## 4.13 Sozio-ökonomische Bewertung von Gesundheitseffekten des Klimawandels in Deutschland

MICHAEL HÜBLER, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW), Mannheim

Sozio-ökonomische Bewertung von Gesundheitseffekten des Klimawandels in Deutschland - Dieser Artikel fasst verschiedene Ansätze zur Quantifizierung von direkt temperaturbedingten Gesundheitsrisiken zusammen. Hochauflösende Klimaszenarien für die Jahre 2071 bis 2100 liefern zunächst die Anzahl zusätzlicher Tage mit Wärme- und Kältebelastung in Deutschland. Die Hitzebelastung nimmt in Deutschland überall an Häufigkeit und Intensität zu, am stärksten jedoch im Süden. Wir kombinieren diese Schätzungen im nächsten Schritt mit empirischen Studien zu hitzebedingten Gesundheitseffekten. Daraus erhalten wir im Vergleich zum Ende des 20. Jahrhunderts eine hitzebedingte durchschnittliche Zunahme der Mortalität um mehr als das Dreifache. Krankenhauskosten aufgrund von Hitzeeinflüssen können aus heutiger Sicht sogar um das Sechsfache steigen. Außerdem reduziert Hitze die Arbeitsleistung, was zu einer geschätzten Reduktion des BIP gegen Ende des 21. Jahrhunderts zwischen 0,1% und 0,5% führen kann. Darüber hinaus bietet der Artikel einen Überblick über die heutigen temperaturbedingten Gesundheitsrisiken und deren Kosten, insbesondere zeckenübertragene Krankheiten und Pollenallergien. Dabei lässt sich der Einfluss des Klimawandels auf diese Krankheiten quantitativ schwer abschätzen

Socio-economic evaluation of climate change induced health effects in Germany - This article summarizes attempts to quantify direct temperature induced health risks in Germany. High resolution climate scenarios for the period 2071 to 2100 yield the additional number of days with heat load and cold stress. The heat frequency and intensity rise overall but more in the south. Referring to empirical studies on heat induced health effects we estimate an average increase in the number of heat induced casualties by a factor of more than 3. Heat related hospitalization costs increase 6-fold not including the cost of ambulant treatment. Heat also reduces the work performance resulting in an estimated output loss of between 0.1 % and 0.5 % of GDP. Furthermore, the article provides an overview of today's costs related to health risks stemming from tick-borne diseases and pollen allergies. The impact of climate change on the latter diseases is, however, still hard to quantify.

ie lang andauernden Hitzewellen des Jahres 2003 trafen die Europäer unvorbereitet – mit erschreckenden Folgen. Schätzungen nennen zwischen 25.000 und 35.000 Todesopfer in Europa und 7.000 in Deutschland (vgl. Koppe et al. 2003; Zebisch et al. 2005). Stern (2006) geht weltweit zukünftig von Hunderttausenden bis Millionen Todesopfern pro Jahr im Zusammenhang mit Gesundheitsfolgen des Klimawandels aus (hauptsächlich Durchfallerkrankungen, Malaria und Unterernährung). Doch dies ist nur die Spitze des Eisbergs. Hitzebelastung gefährdet die Gesundheit und das Wohlbefinden und beeinträchtigt somit sowohl die Arbeitsleistung der Menschen als auch ihre Freizeitgestaltung. Neben diesen direkten Gesundheitsgefahren des Klimawandels rechnet man in Deutschland besonders mit dem Ansteigen zweier indirekter hitzebedingter Risiken, nämlich mit dem vermehrten Auftreten von Pollenallergien und durch Zecken übertragenen Krankheiten.

In den vorangehenden Kapiteln dieses Buches sind die bioklimatischen Wirkungskomplexe und die daraus resultierende Gesundheitsgefahren im Detail beschrieben. Die nun folgenden Abschnitte sind eine Zusammenfassung von Ansätzen zur Quantifizierung der Gesundheitsrisiken und -kosten durch die globale Erwärmung gegen Ende des 21. Jahrhunderts in Deutschland basierend auf einer Studie des Forschungsbereichs Umwelt und natürliche Ressourcen des Instituts für Weltwirtschaft Kiel, die von WWF Deutschland in Auftrag gegeben wurde. Darin schätzen wir den möglichen Anstieg des Gefährdungspotenzials in Form von Mortalität, Krankenhauskosten und Verringerung der Arbeitsleistung bei Hitze. Ein systematischer Überblick der heute entstehenden Kosten im Zusammenhang mit von Zecken übertragenen Krankheiten und Pollenallergien basierend auf Angaben in der Literatur sowie ein Resümee bilden den Abschluss.

# Temperaturanstieg am Ende des 21. Jahrhunderts in Deutschland

Die heutigen Klimaprognoseverfahren lassen keinen Zweifel an einem Temperaturanstieg im Laufe des 21. Jahrhunderts (s. Kap. Roeckner). Je nach den Annahmen über die zukünftige internationale wirtschaftliche Entwicklung ergeben sich jedoch unterschiedliche Treibhausgaskonzentrationen und demzufolge eine mehr oder weniger starke globale Erwärmung. Außer-

dem variiert die Erwärmung regional und wirkt sich lokal unterschiedlich aus, abhängig von der Bevölkerungsdichte und der wirtschaftlichen Aktivität. Für eine Abschätzung der hitzebedingten gesundheitlichen Folgen in Deutschland und deren Bewertung ist daher eine regional differenzierte Betrachtung angebracht (s. Kap. Koppe & Jendritzky).

Das Regionale Klimamodell REMO bietet die nötigen Klimadaten für Deutschland und die umliegende Region in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung (ca. 10 km mal 10 km). Die Prognosen basieren auf den IPCC-Treibhausgasszenarien B1, A1B und A2 mit relativ schwachen, mittleren und starken Emissionen (IPCC 2001). Die dargestellten Berechnungen verwenden das als realistisch geltende Szenario A1B. Zum Vergleich betrachten wir den Kontrolllauf CTL, dem tatsächlich im Vergleichszeitraum 1971 bis 2000 gemessene Emissionen zugrunde liegen.

Um die zeitlich detaillierten Temperaturdaten in übersichtlicher Form darstellen und auswerten zu können, werden die Daten zur Anzahl an Tagen mit Hitzebelastung pro Jahr aggregiert. Dabei wird zwischen Tagen mit mäßiger, starker und extremer Wärmebelastung unterschieden.

Das Klima-Michel-Modell des Deutschen Wetterdienstes bezieht weitere für das menschliche Temperaturempfinden relevante meteorologische Einflussgrößen in die Berechnung der so genannten Gefühlten Temperatur ein, außerdem simuliert es die kurzfristige Akklimatisierung des Menschen (JENDRITZKY et al. 1990). Soweit möglich verwenden unsere Schätzungen die für das 21. Jahrhundert prognostizierten Gefühlten Temperaturen, da sie das tatsächliche Wärmeempfinden des Menschen besser wiedergeben. Hieraus las-

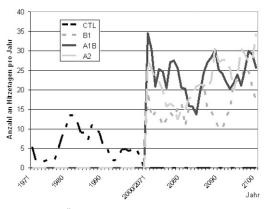


Abb. 4.13-1: Über fünf Jahre geglätteter zeitlicher Verlauf der Zunahme an Tagen mit starker oder extremer Hitzebelastung im Vergleich zum Kontrolllauf am Gitterpunkt Frankfurt am Main gemäß der REMO-Experimente CTL sowie B1, A1B und A2 (HÜBLER et al. 2008).

sen sich schließlich Wärmebelastungsklassen ableiten (JENDRITZKY et al. 2000) (s. auch Kap. Laschewski).

Alle drei Klimamodellexperimente (B1, A1B und A2, 2071 bis 2100) zeigen eine deutliche Zunahme der Tage mit starker oder extremer Hitzebelastung im Verlauf des 21. Jahrhunderts gegenüber dem Kontrolllauf (1971 bis 2000) um das Zwei- bis Fünffache. Dabei nimmt die Hitzebelastung innerhalb Deutschlands von Norden nach Süden zu. Im Experiment B1 steigt die Anzahl an heißen Tagen pro Jahr um eins an den Küsten und bis zu 18 am Bodensee. Laut Experiment A1B ist gegenüber dem Kontrolllauf jährlich mit einem zusätzlichen Tag mit Hitzebelastung an den Küsten und bis zu 25 Tagen am Bodensee zu rechnen. Die Ergebnisse des Experiments A2 ähneln jenen von A1B weitgehend. Der Süden Deutschlands muss in allen Experimenten mit der häufigsten Hitzebelastung rechnen. Auch in der Mitte Deutschlands kann die Zunahme der Hitzebelastung mit 5 bis 15 Tage pro Jahr beachtlich ausfallen. Der regionale klimatische Gegensatz verstärkt sich somit in Deutschland (Hübler & Klepper 2007).

Neben der zunehmenden Hitzebelastung ist auch eine regional unterschiedlich ausgeprägte Verringerung der Kältebelastung zu berücksichtigen (Hierbei nimmt die Kältebelastung prinzipiell mit der Höhe über Normalnull zu). Die Berechnung Gefühlter Temperaturen und die Zuordnung zu Kätestressklassen erfolgen analog zur Hitzebelastung. Tatsächlich ist zukünftig mit weniger kalten Tagen zu rechnen. Das Experiment B1 deutet auf jährlich 2 Tage weniger mit Kältestress am Oberrhein und 30 Tage weniger im Nordosten Deutschlands verglichen mit dem Kontrollzeitraum hin. Die Szenarien A1B und A2 mit höheren Emissionen führen

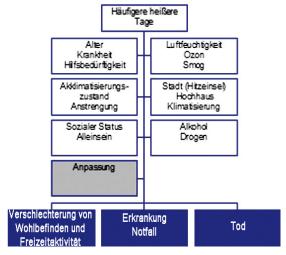


Abb. 4.13-2: Risikofaktoren verschiedener Art verschärfen die Gefährdung durch Hitze, geeignete Anpassungsmaßnahmen können die Folgen deutlich verringern.

zu einem Rückgang der Kältebelastung um 2 Tage bzw. bis zu 44 Tage im Nordosten und an einzelnen Orten der Alpen.

## Risikofaktoren und Anpassungsmöglichkeiten

Die negativen Folgen des Temperaturanstiegs hängen stark von verschiedenen Risikofaktoren, aber auch von Anpassungsmaßnahmen ab. Da gerade letztere in unseren quantitativen Schätzungen nicht berücksichtigt werden können, soll ein kurzer Überblick über Risiken und Reaktionsmöglichkeiten gegeben werden.

Zahlreiche Faktoren können die hitzebedingten Gesundheitsrisiken weiter verschärfen (siehe Abb. 4.13-2). Dies sind zunächst die meteorologischen Einflussgrößen Luftfeuchtigkeit, Wind und Sonneneinstrahlung. Zum Beispiel war der Hitzesommer 2003 in Frankreich so folgenschwer, weil eine hohe Luftfeuchtigkeit herrschte. Hinzu kommen Umweltbelastungen wie Sommersmog und erhöhte bodennahe Ozonwerte (s. Kap. Mücke). Luftverschmutzung tritt besonders in Ballungszentren auf, in denen wegen des sogenannten Hitzeinseleffekts sowieso höhere Temperaturen gemessen werden (s. auch Kap. Baummüller). Auch sind Personen, die in unklimatisierten Räumen oder in höheren Stockwerken leben, nachweislich einem zusätzlichen Risiko ausgesetzt (vgl. die detaillierte Literaturübersicht von Basu & Samet 2002). Hilfreich ist daher ein Hitzefrühwarnsystem, das neben der Temperatur auch die genannten zum Teil lokalen Einflussfaktoren berücksichtigt (s. Kap. Laschewski & Bucher). Ein wichtiger Schritt ist hierbei das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes.

Weiterhin sind persönliche Faktoren bedeutsam. An erster Stelle steht hierbei das Alter, da mit zunehmendem Alter Krankheiten und Schwäche zunehmen und sich das körpereigene Temperaturregulierungsvermögen verschlechtert. Aber auch Kleinkinder und kranke junge und erwachsene Menschen reagieren sensibel auf thermische Belastung. Daher richten sich Hitzewarnungen und Aktionspläne mit Maßnahmen bei akutem Hitzerisiko besonders an Seniorenheime und Krankenhäuser. In der heutigen von Anonymität und schwindendem familiärem Zusammenleben geprägten Gesellschaft leben viele Ältere und Hilfsbedürftige allein, wodurch sich das Hitzerisiko erhöht (s. BASU & SAMET 2002, Kap. Stößel & Matzarakis). Pflegedienstleistungen werden daher an Bedeutung gewinnen. Sofern die Kosten nicht von den Sozialversicherungen getragen werden, sind sozial schwache Mitbürger besonders gefährdet, die sich keine ausreichende Betreuung leisten können.

Auch das persönliche Verhalten spielt eine Rolle.

Alkohol- und Drogenkonsum verstärken das Gesundheitsrisiko. Eine gesunde Lebensweise verringert das Risiko. Wichtig ist, während Hitzeperioden genug (Nichtalkoholisches) zu trinken sowie Kleidung und körperliche Belastungen der Temperatur und der eigenen Physis anzupassen.

Ein großes Verbesserungspotenzial bieten technische Lösungen wie Klimaanlagen und bauliche Maßnahmen zur Belüftung und Luftzirkulation und zur Reduzierung der Aufheizung. Problematisch ist dabei erstens der tendenziell hohe Energiebedarf etwa von vollklimatisierten Hochhäusern, der bei der Energiegewinnung aus fossilen Quellen den Treibhauseffekt noch verstärkt (s. auch Kap. Hinz). Zweitens die Benachteiligung von Menschen mit geringem Einkommen, denen es an finanziellen Mitteln mangelt, um geeignete Technologien zu erwerben. Drittens ist fraglich, ob städtebauliche Maßnahmen schnell und flexibel genug vonstatten gehen, um den klimatischen Veränderungen folgen zu können.

Schließlich bietet die langfristige natürliche Akklimatisierung der Menschen ein Potenzial zur Verringerung der Gesundheitsrisiken. Die in Deutschland zu erwartenden klimatischen Verhältnisse herrschen bereits heute in südlichen Ländern. Die gesundheitlichen Folgen von Hitze sind dort aber unter anderem deshalb nicht dramatisch, weil die Menschen die klimatischen Verhältnisse gewohnt sind. Allerdings wird die natürliche langfristige Akklimatisierung in Deutschland wahrscheinlich nicht mit dem Klimawandel Schritt halten können.

Abb. 4.13-2 fasst die Risikofaktoren zusammen, und Abb. 4.13-3 bewertet Anpassungsmöglichkeiten und deren Kosten qualitativ. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf in der Quantifizierung der Anpassungskosten und in der Untersuchung, wer mit diesen Kosten besonders belastet wird, zumal die skizzierten sozio-ökonomischen Zusammenhänge von hoher Relevanz für die politische Diskussion und Entscheidungsfindung sind.

## Hitzebedingtes Mortalitätsrisiko

Die beschriebenen zusätzlichen Tage mit Hitzebelastung bilden die Basis für die Quantifizierung der zukünftigen gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels. Eine erste Mortalitätsschätzung erfolgt auf der Ebene der deutschen Bundesländer, die zweite Schätzung in 10-km-mal-10-km-Auflösung. Eine weitere wichtige Input-Größe bilden die Bevölkerungszahlen der Bundesländer und der 10-km-mal-10-km-Quadranten bzw. die allgemeinen Mortalitätszahlen des Statistischen Bundesamts sowie hoch aufgelöste Bevölkerungsdaten (Statistisches Bundesamt 2006, Landscan 2001).

Der Zusammenhang zwischen Gefühlter Temperatur und der allgemeinen Mortalitätsrate ist quantitativ in zahlreichen Studien recht gut erforscht (vgl. Kap. Hupfer & Tinz). Allerdings variieren die Ergebnisse je nach Land und Beobachtungszeitraum. Für Deutschland eignen sich besonders Forschungsergebnisse über Baden-Württemberg im Zeitraum 1968 bis 1997 und bezüglich des Hitzesommers 2003 (LASCHEWSKI & JENDRITZKY 2002, KOPPE et al. 2003). Die Vorgehensweise bei den Schätzungen ist in HÜBLER et al. (2008) ausführlich beschrieben.

Abb. 4.13.4 verdeutlicht, dass sich die Gesamtzahl der hitzebedingten Todesfälle mehr als verdreifachen und in der Größenordnung von 10.000 bis 20.000 Menschen pro Jahr liegen könnte (vgl. Hübler & Klepper 2007, HÜBLER et al. 2008). Dabei gibt die hitzebedingte Basis die heute bereits bestehende hitzebedingte Mortalität an. Diese Schätzung sowie die folgenden Prognosen berücksichtigen jedoch keine Anpassung an den Klimawandel, weder durch natürliche Akklimatisierung noch durch technische Maßnahmen. Geeignete Anpassung kann die dramatischen Folgen deutlich reduzieren. Der Anstieg des Gefährdungspotenzials beruht nur zum Teil direkt auf der globalen Erwärmung. Die Anzahl älterer Menschen wird sich laut der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamts bis zum Jahr 2050 beinah verdoppeln. Wie aus Abb. 4.13-4 ersichtlich trägt diese demographische Entwicklung beträchtlich zum Anstieg des Gefährdungspotenzials bei. Nationale oder internationale Migration werden hierbei nicht berücksichtigt. Eine Zuwanderung in den Süden und Südwesten Deutschlands kann die Problematik wegen der dort herrschenden höheren Temperaturen verschärfen.

Abb. 4.13-5 illustriert das Gefährdungspotenzial für die menschliche Gesundheit in Deutschland anhand von möglichen Todesfällen pro 10-km-mal-10-km-Quadranten. Offensichtlich treten in den Ballungszentren mit hoher Bevölkerungsdichte mehr Todesfälle auf als in dünn besiedelten Gebieten (je helle desto mehr hitzebedingte Sterbefälle). Zusätzlich wird der Hitzeinseleffekt deutlich: In (Groß-) Städten entstehen höhere Temperaturen als im Umland (s. Kap. Baumüller). Außerdem fällt auf, dass das Gesundheitsrisiko in Richtung Süden und Südwesten zunimmt. Das Aufaddieren aller Mortalitätszahlen führt zu ähnlichen Ergebnissen wie die Rechnung auf Bundesländerebene.

Zum Vergleich versuchen wir auch die Verringerung des kältebedingten Gesundheitsrisikos in Deutschland zu quantifizieren. (Auch STERN 2006 weist auf den Mortalitätsrückgang im Winter in höheren Breitengraden hin.) Unter der Voraussetzung, dass der Anteil der von Kältestress besonders betroffenen älteren Menschen genauso hoch ist wie der von Hitzebelastung betroffenen Älteren, übertrifft die Zunahme der Hitzegefährdung den Rückgang der Kältegefährdung im Bundesdurchschnitt bei Weitem, da die hitzebedingten Risiken im Süden und Südwesten dominieren. In den mitteldeutschen Regionen halten sich beide Effekte in etwa die Waage. Allein im Norden und Nordosten Deutschlands überwiegen die positiven Effekte im Winter leicht.

Sowohl im Fall von Hitze als auch im Fall von Kälte ist zu berücksichtigen, dass es mitunter nur zu

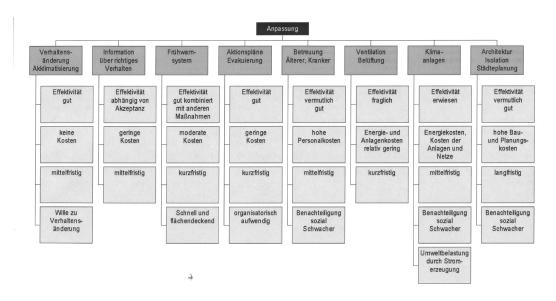
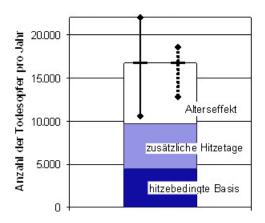


Abb. 4.13-3: Systematik der Anpassungsmaßnahmen (Hübler & Klepper 2007).

einer Verschiebung des Todeszeitpunkts kommt. Das heißt, während einer Hitzewelle sterben unter anderem schwerkranke oder sehr geschwächte Menschen, deren Tod auch ohne Hitze in naher Zukunft bevorstand. Dieser Effekt betrifft kurzfristig vermutlich aber weniger als 25% der hitzebedingten Todesfälle und bleibt in den dargestellten Schätzungen unberücksichtigt. Außerdem sind die meteorologisch-medizinischen Wirkungszusammenhänge bezüglich der Wintermortalität anders und statistisch weit weniger signifikant als hinsichtlich der Sommermortalität. Des Weiteren sehen wir von einer monetären Bewertung des hitzebedingten Mortalitätsrisikos ab, denn die Zahlen sprechen für sich. Der nächste Abschnitt bietet eine erste Abschätzung der hitzebedingten Gesundheitskosten im Zusammenhang mit Krankenhausnotfalleinweisungen.

### Hitzebedingte Krankenhauskosten

Das Kap. von Wichert bietet eine ausführliche Beschreibung der thermophysiologischen Effekte bei verschiedenen Krankheiten. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Erkrankungen wie Herz-Kreislaufversagen, Atemwegsproblemen, Nierenversagen etc. und das Zusammenwirken mit bestehenden Krankheiten wie Diabetes, Herzproblemen und Asthma ist jedoch statistisch weniger gut erforscht als jener basierend auf Zeitreihen über Sterbefälle. Da für Deutschland keine geeigneten Forschungsergebnisse vorliegen, verwenden wir statistische Zahlen über hitzebedingte Krankenhausnotfalleinweisungen, die sich aus den Beobachtungen des Sommers 2003 in England ergeben. Außerdem werden Angaben des Statistischen Bundesamts über Krankenhauseinweisungen und Kosten pro Behandlungsfall auf Ebene der deutschen Bundesländer



**Abb. 4.13-4:** Mögliche Anzahl der gesamten hitzebedingten Todesopfer pro Jahr im Prognosezeitraum 2071-2100 (Hübler & Klepper 2007, Hübler et al. 2008).

benötigt (Statistisches Bundesamt 2004a und 2004b). Für die genaue Vorgehensweise s. Hübler et al. (2008).

Unsere Schätzung der Behandlungskosten von Patienten, die wegen akuter hitzebedingter Beschwerden in Krankenhäuser eingeliefert wurden, resultiert etwa in einer Versechsfachung der jährlichen Kosten gegen Ende des 21. Jahrhunderts verglichen mit den heutigen Verhältnissen, in der Größenordnung von im Ergebnis 300 bis 700 Mio. € (Abb. 4.13-6; s. auch Hübler & Klepper 2007, Hübler et al. 2008). Verglichen mit den gesamten Kosten der stationären medizinischen Behandlung in Deutschland sind dies weniger als 1%, bezogen auf die Summe aller deutschen Gesundheitsausgaben weniger als 0,3% und bezogen auf das heutige BIP etwa 0,02%. Die geographische Verteilung der Kosten ähnelt jener des Mortalitätsrisikos (vgl. Abb. 4.13-5). Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den besonders betroffenen Ballungszentren und südlichen Regionen gleichzeitig die höchsten durchschnittlichen Pro-Kopf-Einkommen erzielt werden, so dass die wohlhabendsten Regionen am stärksten betroffen sind. Es besteht jedoch die Gefahr, dass die Bürger am unteren Ende der Einkommensverteilung besonders belastet werden, falls die Gesundheitsausgaben nicht (vollständig) von den Sozialversicherungen getragen werden.

Allerdings beinhaltet unsere Schätzung noch kei-

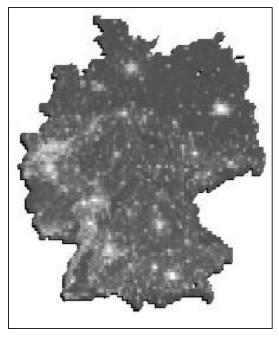


Abb. 4.13-5: Mögliche hitzebedingte Mortalität in Deutschland gegen Ende des 21. Jahrhunderts in 10-km-mal-10-km-Auflösung (vgl. Hübler & Klepper 2007, Hübler et al. 2008).

ne Kosten der nicht-stationären Behandlung und Medikation sowie keinen Ausfall der Arbeitsleistung bei Berufstätigen. Auch medizinische Notfälle betreffen vor allem ältere Personen mit der Konsequenz, dass der demographische Wandel das Erkrankungsrisiko zusätzlich deutlich erhöht.

Wiederum bleibt jegliche Anpassung an den Klimawandel unberücksichtigt; des Weiteren kann der Fortschritt in der Medizintechnik nicht prognostiziert und einbezogen werden.

# Hitzebedingte Verringerung der Arbeitsleistung

Die geschilderten Modellrechnungen befassen sich mit den gravierendsten Gesundheitsrisiken von Hitze. Die meisten Menschen haben darüber hinaus die Erfahrung gemacht, dass Hitze unser Wohlbefinden verringert. Diese Beeinträchtigung lässt sich hinsichtlich der Freizeitgestaltung schwer quantifizieren, obwohl sie sicherlich einen ökonomisch relevanten Verlust an Lebensqualität darstellt.

Im Bereich der Arbeitswelt ist eine grobe Ermittlung der Größenordnung hitzebedingter Leistungseinbußen möglich. Hierbei besteht weiterer Forschungsbedarf darin, sektoral nach körperlicher und geistiger Arbeit sowie nach Arbeit im Freien und in klimatisierten oder unklimatisierten Räumen zu differenzieren. Auch können wir den Leistungsrückgang kaum direkt in den Betrieben messen. Wir müssen vielmehr auf Laborexperimente zurückgreifen. Diese Experimente zeigen eine große Bandbreite von Resultaten über den Zusammenhang von Temperatur und physischer und

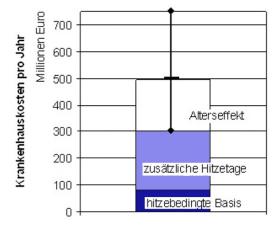


Abb. 4.13-6: Mögliche hitzebedingte Krankenhauskosten pro Jahr im Prognosezeitraum 2071-2100 vgl. Hübler & Klepper 2007, Hübler et al. 2008).

psychischer Leistungsfähigkeit des Menschen (WYON 1986; BUX 2006 und andere).

Abb. 4.13-7 skizziert daher nur eine erste Abschätzung der Einbußen des Produktionswerts durch Hitze pro Jahr wie in Hübler et al. (2008) beschrieben. Möglicherweise werden die Leistungseinbußen um den Faktor 4 zunehmen und in der Größenordnung von etwa 0,1 bis 0,5% des heutigen BIP liegen. Vergleicht man die regionalen Auswirkungen innerhalb Deutschlands, so stellt man fest, dass im Süden und Südwesten sowohl die größte Hitzebelastung auftreten wird, als auch die höchste Wertschöpfung entsteht. Daher fallen die hitzebedingten Rückgänge der landesweiten Produktionswerte und die Veringerungen der Pro-Kopf-Einkommen im Süden und Südwesten Deutschlands weitaus größer aus als im Norden und Nordosten: In Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen kann der hitzebedingte landesweite Einkommensrückgang in der Größenordnung von 500 Mio. € pro Jahr liegen (aus heutiger Sicht und zu heutigen Preisen); in Bremen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein liegt der gesamte Einkommensrückgang voraussichtlich nur in der Größenordnung von 10 Mio. € per annum.

Allerdings kann man die Entwicklung der deutschen Wirtschaft und den technischen Fortschritt in der Produktion und Klimatisierung über einen Zeitraum von fast 100 Jahren nicht prognostizieren. Faktoren wie die Verringerung der Leistungsfähigkeit durch eine schlechtere Nachtruhe bei Hitze oder ausgedehnter Pausen während der Mittagshitze können in diesen Prognosen noch nicht berücksichtigt werden.

Wichtig ist schließlich, dass sich die Angaben auf das IPCC-Szenario A1B beziehen. Szenario B1 mit einer geringeren Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre halbiert die volkswirtschaftlichen Verluste im Zusammenhang mit der Arbeitsleistung nahezu. Eine effiziente nationale und internationale Klimapolitik kann daher maßgeblich zur Vermeidung wirtschaftlicher Einbußen beitragen (s. Kap. Günther).

## Von Zecken übertragene Krankheiten und Pollenallergien

Neben den erläuterten direkt durch Hitze verursachten Gesundheitsgefährdungen rechnet man in Deutschland besonders mit zwei indirekten hitzebedingten Gesundheitsrisiken (ausführliche Darstellung in dem Kapitel über indirekte Gesundheitsfolgen durch Krankheitsüberträger): Mit der Ausbreitung von Zecken übertragener Krankheiten (s. Kap. Süss und Kap. Fingerling) und dem verstärkten Auftreten von Pollenallergien (s. Kap. Menzel und Kap. Schröder et al.), hervorgerufen

durch heimische und neue Pflanzenarten (insbesondere Beifuß-Ambrosie und Herkulesstaude), die sich in dem wärmeren Klima nun heimisch fühlen (s. auch Kap. Klotz). Zum Beispiel zeigen Lindgren (1998) sowie Lindgren et al.(2000) mit statistischen Methoden, dass ein milderes Klima das Vorkommen von Zecken und die durch Zecken übertragene Enzephalitis in Schweden begünstigt hat (s. Kap. Kahl) (Weitere Details in Süss et al., 2008 und Gray et al., 2009).

Qualitativ beeinträchtigen die indirekten Gesundheitsfolgen des Klimawandels genauso wie die direkten Folgen sowohl den Freizeitgenuss als auch die Arbeitsleistung der Betroffenen, sie verursachen Kosten der medizinischen Behandlung und können im Fall von Krankheiten, die durch Zecken übertragen werden, im Extremfall zum Tod führen.

Quantitative Abschätzungen des von dem Klimawandel hervorgerufen Anteils an den Kosten sind jedoch bereits hinsichtlich der heutigen Situation schwierig, da die meteorologischen, biologischen und soziologischen Interaktionen komplex sind (s. z.B. Randolph 2004). So sind für das Risiko daran zu erkranken, auch die Feuchtigkeit im Lebensraum der Zecken, der Kontakt zu den Wirtstieren und die Häufigkeit, mit der sich Menschen in Wäldern aufhalten, von Bedeutung. Der Einfluss des Klimas auf Pollenflugdauer und -intensität ist ebenfalls nicht eindeutig. Zukunftsprognosen erscheinen daher zum gegenwärtigen Zeitpunkt zu unsicher, und es ist weitere Forschung angebracht. Dennoch sollen die folgenden Ausführungen ein Bild von der Größenordnung der Kosten infolge dieser Krankheiten und von Pollenallergien geben, um die ökonomische Bedeutung unabhängig von dem quantitativen Einfluss des Klimawandels beurteilen zu können.

Vanderhoof & Vanderhoof-Forschner (1993)

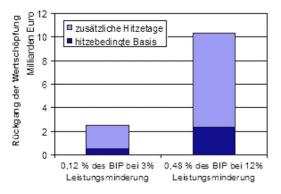


Abb. 4.13-7: Rückgang der Wertschöpfung durch die hitzebedingte Verringerung der Arbeitsleistung pro Jahr im Prognosezeitraum 2071-2100 unter alternativen Annahmen bezüglich des Leistungsrückgangs (Vgl. HÜBLER & KLEPPER 2007, HÜBLER et al. 2008).

schätzen die Behandlungskosten plus den Einkommensausfall einer an der von Zecken übertragenen Lyme-Borreliose erkrankten Person auf insgesamt durchschnittlich 60.000 US\$, wobei die Kosten je nach Krankheitsverlauf auch deutlich höher oder geringer ausfallen können. Die Kosten haben, so die Autoren, eine ähnliche Größenordnung wie jene, die von einer AIDS-Erkrankung verursacht werden. Hochgerechnet auf die gesamten USA ergeben sich daraus (vorsichtig geschätzt) ca. 1 Mrd. US\$. In Deutschland geht das Nie-Dersächsische Landesgesundheitsamt (2004) von 50 000 Borreliose-Neuerkrankungen aus. Überträgt man die Angaben zu den USA auf Deutschland, so ergeben sich (bei konservativer Schätzung) volkswirtschaftliche Gesamtkosten von etwa 0,02% des BIP oder 0,26% der gesamten Gesundheitsausgaben. Die Kosten einer von Zecken übertragenen Enzephalitis-Erkrankung liegen etwa in der gleichen Größenordnung wie die der Borreliose (vgl. Canadian Lyme Disease Foundation 2011). Die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) tritt jedoch in Deutschland mit etwa 500 Fällen pro Jahr seltener auf als die Borreliose (ROBERT KOCH INSTITUT 2007a).

Greiner et al. (2002) ermitteln für die ärztliche Behandlung und Medikation von Pollenallergien ca.393 € pro Patient und Jahr. Die Autoren schätzen außerdem indirekte Kosten und geben einen Produktivitätsverlust von etwa 356 € pro Person und Jahr verursacht durch die Asthma- und Heuschnupfenbelastung Berufstätiger an. Reinhardt et al. (2003) beziffern die Kosten verursacht durch allergisches Asthma sogar mit 650 € per annum und Patient. Insgesamt verursacht allergisches Asthma in Deutschland bei etwa 4 Mio. Betroffenen direkte und indirekte Kosten von ca. 2,62 Mrd. €, so die Autoren. Dies entspricht ca. 0,12% des deutschen BIP bzw. ungefähr 1,12 % der gesamten deutschen Gesundheitsausgaben. Da sich der Einfluss des Klimawandels hierbei schwer quantifizieren lässt, können neu auftretende Spezies als Indikatoren dienen. So entfallen jährlich 24,5 Mio. € der Kosten von allergischem Asthma auf die Beifußambrosie. Hinzu kommen 7,6 Mio. € durch allergische Rhinitis (Heuschnupfen) im Zusammenhang mit der Beifußambrosie. Dies sind zusammen 32,1 Mio. €. Bezogen auf die gesamten deutschen Gesundheitsausgaben ergeben sich somit 0,014%. Weiterhin entstehen laut Reinhardt et al. (2003) bei der stationären Behandlung von Hautreaktionen, hervorgerufen durch die Herkulesstaude (Kaukasischer Riesenbärenklau), durchschnittliche Kosten von 300 € pro Tag mal 7 Tage. Die ambulante Behandlung in Hautarztpraxen beträgt demnach zudem jeweils zwischen 36 und 51 €. Die gesamten Gesundheitskosten der Herkulesstaudenallergie in Deutschland belaufen sich somit auf über 1 Mio. € pro Jahr, während deutschlandweit vermutlich ein ähnlich hoher Betrag für die Beseitigung der Herkulesstaude allein in Naturschutzgebieten ausgegeben wird (Reinhardt et al. 2003). Angenommen, das Auftreten dieser neuen Arten (Neobiota) sei zu 100% auf den Klimawandel zurückzuführen. Dann fallen die entstehenden Kosten aus gesamtwirtschaftlicher Sicht heute dennoch relativ gering aus; sie können aber zukünftig steigen.

Die beschriebenen Gesundheitskosten lassen sich mit modernen medizinischen Methoden reduzieren. So bietet eine Impfung gegen die Frühsommer-Meningo-Enzephalitis (FSME) wirksamen Schutz zu Kosten von 3 mal 30 bis 40 € pro Person. Die Kosten trägt normalerweise die Krankenkasse (vgl. Ärztezeitung 2003). Zurzeit wird die FSME-Impfung jedoch selbst in Risikogebieten relativ wenig in Anspruch genommen (Ärztezeitung 2006); gleichzeitig kommt es zu Engpässen in der Verfügbarkeit des Impfstoffs. Immunisierungen gegen Lyme-Borreliose stehen bisher für Europa nicht zur Verfügung (Robert Koch Institut 2007b). (s. Kap. Löscher).

Hinsichtlich Pollenallergien beruht die Therapie auf drei Säulen (Pollenwarndienst 2004): Auf der Vermeidung des Kontaktes mit dem Allergen, auf der Unterdrückung der Symptome mit antiallergischen Medikamenten und auf der Immuntherapie (Allergieimpfung, Hypersensibilisierung). Laut Greiner et al. (2002) reduzieren sich die Behandlungskosten von allergischem Asthma und Rhinitis mit Hilfe der Immuntherapie auf 189 € pro Behandlung, also auf weniger als die Hälfte. Der Studie zufolge verringert sich der Produktivitätsverlust bei Anwendung der Immuntherapie von 356 € drastisch auf 46 € jährlich pro Patient.

### **Schlussbetrachtung**

Die Auswertungen von Klimamodellrechnungen für Deutschland gegen Ende des 21. Jahrhunderts ergeben besonders im Süden Deutschlands eine starke Zunahme der Hitzebelastung. Da besonders geschwächte ältere Menschen sensibel auf thermische Belastung reagieren und weil deren Zahl zukünftig steigen wird, kommt es zu einer deutlichen Verschärfung des Hitzerisikos. Die Folge ist ein Anstieg des hitzebedingten gesundheitlichen Gefährdungspotenzials und der Kosten durch medizinische Notfälle in Deutschland um das Drei- bis Sechsfache. Auch die volkswirtschaftlichen Einbußen durch eine geringere Arbeitsleistung bei Hitze können sich um ein Mehrfaches erhöhen und mit ungefähr 0,1 bis 0,5 % des BIP die hitzebedingten Krankenhauskosten bei Weitem übertreffen.

Zusätzlich zu diesen direkten Gesundheitsgefahren werden sich wahrscheinlich die indirekten Risiken,

unter anderem durch die von Zecken übertragenen Krankheiten (Borreliose und Enzephalitis) und Pollenallergien im Zuge des Klimawandels verschärfen. Prognosen der zukünftig damit verbundenen zusätzlichen Kosten erscheinen jedoch zum gegenwärtigen Zeitpunkt zu unsicher. Weitere Forschungsarbeit ist daher angebracht.

Sowohl die Verringerung des Treibhauseffekts als auch die Anpassung an den Klimawandel durch persönliches Verhalten, politisch-institutionelle Maßnahmen und technische Innovationen können die alarmierenden Gesundheitsrisiken und -kosten deutlich reduzieren.

Für die zukünftige Quantifizierung der Gesundheitsrisiken und Kosten des Klimawandels in Deutschland sind weitere (regional differenzierte) statistische Analysen vorhandener Daten und Ansätze zur Evaluierung von Anpassungsmaßnahmen sinnvoll.

Dank: Ich danke dem Umweltbundesamt für das Zur-Verfügung-Stellen der REMO-Daten, dem Deutschen Wetterdienst für die Bereitstellung des Klima-Michel-Modells und Herrn Prof. Dr. Wolfram Mauser sowie Herrn Prof. Dr. Gerd Jendritzky für die Bevölkerungsdaten. Besondere Dank gilt Herrn Dr. Birger Tinz für die Berechnung der thermischen Umgebungsbedingungen des Menschen, deren Dokumentation und Darstellung und die fachkundige Beratung und Frau Svenja Höfler für die Textbearbeitung.

#### Literatur

ÄRZTEZEITUNG (2003): http://www.aerztezeitung.de (kein Bericht vor 2003).

ÄRZTEZEITUNG (2006): http://www.aerztezeitung.de/medizin/krankheiten/infektionskrankheiten/zecken/article/399576/fsme-impfung-gibt-risikoregionen-grosseluecken.html?sh=7&h=137362154

BASU, R. & J. M. SAMET (2002): Relationship between Ambient Temperature and Mortality: A Review of the Epidemiologic Evidence, Epidemiologic Reviews 24(2).

BUX, K. (2006): Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfsanalyse für weitere Forschungen, Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Forschung Projekt F 1987.

CANADIAN LYME DISEASE FOUNDATION (2011): http://canlyme.com/2011/10/25/5-year-follow-up-study-of-patients-with-neuroborreliosis/.

GRAY, J. S., H. DAUTEL, A. ESTRADA-PEÑA, O. KAHL & E. LINDGREN (2009): Effects of Climate Change on Ticks and Tick-Borne Diseases in Europe, Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases, doi:10.1155/2009/593232.

GREINER, W., V. D. GRAF, J.-M. SCHULENBURG & A. GILLISSEN (2002): Kosten und Nutzen der Hyposensibilisierung bei allergischem Asthma und Rhinitis. Gesundh ökon qual manag 7: 179-186.

HÜBLER, M. & G. KLEPPER (2007): Kosten des Klimawandels: Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit", eine Studie für

- WWF Deutschland.
- HÜBLER, M., G. KLEPPER & S. PETERSON (2008): Costs of Climate Change - The Effects of Rising Temperatures on Health and Productivity in Germany, Ecological Economics 68, 381-393.
- IPCC (2001): Climate change 2001: Synthesis report. Summary for policymakers, http://www.ipcc.ch/pdf/ climate-changes-2001/synthesis-spm/synthesis-spmen.pdf.
- 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.
- KOPPE, C., G. JENDRITZKY & G. PFAFF (2003): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit, DWD Klimastatusbericht, 152-162.
- LANDSCAN (2001): Global Population Database, Oakridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, www. ornl.gov/gist/.
- LASCHEWSKI, G. & G. JENDRITZKY (2002): Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany, Climate Research 21, 91-103.
- LINDGREN, E. (1998): Climate and tickborne encephalitis, Conservation Ecology 2(1): 5.
- LINDGREN, E., L. TÄLLEKLINT & T. POLFELDT (2000): Impact of Climatic Change on the Northern Latitude Limit and Population Density of the Disease-Transmitting European Tick Ixodes ricinus, Environmental Health Perspectives 108 (2).
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESGESUNDHEIT-SAMT (2004): Borreliose – Vermeiden, erkennen, Behandeln, Fachgespräch im Niedersächsischen Landtag, Infektionen und Hygiene, Report 2.
- POLLENWARNDIENST (2004): http://www.pollenwarn-dienst.at/index.php?language=de&nav=\_n2&module= article&action=first\_page&row=9&id\_parent=1138.
- RANDOLPH, S. E. (2004): Tick ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors, Parasitology 129, 37-65.

- REINHARDT, F., M. HERLE, F. BASTIANSEN & B. STREIT (2003): Ökonomische Folgen der Ausbreitung von Neobiota, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 201 86 211, UBA-FB 000441, Texte 79/03.
- ROBERT KOCH INSTITUT (RKI) (2007a): Epidemiologisches Bulletin 15.
- ROBERT KOCH INSTITUT (RKI) (2007b): http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber LymeBorreliose.html.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2004a): Kostennachweis der Krankenhäuser, Fachserie 12, Reihe 6.3, 1.1.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2004b): Gesundheitswesen, Grunddaten der Krankenhäuser, Fachserie 12, Reihe 6.1.1, 2.2.2.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2006): Genesis online, Ergebnisse der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressekonferenzen/2006/Bevoelkerungsentwicklung/bevoelkerungsprojektion2050. pdf? blob=publicationFile.
- STERN, SIR NICHOLAS (2006): Stern Review on the Economics of Climate Change, Publication of the Stern Review's final report, HM Treasury.
- SÜSS, J., C. KLAUS, F.-W. GERSTENGARBE & P. C. WERNER (2008): What Makes Ticks Tick? Climate Change, Ticks, and Tick-Borne Diseases, Journal of Travel Medicine 15 (1), 39–45.
- VANDERHOOF, I. T. & M. B. VANDERHOOF-FORSCHNER (1993): Lyme Disease: The Cost to Society, Contigencies January/February 1993.
- WYON, D. (1986): The effects of indoor climate on productivity and performance A review, WS and Energy 3, 59-65.
- ZEBISCH, M., T. GROTHMANN, D. SCHRÖTER, C. HASSE, U. FRITSCH & W. CRAMER (2005): Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung im Auftrag des Umweltbundesamts, Climate Change 08/05, ISSN 1611-8855, 122-136.

#### Dr. Michael Hübler

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW) Mannheim

huebler@zew.de

Hübler, M. (2014): Sozio-ökonomische Bewertung von Gesundheitseffekten des Klimawandels in Deutschland. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 4.13) - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.