2004) mit etwa 55.000 hitzebedingten zusätzlichen Sterbefällen (KOSATZKY 2005, davon 35 000 allein im August, s. Kap. 3.1.8) kann als Beispiel für den starken Einfluss von Hitzewellen auf die menschliche Gesundheit angeführt werden (s. Kap. 3.1.7, 3.1.8 und 3.1.9).

In diesem Beitrag sollen beispielhaft Weltkarten zu Kältestress, thermischem Komfort und Wärmebelastung sowie deren mögliche Änderung in einem zukünftigen Klima anhand zweier Experimente des globalen Klimamodells ECHAM4 vorgestellt und diskutiert werden (vgl. JENDRITZKY & TINZ 2009).

Daten und Methoden

Für die Untersuchungen wurden zwei Zeitscheibenexperimente des gekoppelten Atmosphäre/Ozean-Modell

ECHAM4/MPI-OM (ROECKNER et al. 1996) in der Auflösung T106 (etwa 100 km Gitterpunktabstand in den mittleren Breiten) verwendet. Die Verwendung dieses etwas älteren Klimamodells stellt kein prinzipielles Manko dar, da auch die aktuelle Modellgeneration bei gleichen Randbedingungen ähnliche Ergebnisse liefert. Die Klimamodelldaten sind zu den Terminen 00, 06, 12 und 18 UTC verfügbar.

Im ersten Experiment (Kontrolllauf) entspricht die Konzentration der Treibhausgase dem beobachteten Niveau von 1971–1980. Es kann als Abschätzung des bisherigen Klimas angesehen werden. In einem zweiten Experiment erhöht sich die Treibhausgaskonzentration gemäß dem IPCC-Szenario IS92a auf die entsprechenden Werte von 2041–2050 (s. KATTENBERG et al. 1996). Diese Zeitscheibe repräsentiert die Situation im Falle des erwarteten anthropogenen Klimawandels. Im Vergleich mit den aktuellen IPCC-Szenarien liegt IS92a zwischen den beiden hohen Annahmen RCP6.0 und RCP8.5. Die Differenz der beiden Zeitscheiben IS92a-Kontrolllauf ist das Klimaänderungssignal.

Für die physiologisch relevante Bewertung der für den Wärmehaushalt des Menschen bedeutsamen meteorologischen Variablen Lufttemperatur (T_a), Wasserdampfdruck (e), Windgeschwindigkeit (v) und mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt}) wird das Klima-Michel-Modell (JENDRITZKY et al. 1990) mit der Gefühlten Temperatur (GT) als beschreibender Größe eingesetzt. Dabei passt sich der Standard-Modell-Mensch durch Sommerkleidung (Isolationswert der Bekleidung $I = 0,5$ clo [Bekleidungseinheit]) bis Winterkleidung ($I = 1,75$ clo) an die thermischen Bedingungen an, um thermischen Komfort zu erreichen. Gelingt dies nicht, liegt Kältestress bzw. Wärmebelastung vor. Die metabolische Rate wird mit 135 W/m^2 angenommen, was Gehen mit 4 km/h entspricht.

Durch den Ansatz HeRATE (*Health Related Assessment of the Thermal Environment*) (KOPPE & JENDRITZKY 2005) werden zusätzlich Akklimatisation und kurzfristige verhaltensgesteuerte Anpassung quantitativ berücksichtigt, d.h. die verbesserte Toleranz ge-

genüber einer meteorologischen Umgebung, die man nicht frei wählen kann. HeRATE modifiziert die festen Schwellenwerte der Gefühlten Temperatur (Tab. 1.3-1) für die unterschiedlichen Belastungsintensitäten durch die (relativen) Erfahrungen der Bevölkerung mit den thermischen Bedingungen der vergangenen Wochen. Damit kann das Klima-Michel-Modell – ohne künstliche Festlegungen von Jahreszeiten oder Kalibrierung an das Klima von bestimmten Orten – in unterschiedlichen Klimaregionen und zu unterschiedlichen Jahreszeiten mit entsprechend angepassten Schwellenwerten eingesetzt werden.

Für eine direkte Vergleichbarkeit der Werte untereinander (unterschiedliche Ortszeit zu festen UTC-Zeiten) wurden die Daten der Gefühlten Temperatur von 00, 06, 12 und 18 UTC mit Hilfe eines multiplen quadratischen Interpolationsverfahrens einheitlich auf 12:00 Uhr mittlere Ortszeit (MOZ, Sonnenhöchststand) umgerechnet. Nach der Simulation der kurzfristigen Adaptation mittels des HeRATE-Ansatzes konnte für jeden Gitterpunkt und Tag die thermische Klasse bestimmt werden. Abweichungen vom thermischen Komfort werden als Kältestress oder Wärmebelastung (jeweils leicht, mäßig, stark oder extrem, zur Definition s. Kap. 1.2) bezeichnet (vgl. auch Tab. 1.3-1).

Thermische Verhältnisse im globalen Maßstab

Thermischer Komfort

Beim thermischen Komfort zeigt sich die thermische Bevorzugung der mittleren Breiten der Erde (Abb. 1.3-1). Hier werden im Zeitabschnitt 1971–1980 an den Westseiten der Kontinente (Westeuropa, Chile, Küstenstreifen in Nordamerika zwischen Kalifornien und Kanada) sowie in Neuseeland, Tasmanien, Teilen Argentiniens und in tieferen bzw. mittleren Lagen des Himalaja und der Anden 300 und mehr Tage mit thermischer Behaglichkeit registriert. Dies stimmt sehr gut mit den Werten überein, die für Europa auf der Grundlage von Wetterbeobachtungen berechnet wurden (TINZ

Tab. 1.3-1: Gefühlte Temperatur, Predicted Mean Vote nach FANGER (1970) und entsprechender thermophysiologischer Stress bzw. thermischer (Dis-)Komfort.

Gefühlte Temperatur in °C	Predicted Mean Vote	Thermophysiologischer Stress	Thermischer (Dis-)Komfort
> +38	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung,	Toleranzschwelle erreicht
>+32 bis +38	Heiß	Starke Wärmebelastung	Sehr unkomfortabel
>+26 bis +32	Warm	Moderate Wärmebelastung	Unkomfortabel
>+20 bis +26	Leicht warm	Leichte Wärmebelastung	Leicht unkomfortabel, aber tolerierbar
0 bis +20	Komfortabel	Komfort Möglich	Komfortabel
-13 bis <0	Leicht Kühl	Leichter Kältestress	Leicht unkomfortabel, aber tolerierbar
-26 bis <-13	Kühl	Moderater Kältestress	unkomfortabel
-39 bis <-26	Kalt	Starker Kältestress	Sehr unkomfortabel
< -39	Sehr kalt	Extremer Kältestress	Toleranzschwelle erreicht

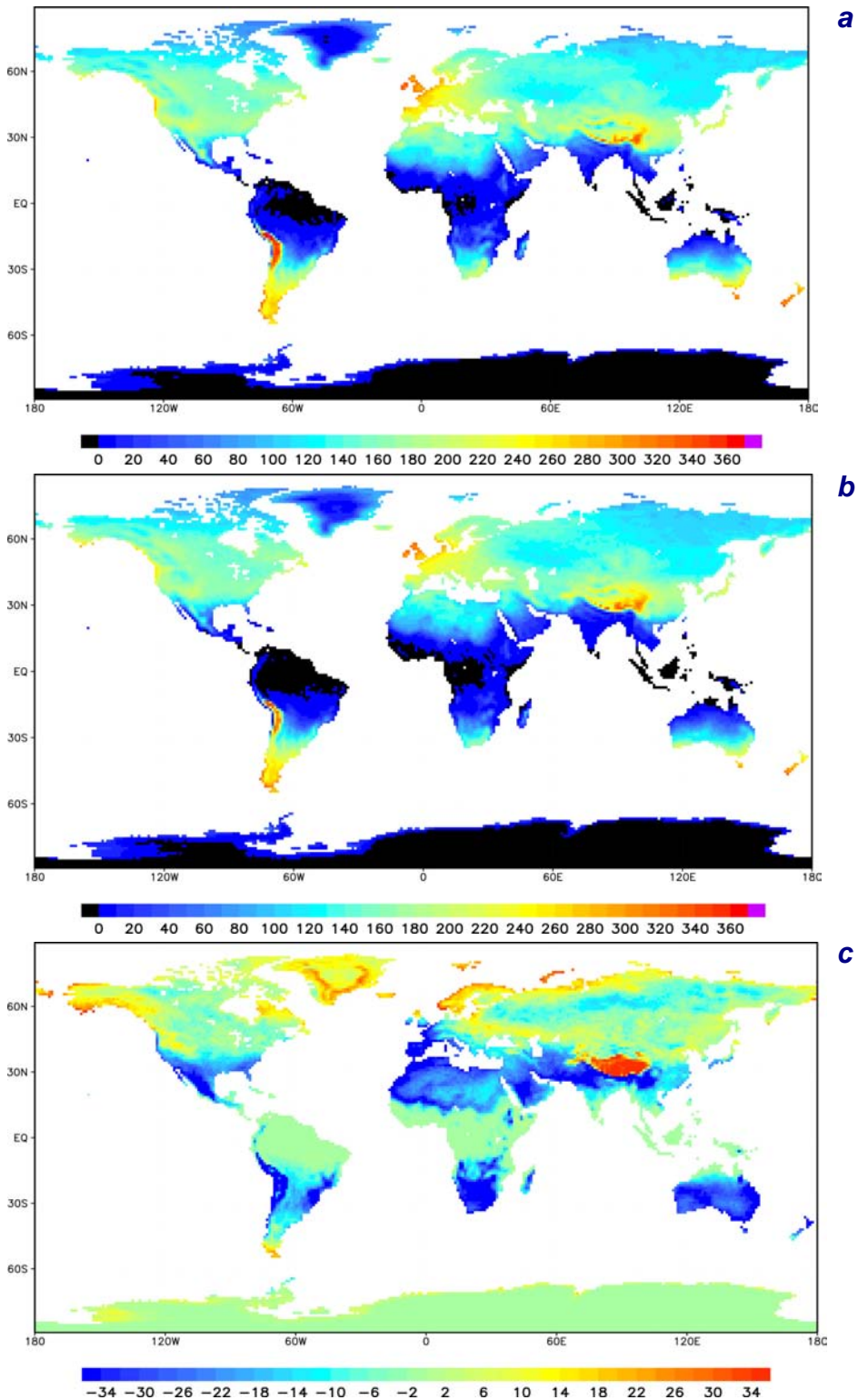


Abb. 1.3-1: Tage/Jahr mit thermischem Komfort gemäß dem HeRATE-Ansatz auf der Basis von ECHAM4/T106-Daten. a: Kontrolllauf (1971–2000), b: gemäß Treibhausgasexperiment IS92a, (2041–2050), c: Differenz aus a und b

& JENDRITZKY 2005). Die Station Malin Head (Insel nördlich von Irland) erreicht als europäischer Spitzenreiter einen Beobachtungswert von 346 Tagen mit Komfortbedingungen bei angepasster Bekleidung.

Nach der bekannten effektiven Klimaklassifikation von KÖPPEN-GEIGER (z.B. in GEIGER 1954; Neuberechnung von KOTTEK et al. 2006) entsprechen die Maxima der Zahl der Tage mit thermischer Behaglichkeit dem warmgemäßigten immerfeuchten Regenlima mit einer Mitteltemperatur des wärmsten Monats zwischen 10 und 22 °C (Cfb). Mit zunehmender Kontinentalität bzw. in Richtung polare und tropische Breiten nimmt die Zahl behaglicher Tage rasch ab. In einigen Teilen der feuchten Tropen ist keine Behaglichkeit möglich. Das gilt ebenfalls für den größten Teil der antarktischen Eismasse, wo nur in Küstennähe, wie auch auf Grönland einige Tage mit Komfort auftreten. Hier muss angemerkt werden, dass der Kältereiz bei einer für diese Gebiete ungeeigneten Bekleidung von $I = 1,75$ clo (europäische Winterbekleidung) auftritt. Mit der typischen Bekleidung der Inuit ($I = 4,0$ clo) ist sehr wohl thermischer Komfort an vielen Tagen möglich. Das gilt nicht für die Tropen, wo eine weitere Reduktion der Bekleidung unter $I = 0,5$ clo (Sommerbekleidung) keine wesentliche Verbesserung der thermischen Bedingungen nach sich ziehen würde.

Im Klimamodellexperiment IS92a ergibt sich für 2041–2050 grundsätzlich eine qualitativ ähnliche geographische Verteilung der Tage mit thermischer Behaglichkeit (Abb. 1.3-1). Die Differenzkarte beider Zeitscheiben (Abb. 1.3-1) zeigt jedoch eine spürbare Abnahme der thermisch geeigneten Tage um etwa 30 in den Subtropen (u.a. rund um das Mittelmeer, Australien), während in den subpolaren Gebieten sowie im Himalaja eine Verlängerung um den gleichen Betrag simuliert wird. Kaum Änderungen ergeben sich in den inneren Tropen sowie im Bereich der Antarktis, wo bereits im aktuellen Klima keine thermische Behaglichkeit möglich ist.

Kältereiz

Beim Kältestress (Kältestress trotz Winterbekleidung $I=1,75$ clo) zeigt sich deutlich der enge Zusammenhang mit der geographischen Breite, dem eine Abhängigkeit mit der Höhe überlagert ist (Abb. 1.3-2). Kältestress ist der ausschließliche thermische Zustand auf dem antarktischen Eisschild. Auf Grönland sind es in Übereinstimmung mit Abb. 1.3-1 nur einige Tage weniger. Dies deckt sich nach der KÖPPEN-GEIGER-Klimaklassifikation mit dem EF-Klima (Ewiger Frost, absolute Höchsttemperatur <0 °C). Auf der Nordhalbkugel nimmt in Richtung niederer Breiten der Kältereiz rasch ab. In Eurasien greift der Kältereiz dabei mit zunehmender

Kontinentalität nach Süden aus. Auf der Südhalbkugel kann Kältestress auf Grund der Land-Meerverteilung nur teilweise in den südlichen Bereichen von Südamerika beobachtet werden. Frei von Kältestress sind die Tropen und große Teile der Subtropen.

Für die Zeitscheibe 2041–2050 sind kaum Unterschiede im Vergleich mit 1971–1980 erkennbar (Abb. 1.3-2). Erst die Betrachtung der Differenzkarte zeigt, dass Kältestress auf der Nordhalbkugel in den gemäßigten und subpolaren Gebieten nördlich von etwa 30° N sowie im Süden Südamerikas über 10 Tage seltener auftritt (Abb. 1.3-2). Der stärkste Rückgang findet im südlichen Ostseeraum, Teilen des Himalajas und der Rocky Mountains mit etwa 30 Tagen statt. In der Antarktis gibt es im Gegensatz zu Grönland kaum Änderungen. Auf der Antarktischen Halbinsel ergibt sich sogar eine Zunahme von bis zu 10 Tagen.

Wärmebelastung

Wärmebelastung ist in den feuchten Tropen der nahezu ausschließliche Zustand (Abb. 1.3-3). Gemäß der KÖPPEN-GEIGER-Klimaklassifikation entspricht das den tropischen Regenlimaten Af, Am, As und Aw (Tiefsttemperatur >18 °C). Zu höheren Breiten hin nimmt die Häufigkeit recht schnell ab. Das gilt ebenfalls für mittlere und höhere Gebirgslagen des Himalaja und der Anden. Frei von Wärmebelastung sind nur die Eisschilde von Grönland und der Antarktis.

Die Differenzkarte (Abb. 1.3-3) zeigt fast nur positive Abweichungen. In den Subtropen und in den gemäßigten Gebieten kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Wärmebelastung von teils über 20 Tagen. Besonders stark ausgeprägt ist die Erhöhung mit ca. 40 Tagen in Süd-, West- und Mitteleuropa sowie in Mexiko, Chile, Südafrika, Australien und rund um den Himalaja. Kaum Änderungen ergeben sich in der Antarktis und in Grönland sowie in den feuchten Tropen. Eine detaillierte Untersuchung zeigt allerdings, dass sich in letzteren Gebieten die Häufigkeit der starken und extremen Wärmebelastung deutlich erhöht, während schwache und mäßige Wärmebelastung abnimmt. D.h. auch hier verschlechtern sich die thermischen Verhältnisse.

Schlussfolgerungen

Die Darstellung der thermischen Bedingungen des Menschen auf der globalen Skala auf Basis der ECHAM4 Simulationen mit Hilfe des Klima-Michel-Modells zeigt deutlich, dass die Anwendung von kompletten Wärmehaushaltsmodellen machbar ist. Damit gibt es keine sachlichen Gründe, sich bei bioklimatologischen Fragestellungen auf die Anwendung von Verfahren mit bekannt eingeschränkter thermophysio- logischer Rele-

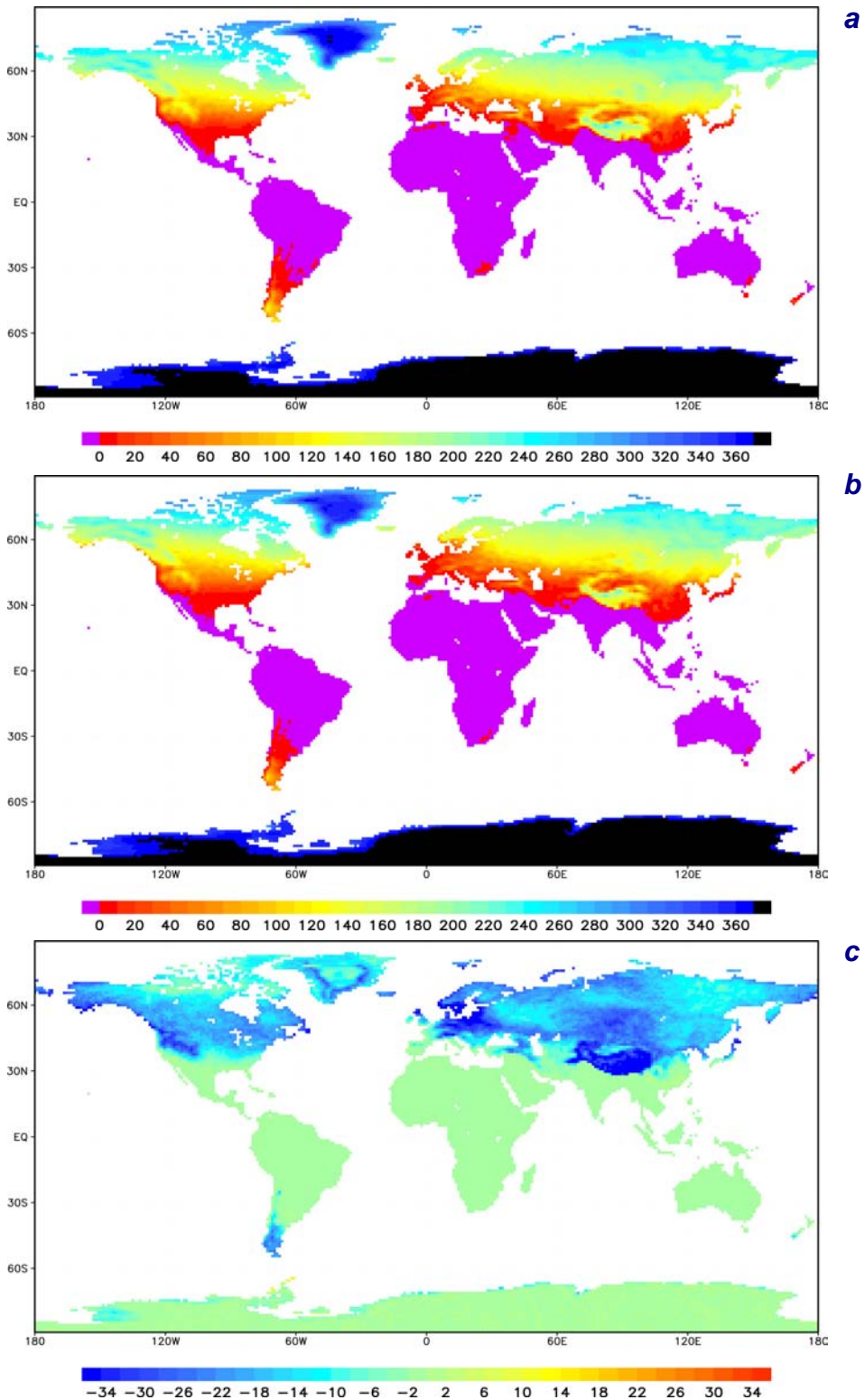


Abb. 1.3-2: Tage/Jahr mit Kältestress gemäß dem HeRATE-Ansatz auf der Basis von ECHAM4/T106- Daten. **a:** Kontrolllauf 1971–2000, **b:** gemäß Treibhausgasexperiment IS92a (2041–2050), **c:** Differenz beider Experimente.

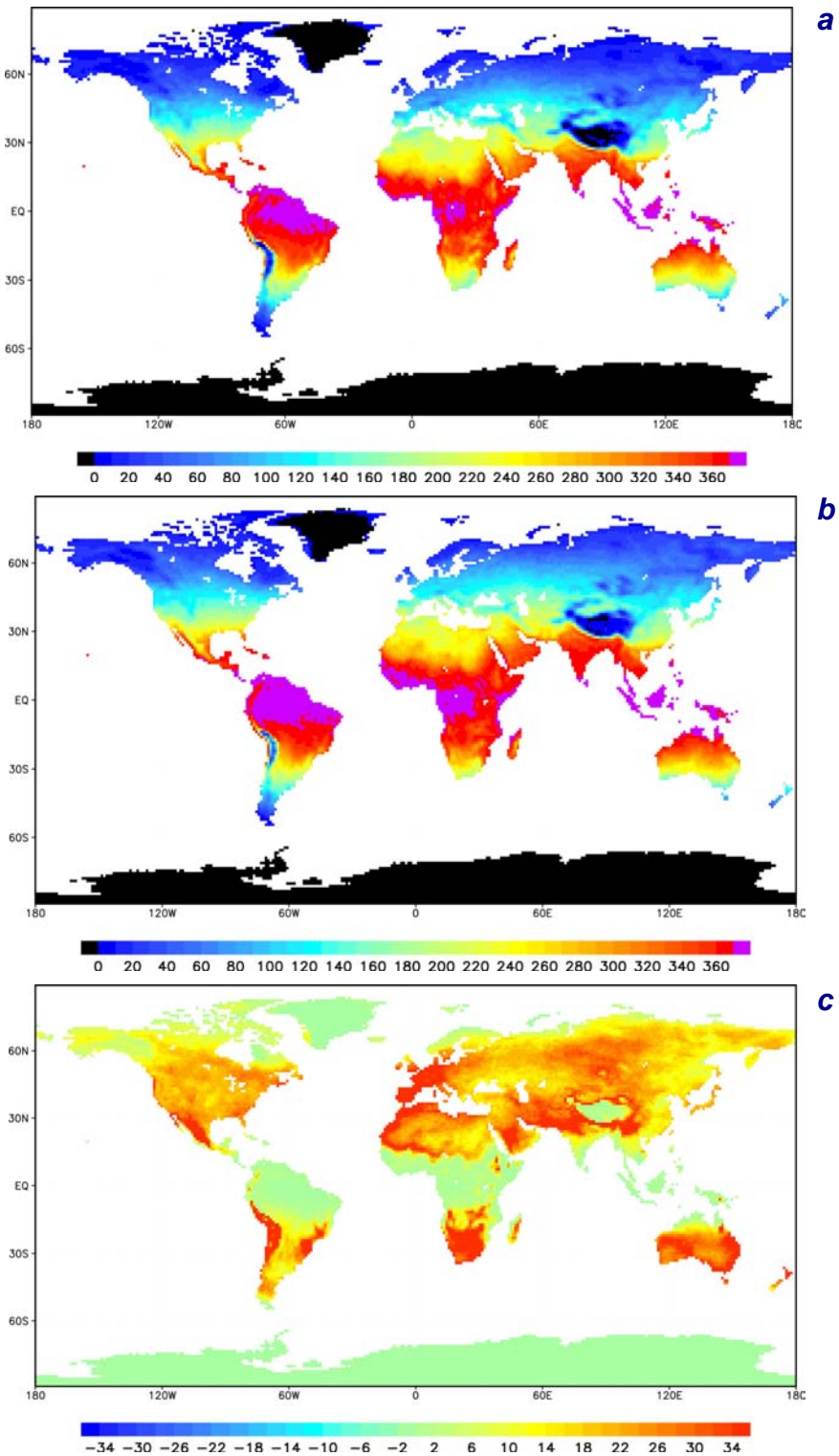


Abb. 1.3-3: Tage/Jahr mit Wärmebelastung gemäß dem HeRATE-Ansatz auf der Basis von ECHAM4/T106-Daten. **a:** Kontrolllauf 1971–2000, **b:** gemäß Treibhausgasexperiment IS92a (2041–2050), **c:** Differenz beider Experimente.

vanz wie simple Indices oder nur die Lufttemperatur zu beschränken. Selbst für die Frage nach der Adaptation von Gesellschaften gibt es quantitative Ansätze auf Basis des vorhandenen Wissens.

Globale Karten der thermischen Komponente des Bioklimas sind aufgrund der erforderlichen Inputdaten, insbesondere bzgl. der Strahlungsflüsse, nicht mehr auf Basis von Beobachtungsdaten möglich. Hier muss auf die Ergebnisse von Reanalysen globaler Wettervorhersagemodelle oder Klimamodellrechnungen zurückgegriffen werden. Zumindest für den Ausschnitt »Europa« zeigt ein Vergleich zwischen dem »status-quo« und der auf 30-jährigen Beobachtungsdaten beruhenden (hier nicht vorgestellten) Bioklimakarten Europa trotz unterschiedlicher räumlicher Auflösung und unterschiedlichem Zeitraum eine gute Übereinstimmung (TINZ & JENDRITZKY 2005).

Grundsätzlich dominiert auf der globalen Skala ein zonales Muster die Verteilung der Häufigkeit der unterschiedlichen thermischen Bedingungen, welche im Wesentlichen von der Land-See-Verteilung und der Topographie moduliert werden. Obwohl sich die jeweiligen Karten »Heute« und »Zukunft« sichtbar unterscheiden, wird besonders bei der Betrachtung der Differenz-Karten deutlich, mit welchen Änderungen bei Intensität und Ausdehnung bestimmter thermischer Umweltbedingungen des Menschen als Konsequenz der Klimaänderung gerechnet werden muss. Eingedenk der dramatischen Zahl von Hitzetoten im Sommer 2003 in Europa muss deshalb insbesondere in den jetzt noch sog. gemäßigten Klimaten von extremen Gesundheitsbelastungen ausgegangen werden, worauf im Sinne der Vorsorge mit geeigneten Anpassungsmaßnahmen (Verhaltensanpassung, Hitzewarnsysteme, Stadtplanung und Gebäudedesign) reagiert werden muss. Globale Karten helfen zwar, Risikogebiete zu identifizieren, allerdings nicht auf einer planungsrelevanten Skala, für die geeignete Regionalmodelle mit gleicher Bewertungsmethodik eingesetzt werden müssen.

Literatur

FANGER, P. O. (1970): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environment Engineering. Danish Technical Press, Copenhagen. 244 pp.
 GAGGE, A. P., A. P. FOBELETS & P. E. BERGLUND (1986): A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Trans. 92:709-731.
 GEIGER, R. (1954): Landolt-Börnstein – Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie Vol. 3, Ch. Klassifikation der Klimate nach W. Köppen. Springer, Berlin, 603–607.
 IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. doi:10.1017/CBO978111107415324.
 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 11114:7–69.
 JENDRITZKY, G. & B. TINZ (2009): The Thermal Environment of the Human Being on the Global Scale. Global Health Action, 2009; 3: 1-12: http://doi:10.3402/gha.v2i0.2005
 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., 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 pp.
 KATTENBERG, A., F. GIORGI, H. GRASSL, G. A. MEEHL, J. F. B. MITCHELL, R. J. STOFFER, T. TOKIOKA, A. J. WEAVER & T. M. L. WIGLEY (1996): Climate models—projections of future climate. – In: HOUGHTON, J.T., MEIRA-FILHO, L.G., CALLANDER, B.A., HARRIS, N., KATTENBERG, A., MASKELL, K., (eds): Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge University Press, New York, 285–357.
 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.
 KOSATSKY, T. (2005): The 2003 European heat waves. Euro Surveill 2005; 10(7), 148-149.
 KOTTEK, M., J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF & F. RUBEL (2006): World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. - Meteorologische Zeitschrift 15, 259-263.
 ROECKNER, E., K. ARPE, L. BENGTTSSON, M. CHRISTOPH, M. CLAUSSEN, L. DÜMENIL, M. ESCH, M. GIORGETTA, U. SCHLESE & U. SCHULZWEIDA (1996): The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate - Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report 218, 90 pp.
 SCHÄR, J. & G. JENDRITZKY (2004): Hot news from Summer 2003. News and Views. Nature. Vol.432, 2 Dec. 2004:559-560.
 STAIGER, H., G. LASCHEWSKI & A. GRÄTZ (2011): The Perceived Temperature – A versatile index for the assessment of the human thermal environment. Scientific Basics. Int J Biometeorol, Part A.
 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.
 TINZ, B. & G. JENDRITZKY (2005): Macro- and mesoscale maps of the thermal environment - Annalen der Meteorologie 41, Vol. 2, 17th International Congress of Biometeorology, 641-643.
Kontakt:
 Dr. Birger Tinz
 Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Hamburg
 birger.tinz@dwd.de
 Prof. Dr. Gerd Jendritzky
 Meteorologisches Institut – Universität Freiburg

Tinz, B. & G. Jendritzky (2014): Weltkarten der thermischen Umgebung des Menschen. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 1.3) - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.