

Kosten des Klimawandels

Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit

Aktualisierte Fassung 07/2007

Eine Studie im Auftrag des
WWF Deutschland Frankfurt

Michael Hübler und Gernot Klepper
Institut für Weltwirtschaft Kiel
michael.huebler@ifw-kiel.de



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Die Hitzewelle 2003 in Europa	5
3	Hitzeszenarien für Deutschland	7
3.1	Das REMO-Klimamodell.....	8
3.2	IPCC-Klimaszenarien.....	8
3.3	Das Klima-Michel-Modell	10
3.4	Prognose der Hitzebelastung für den Zeitraum 2071 bis 2100	13
3.5	Prognose des Kältestress für den Zeitraum 2071 bis 2100	20
4	Hitzebedingte Gesundheitsfolgen	26
4.1	Risikofaktoren	26
4.2	Hitzebedingte Sterbefälle	29
4.3	Hitzebedingte Krankheiten.....	37
4.4	Hitzebedingte Verringerungen der Leistungsfähigkeit	39
5	Kosten des Klimawandels durch zunehmende Hitze	40
5.1	Methodische Anmerkungen	40
5.2	Krankheitskosten.....	42
5.3	Leistungseinbußen.....	45
6	Kältebedingte Gesundheitsfolgen	48
7	Anpassung an die zunehmende Hitze.....	53
8	Resümee	57
9	Quellenverzeichnis	62

1 Einleitung

Der Sommer 2003 mit vermutlich 25.000 bis 35.000 hitzebedingten Todesopfern in Europa und über 7.000 in Deutschland war ein deutliches Alarmsignal dafür, dass bei durch den Klimawandel verursachten steigenden Temperaturen mit zunehmenden negativen gesundheitlichen Folgen zu rechnen ist. Inzwischen gibt es räumlich hoch aufgelöste Szenarienrechnungen für die Entwicklung des Klimas in Deutschland, die als Grundlage für die Abschätzung möglicher Auswirkungen des Klimas auf die Gesundheit genutzt werden können. Diese Gesundheitswirkungen gehen auch mit volkswirtschaftlichen Kosten einher, die von den Kosten der Behandlung und Therapie bis hin zu den Verlusten an Leistungsfähigkeit reichen. Ziel dieser Studie ist es, die vorhandenen Studien auszuwerten und zu prüfen, welche möglichen Auswirkungen der Klimawandel in Deutschland bis zum Ende des Jahrhunderts auf die Gesundheit hat und welche Kosten damit verbunden sind.

Für ein solches Vorhaben mussten nicht nur Erkenntnisse aus Untersuchungen für verschiedene Länder und Regionen, sondern auch für verschiedene Ereignisse herangezogen werden. Darüber hinaus gehen Ergebnisse verschiedenster Disziplinen in die Analyse ein. Klima- und Wetterforschung spielen eine zentrale Rolle. Medizinische Erkenntnisse sind für den Zusammenhang zwischen Extremtemperaturen und gesundheitlichen Folgen erforderlich. Schließlich müssen wirtschaftswissenschaftliche Aspekte bei der Bestimmung von Indikatoren für die gesamtwirtschaftlichen Kosten berücksichtigt werden. Diese Kurzstudie bringt in einem ersten Schritt diese Aspekte zusammen. Weitere Analysen können sicher zu robusteren und noch stärker fundierten Ergebnissen führen. Dazu wird aber ein erheblich größerer Aufwand nötig sein.

Die Studie ist folgendermaßen gegliedert: Kapitel 2 verdeutlicht die Gesundheitsfolgen der Hitzewelle 2003. Kapitel 3 illustriert die zugrunde liegenden zukünftigen Klimaszenarien, das Klima-Michel-Modell zur Bestimmung der Gefühlten Temperatur und die basierend auf REMO-Klimadaten berechneten zukünftigen Tage mit Hitzebelastung oder Kältestress in Deutschland. In Kapitel 4 werden hitzebedingte Gesundheitsfolgen und deren Risikofaktoren diskutiert. Kapitel 5 enthält eine Diskussion über methodische Ansätze zur Bestimmung der Kosten des Klimawandels sowie Prognosen über hitzebedingte Krankenhauskosten und die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Verringerung der Leistungsfähigkeit bei steigenden Temperaturen. Kapitel 6 stellt den negativen Folgen des Klimawandels während der warmen Jahreszeit mögliche positive Effekte durch einen Rückgang von Kältetagen gegenüber. Kapitel 7 enthält eine kurze Diskussion der Rolle von Anpassungsmaßnahmen auf die Gefährdungen durch den Klimawandel, welche die negativen Folgen des Klimawandels deutlich reduzieren können. Ein abschließendes Resümee bietet Kapitel 8.

2 Die Hitzewelle 2003 in Europa

Die Bilanz des Hitzesommers 2003 hat gezeigt, wie anfällig die Menschen auf höhere Temperaturen reagieren, wenn sie nicht auf solche Ereignisse vorbereitet sind. Schätzungen über Auswirkungen dieses Hitzesommers gehen von 25.000 bis 35.000 hitzebedingten Todesopfern in Europa aus. Außerdem nahmen vielerorts Notfalleinweisungen in Krankenhäuser merklich zu. Die weiteren wirtschaftlichen Auswirkungen in Bezug auf die zusätzlichen Kosten für das Gesundheitswesen und in Bezug auf die Wirkungen von Hitze auf die wirtschaftlichen Aktivitäten wurden dagegen bisher kaum untersucht.

Das Gesundheitsamt Köln berichtet von einer Zunahme der Sterblichkeit im August 2003 um 16,5 % im Vergleich zu vergangenen Jahren, das Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg meldet aufgrund einer Erhebung in 1.000 Pflegeheimen einen Anstieg der Todesfälle um 16 bis 24 %.¹ So ergaben sich für Baden-Württemberg etwa 1.100 Hitzeopfer und vermutlich 7.000 in ganz Deutschland.² Der Grund dafür waren Rekordtemperaturen, die nach Einführung der bodennahen Lufttemperaturmessung im Jahr 1761 bisher nicht gemessen worden waren und eine einmalig hohe Zahl an sogenannten Hitzetagen, an denen über 24 Stunden hinweg und länger hohe Temperaturen herrschen.³

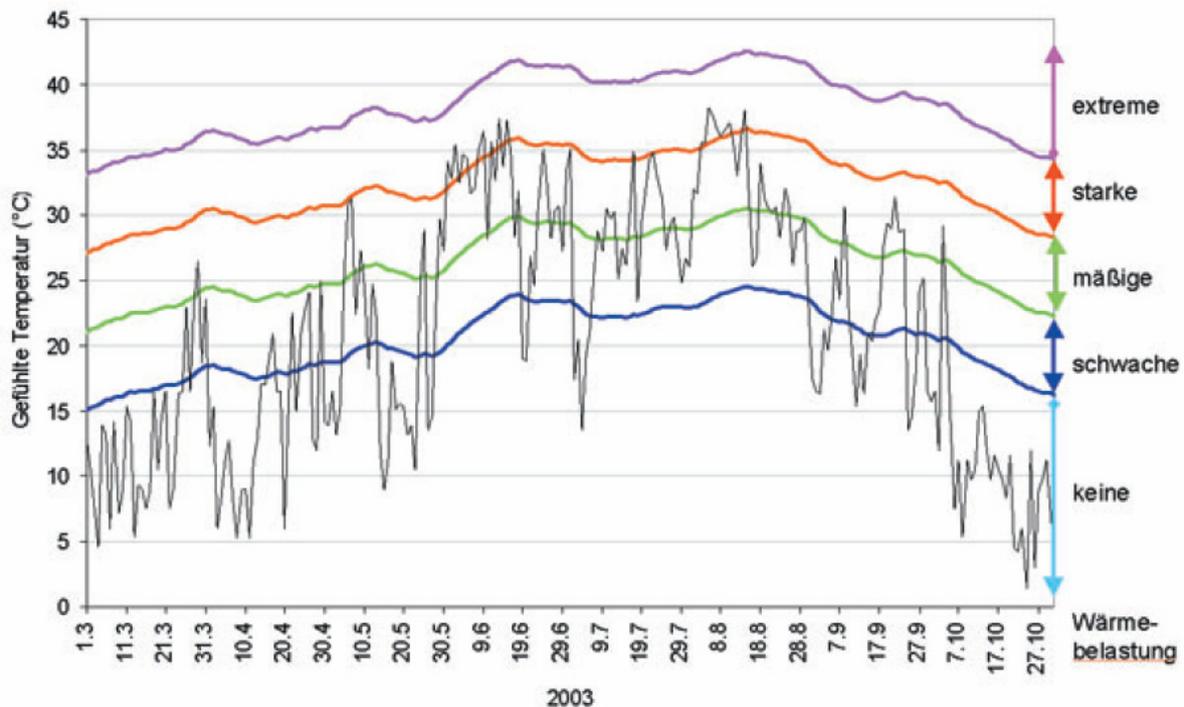


Abbildung 1: Verlauf der Gefühlten Temperatur im Sommer 2003 in Karlsruhe, Quelle: KOPPE et al. (2003)

¹ EARTH POLICY INSTITUTE WASHINGTON, zitiert in KOPPE et al. (2003).

² ZEBISCH et al (2005).

³ SCHÖNWIESE et al. (2003).

Abbildung 1 veranschaulicht den Verlauf der Gefühlten Temperatur während der warmen Jahreshälfte 2003 und die Zuordnung zu Klassen der Wärmebelastung für Karlsruhe. Karlsruhe gilt als einer der heißesten Orte Deutschlands.

Der Hitzesommer 2003 beinhaltete demnach lange Zeiträume mit mäßiger Hitzebelastung und zwei Perioden Anfang Juni und Anfang August mit starker Hitzebelastung. Dagegen kam es nie zu extremer Hitzebelastung. Diese Kategorien der Gefühlten Temperatur werden in Abschnitt 3.3 näher erläutert.

In England wurde im August 2003 die höchste jemals gemessene Temperatur von 38,5°C beobachtet, und Maximaltemperaturen von über 32°C traten an drei und später an fünf aufeinanderfolgenden Tagen auf. So kam es zu 2.091 Todesfällen in England und Wales. Stark betroffen war der Süden Englands, insbesondere London, wo 42 % mehr Sterbefälle auftraten, in der Altersgruppe der mindestens 75-Jährigen sogar 59 %. Außerdem war in London ein Anstieg der Notfallkrankeneinweisungen zu verzeichnen, in der Altersgruppe 75 Jahre und älter in Höhe von 16 %. Im übrigen England ließ sich dieser Effekt nicht in diesem Ausmaß beobachten.⁴

Besonders ausgeprägt waren die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 in Frankreich mit vermutlich 14.800 Opfern (Zunahme um 60 %), davon 80 % im Alter von über 75 Jahren.⁵ Der Anstieg der Sterblichkeit war jedoch auch in der Altersgruppe 45 bis 74 Jahre beträchtlich (30 %). In allen Altersklassen waren Frauen um 15 bis 20 % stärker betroffen als Männer.⁶ Die unterschiedlichen Auswirkungen in Deutschland und Frankreich sind dadurch erklärbar, dass zur Zeit der Hitzewelle in Deutschland eine geringe Luftfeuchtigkeit herrschte, während in Frankreich feuchte Luftmassen die Hitze noch belastender machten. Der hohe Wasserdampfgehalt der Luft in Frankreich behinderte die Wärmeregulation des Körpers durch Schwitzen und ließ die Gefühlte Temperatur zusätzlich ansteigen.⁷

Auch in anderen europäischen Ländern wurden vergleichbare Auswirkungen der Hitzewelle festgestellt. Man schätzt die Todesoperzahl in der Schweiz auf 975 (dies entspricht einem Anstieg um 6,9 %) und die der Niederlande auf 650.⁸ Menschen in südeuropäischen Ländern litten ebenso unter den extremen Sommertemperaturen. In den 21 Regionalhauptstädten

⁴ JOHNSON et al. (2005).

⁵ EEA (2004), S. 73 f.

⁶ VANDENTORREN und EMPEREUR-BISSONNET (2005).

⁷ KOPPE et al. (2003).

⁸ WHO EUROPE (2005); KOVATS und JENDRITZKY (2006).

Italiens stieg die Sterblichkeit um 3.134 (Anstieg um 15 %); zu 92 % waren dies 75-Jährige und Ältere. Die Opferzahl in ganz Italien beträgt wahrscheinlich 9.704.⁹

Die Zahl der durch Hitze verursachten Todesfälle in Portugal wird mit 1.854 beziffert (Anstieg um 40 %).¹⁰ Die erste Hitzewelle führte gleichermaßen zu weiblichen und männlichen Opfern, während die zweite Hitzewelle mehrheitlich Frauen betraf. Auch nahmen Notfalleinweisungen in Krankenhäuser über alle Altersgruppen hin um 11,6 % zu, Notfalleinweisungen in der Altersgruppe der über 75-Jährigen stiegen um 27,2 %.¹¹

3 Hitzeszenarien für Deutschland

Der Klimawandel wird weltweit zu einer Erwärmung der Erde führen. Dabei kommt es in den Modellrechnungen der Klimamodelle generell zu unterschiedlich stark ausgeprägten regionalen Mustern der Erwärmung. Schon heute sind stark steigende Temperaturen in den arktischen Zonen zu beobachten. Für Mitteleuropa mit seiner stark gegliederten geographischen Struktur können Szenarien der Temperaturentwicklung in diesem Jahrhundert mit den globalen Modellen nicht ausreichend detailliert berechnet werden. Dafür wurde das REMO-Klimamodell verwendet, das Berechnungen für die Entwicklung der Temperatur in geographisch hoch aufgelöster Form ermöglicht.

Grundlage für die Berechnung der regionalen Klimaentwicklung mit dem REMO-Klimamodell sind die Szenarien des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) für die Emissionen von Treibhausgasen in den nächsten 100 Jahren. Mit Hilfe dieser Szenarien werden mögliche Entwicklungspfade der Weltwirtschaft abgebildet.

Schließlich wird die regional hoch aufgelöst gerechnete Temperaturentwicklung mit Hilfe des Klima-Michel-Modells des Deutschen Wetterdienstes in Gefühlte Temperatur und danach in Hitzebelastung umgerechnet, um die tatsächliche Belastung der Menschen zu berücksichtigen. Dabei gehen neben der Temperatur auch andere Parameter wie Luftfeuchtigkeit, Wind und kurz- sowie langwellige Strahlungseinflüsse ein.

Diese Modellkomponenten werden benutzt, um die Hitzebelastung der Menschen für das Ende des 21. Jahrhunderts abzuschätzen. Das gleiche erfolgt auch für Kältestress, denn es ist durchaus möglich, dass im Zuge der klimabedingten Temperaturerhöhung auch die Zahl der

⁹ CONTI et al. (2005); KOVATS und JENDRITZKY (2006).

¹⁰ WHO EUROPE (2005).

¹¹ CALADO et al. (2005), die Zahl der Notfalleinweisungen war im Süden am höchsten.

Tage mit Kältestress zurückgeht. Ließe man diese Effekte außer Acht, so würden nur die negativen aber nicht die positiven Effekte des Klimawandels auf die Gesundheit und das Wohlbefinden untersucht. Die einzelnen Modellkomponenten und die für die Szenarienberechnung gemachten Annahmen sind in diesem Kapitel beschrieben.

3.1 Das REMO-Klimamodell

Das **R**egionale Klimamodell REMO¹² berechnet räumlich hoch aufgelöste Szenarien über Klimaänderungen. Das Modellgebiet umfasst Deutschland und den Alpenraum mit insgesamt 12.875 Gitterpunkten, die jeweils einer Fläche von 10 mal 10 Quadratkilometern entsprechen. Mit diesem regionalen Klimamodell, das vom Max-Planck-Institut (MPI) für Meteorologie in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ, beide in Hamburg) betrieben wird, kann geographisch sehr detailliert die Entwicklung des Klimas in Deutschland beschrieben werden. Dabei werden als exogene Verursacher des Klimawandels die weltweiten Emissionen von Treibhausgasen benutzt. Diese Emissionsszenarien beruhen auf den IPCC-Klimaszenarien A1B, A2 und B1, die unten näher beschrieben sind deren Daten jeweils für 2001 bis 2100 abrufbar sind. Als Vergleichsgröße dient das bisherige Klima, das in einem Kontrolllauf (CTL) des REMO-Klimamodells berechnet wurde und das als Randbedingung die tatsächlich gemessene Konzentration von Treibhausgasen im Zeitraum 1950 bis 2000 enthält.

Die REMO-Modelldaten umfassen ca. 100 Variablen. Die Werte liegen stündlich vor, so dass sich im unkomprimierten ASCII-Format pro Element und Experiment eine Datenmenge von 46,8 Gigabyte ergibt. Die REMO-Klimamodelldaten kann man nach Anmeldung beim Umweltbundesamt mittels eines Internet-Browsers abrufen¹³.

3.2 IPCC-Klimaszenarien

Die Entwicklung der Emissionen von Treibhausgas für die nächsten 100 Jahre kann nicht genau prognostiziert werden. Dies hängt damit zusammen, dass weder die zukünftige Nachfrage nach fossilen Brennstoffen noch das Angebot an fossiler Energie genau vorhersagbar sind. Darüber hinaus ist auch unbekannt, wie sich die Emissionen verursacht

¹² JACOB (2001).

¹³ <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Index.jsp>.

durch Landnutzungsänderungen oder die Emissionen, die durch schon eingetretene Erwärmung zum Beispiel aus Permafrostböden auftreten, entwickeln werden. Schließlich können die Emissionen in beträchtlichem Maße von staatlichen Klimapolitiken und von der Technologieentwicklung beeinflusst werden. Die Entscheidungen darüber werden aber erst in der Zukunft getroffen. Aus diesen Gründen ist deshalb auch die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre bis zum Ende des Jahrhunderts unbekannt.

Daher wurden vom IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2001)) verschiedene plausible Szenarien aufgestellt, die auf unterschiedlichen Annahmen über wichtige Parameter basieren, unter anderem der Bevölkerungsentwicklung, den wirtschaftlichen Aktivitäten, aber auch den Energie- und Klimapolitiken.

Abbildung 2 veranschaulicht die vier großen Szenarien bezüglich ihrer Balance zwischen rein wirtschaftlicher und mehr ökologisch orientierter Entwicklung sowie einer mehr globalisierten statt einer eher regional ausgerichteten Wirtschaftsstruktur. Dabei handelt es sich um verschiedene Kombinationen der wirtschaftlichen Entwicklung (mehr regional gegliederte Welt mit wenig Handel [1] oder mehr globalisierte Welt mit intensivem Handel [2]) und der Art des Wirtschaftens (ökonomisch dominiert [A] oder mehr umweltgerecht [B]). Die Szenarien erfassen die Entwicklung der Emissionen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O). Die bedeutendsten klimarelevanten Emissionen verursacht das Kohlendioxid, das bei der Verbrennung fossiler Energieträger entsteht.

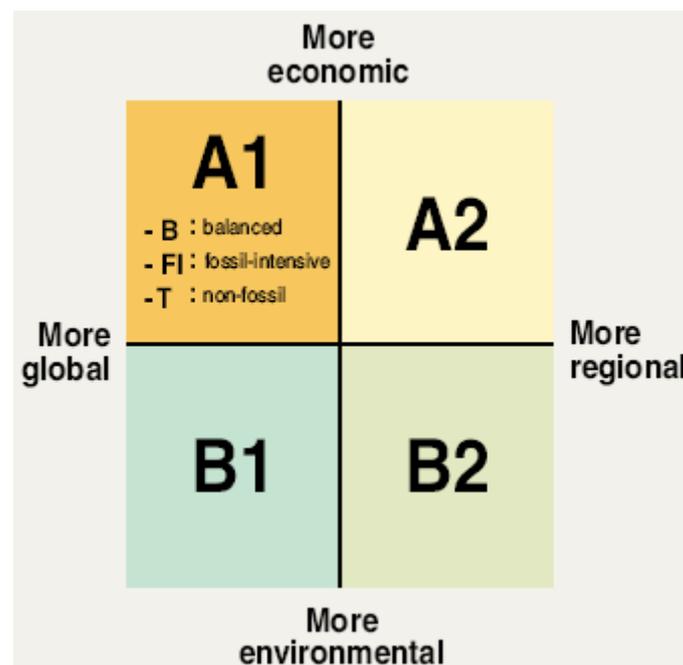


Abbildung 2: Übersicht der IPCC-Szenarien, Quelle: IPCC (2001)

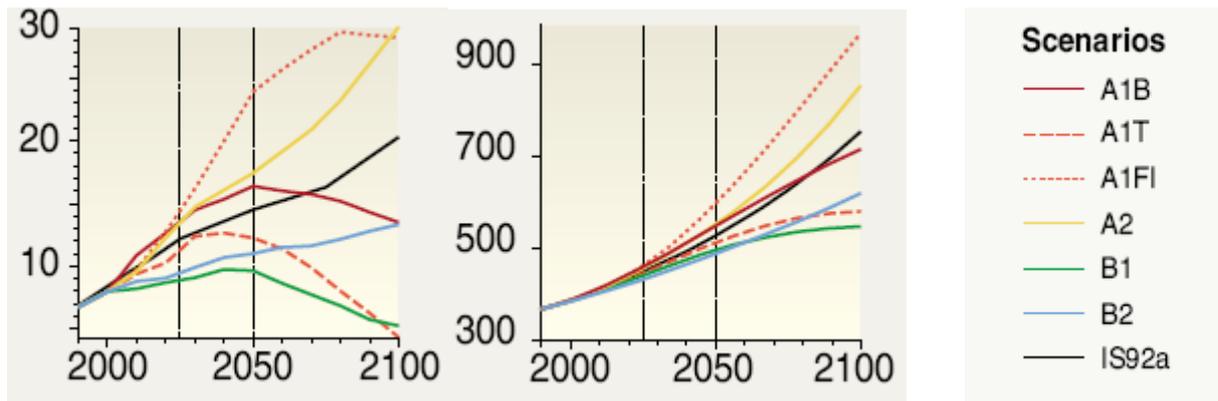


Abbildung 3: Menschenverursachte Kohlendioxidemissionen in Gt Kohlenstoff pro Jahr (links) und Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre in ppm (rechts) gemäß verschiedener Szenarien, Quelle: IPCC (2001)

Die verschiedenen Szenarien repräsentieren unterschiedliche Pfade der Emissionsentwicklung. So steigen im Szenario A2 die durch die Menschheit verursachten Kohlendioxidemissionen von 7 Gigatonnen im Jahr 2000 auf 17 Gigatonnen im Jahr 2050 und 30 Gigatonnen im Jahr 2100 an (Abbildung 3, links). Dies entspricht einer Trendfortschreibung oder einem „weiter wie bisher“ (business as usual) bei der Entwicklung der Emissionen. Im Szenario B1 folgt nach einem Anstieg auf 9 Gigatonnen im Jahr 2050 ein Rückgang auf 6 Gigatonnen im Jahr 2100. Dieser Entwicklungspfad kann nur mit radikalen Umstellungen in der Wirtschaft mit dem Primat des Klimaschutzes erreicht werden. Zwischen diesen beiden Annahmen liegt das Szenario A1B, das einen gleichmäßig über alle Alternativen der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs verteilten technischen Fortschritt annimmt. In diesem Szenario stellt sich nach einer Emissionsmenge von 16 Gigatonnen im Jahr 2050 eine leichte Abnahme auf 13 Gigatonnen im Jahr 2100 ein. Aus heutiger Sicht kann dies als das „Machbare“ eingeschätzt werden.

3.3 Das Klima-Michel-Modell

Die mit dem Klimamodell REMO berechneten meteorologischen Größen sind Input für das Klima-Michel-Modell des Deutschen Wetterdienstes.¹⁴ Dieses vollständige Wärmebilanzmodell des Menschen berechnet unter Berücksichtigung aller für das Wärmeempfinden relevanten Größen (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlungsflüsse) die physiologisch relevante Größe „Gefühlte Temperatur“. Aus

¹⁴ JENDRITZKY et al. (1990).

dieser abstrakten Größe wird als anschaulicher Wert die Anzahl der Tage pro Jahr mit Hitzebelastung abgeleitet.

Das nachfolgend angewandte Klima-Michel-Modell stellt den thermophysiologisch bewährten Standard des Deutschen Wetterdienstes zur Bewertung der atmosphärischen Bedingungen der Wärmeabgabe des Menschen dar.¹⁵ Es berücksichtigt, dass für das tatsächliche thermische Empfinden neben der Lufttemperatur ebenfalls die Strahlung (Sonne/Schatten), die Luftfeuchtigkeit (trocken/schwül) und die Windgeschwindigkeit (abkühlende Wirkung) eine wichtige Rolle spielen. Des Weiteren gehen die Bekleidung (Sommer-/Winterbekleidung) und die körperliche Aktivität (Stehen/Laufen) in die Berechnungen ein.¹⁶ Somit können die komplexen Bedingungen der Wärmeabgabe im Freien bewertet werden.

Meteorologische Eingangsgrößen in das Klima-Michel-Modell sind in der Version für Wettervorhersage- oder Klimamodelle die Elemente Lufttemperatur, Taupunkttemperatur, Windgeschwindigkeit, Gesamtbedeckungsgrad mit Wolken sowie Bedeckungsgrad mit tiefen, mittelhohen und hohen Wolken. Aus den Wolkengruppen, den geographischen Koordinaten und dem Datum werden die kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse parametrisiert. Über die mittlere Strahlungstemperatur werden diese auf die Geometrie eines aufrecht stehenden Menschen bezogen.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde die innere Wärmeproduktion von 135 Watt pro Quadratmeter Körperoberfläche angenommen, die entsteht, wenn der Modellmensch mit einer Geschwindigkeit von vier Kilometern pro Stunde geht (Standardbedingung). Bei auftretendem thermischem Diskomfort versucht der Klima-Michel selbständig durch geeignete Variation der Bekleidung im Bereich von Sommer- bis Winterbekleidung (Isolationswert der Bekleidung 0,5 bis 1,75 clo = Bekleidungseinheit) thermischen Komfort zu erreichen. Ergebnis ist die für das menschliche Wärmeempfinden relevante Größe „Gefühlte Temperatur“, welche die Temperatur einer Standardumgebung (Windstille, relative Luftfeuchtigkeit = 50 %, mittlere Strahlungstemperatur = aktuelle Lufttemperatur) angibt, bei der sich die gleiche Wärmebilanz einstellt.¹⁷

Für die praktische Anwendung ist es sinnvoll, die abstrakte Größe Gefühlte Temperatur in ein bestimmtes thermisches Empfinden (kalt, komfortabel, warm, heiß) bzw. in die entsprechende Anforderung an das Thermoregulationssystem des Körpers (Kältestress, thermischer Komfort

¹⁵ VDI (1998).

¹⁶ Das Modell basiert auf der Wärmebilanzgleichung für stationäre Bedingungen in Innenräumen nach FANGER (1972), die später durch einen Ansatz von GAGGE et al. (1986) erweitert wurde, um den latenten Wärmefluss besser beschreiben zu können. Das Strahlungsmodell ist in VDI (1994) dokumentiert.

¹⁷ STAIGER et al. (1997), JENDRITZKY et al. (2000).

oder Wärmebelastung) umzusetzen. Tabelle 1 enthält die Zuordnung der entsprechenden Temperaturintervalle.

Gefühlte Temperatur in °C	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Beanspruchung
$GT \leq -39$	sehr kalt	extremer Kältestress
$-39 < GT \leq -26$	kalt	starker Kältestress
$-26 < GT \leq -13$	kühl	mäßiger Kältestress
$-13 < GT \leq 0$	leicht kühl	schwacher Kältestress
$0 < GT < 20$	behaglich	Komfort möglich
$20 \leq GT < 26$	leicht warm	schwache Wärmebelastung
$26 \leq GT < 32$	warm	mäßige Wärmebelastung
$32 \leq GT < 38$	heiß	starke Wärmebelastung
$38 \leq GT$	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Tabelle 1: Gefühlte Temperatur, entsprechendes thermisches Empfinden und thermische Beanspruchung nach JENDRITZKY et al. (2000)

Um den Effekt der kurzfristigen Akklimatisierung der Menschen zu berücksichtigen, werden die 6- und 12-Uhr-Werte der Gefühlten Temperatur mit einem Filter der Länge 41 Tage geglättet (Abbildung 4). Je weiter ein Messwert zurückliegt, desto geringer ist sein Gewicht.

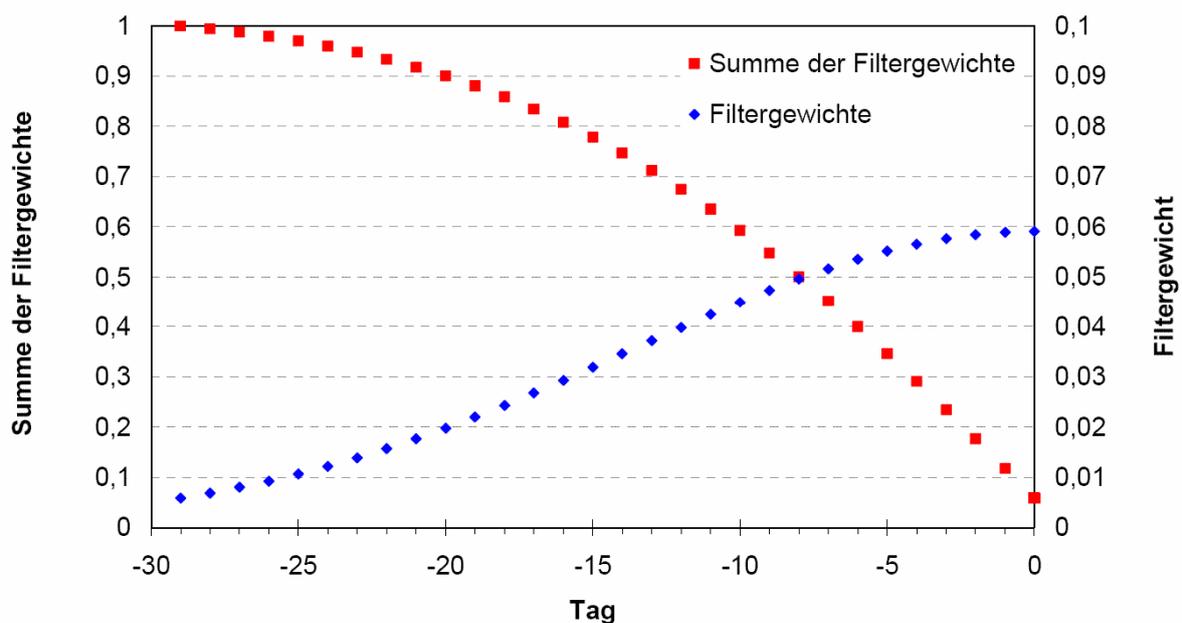


Abbildung 4: Filtergewichte des halben Gaußfilters und Summe der Filtergewichte, Quelle: KOPPE 2005

Mit Hilfe der geglätteten Werte der Gefühlten Temperatur werden nun die starren Schwellen der Behaglichkeitsklassen modifiziert. Dabei nimmt man eine Kombination aus starren Schwellen (2/3-Wichtung) und einem variablen Anteils (1/3-Wichtung) vor.¹⁸ Ergebnis sind die in Abbildung 5 dargestellten modifizierten Schwellen, welche die verhaltensgesteuerte und physiologische Anpassung an Hitzebelastung oder Kältereiz nachbilden sollen. Letztendlich wird das Mittel der 12-Uhr-Werte der Gefühlten Temperatur des aktuellen Tages und des Vortages mit den modifizierten Behaglichkeitsklassen verglichen und die thermische Behaglichkeitsstufe (Kältereiz, Komfort oder Wärmebelastung) bestimmt. Dieses Verfahren ist auch Bestandteil des operationellen Hitzewarnsystems des Deutschen Wetterdienstes, das bei entsprechender Wetterlage die betreffenden Landkreise vor Wärmebelastung warnt.¹⁹

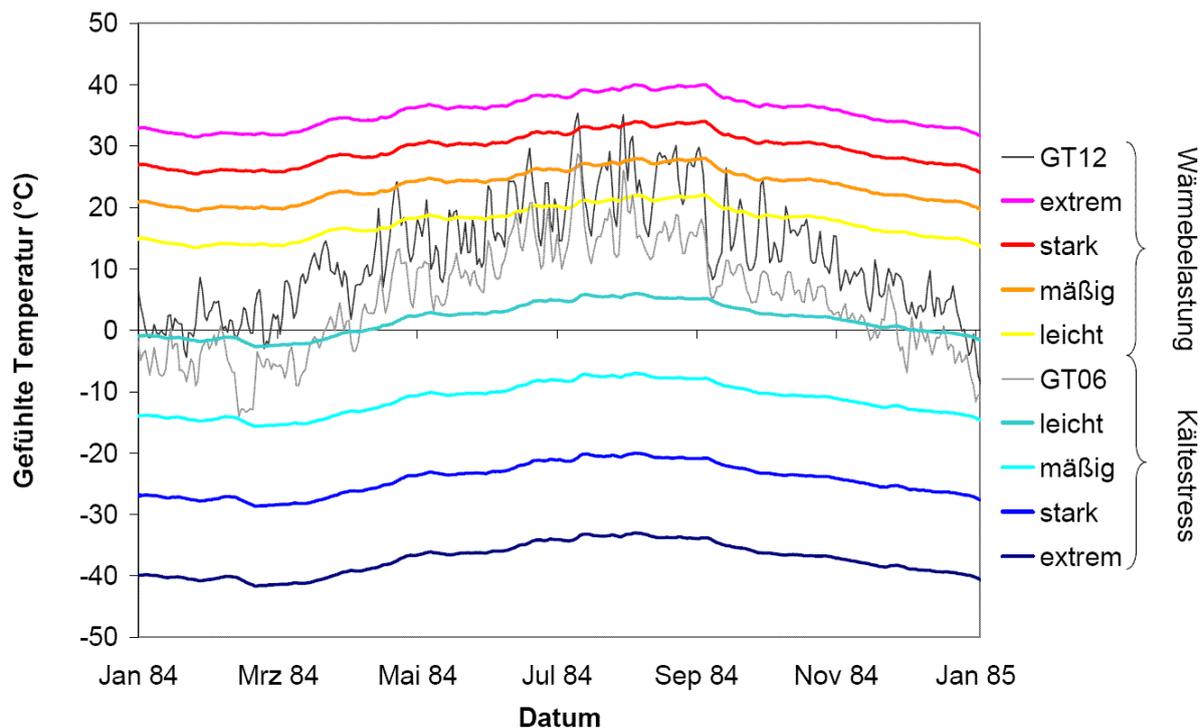


Abbildung 5: Verlauf der 6- und 12-Uhr-Werte der Gefühlten Temperatur (GT) und der angepassten Schwellenwerte für die thermischen Belastungsstufen in Baden-Württemberg, Quelle: KOPPE 2005

3.4 Prognose der Hitzebelastung für den Zeitraum 2071 bis 2100

Die mit Hilfe der REMO-Modelldaten prognostizierten Gefühlten Temperaturen werden nun in Form der durchschnittlichen Anzahl an Tagen mit Wärmebelastung pro Jahr dargestellt.

¹⁸ KOPPE (2005).

¹⁹ <http://www.dwd.de/de/WundK/Warnungen/Hitzewarnung/Kriterien.htm>.

Dies ermöglicht im Vergleich zur Betrachtung von Zeitreihen der zahlreichen Klimavariablen eine aussagekräftige und überschaubare Einschätzung der zukünftigen Temperaturverhältnisse.

Für die beiden 30-jährigen Vergleichszeiträume 1971 bis 2000 (Kontrolllauf CTL) und 2071 bis 2100 (Experimente mit den IPCC-Szenarien A1B, A2 und B1) wurde die mittlere Anzahl der Tage pro Jahr mit den jeweiligen Behaglichkeitsstufen berechnet. Die zusätzliche Anzahl an Hitzetagen ergibt sich aus der Differenz von Prognose und Kontrolllauf. Um die zukünftige Gesamtzahl der Hitzetage zu bestimmen, addiert man diese Differenz zu den realen Beobachtungswerten aus 1971 bis 2000 (Experiment B1, A1B oder A2 minus Kontrolllauf plus Beobachtungswert).

Die folgenden Kartenabbildungen veranschaulichen die zukünftige zusätzliche Anzahl an Hitzetagen in 10-mal-10-Quadratkilometerauflösung für die IPCC-Szenarien B1 mit geringen zukünftigen Emissionen, A1B mit mittlerer Emissionsentwicklung und A2 mit hohen Emissionen.

Laut dem Kontrolllauf CTL treten an den Küsten und in den höheren Lagen der Gebirge bisher weniger als 2 Tage mit Hitzebelastung auf (Abbildung 6). Im Oberrheingraben und an der unteren Donau werden Werte um 25 Tage erreicht. Deutlich zeigt sich der Stadteffekt, unter anderem im Bereich von Berlin und Hamburg, die als Gebiete mit erhöhter Hitzebelastung gegenüber dem Umland hervortreten.

Im Laufe des 21. Jahrhunderts (2071 bis 2100) zeigt sich in allen drei Klimamodellexperimenten (IPCC-Szenarien B1, A1B und A2) eine deutliche Zunahme der Tage mit starker oder extremer Hitzebelastung gegenüber dem Kontrolllauf (1971 bis 2000) um das Zwei- bis Fünffache. Grundsätzlich nimmt die Anzahl der zusätzlichen Hitzetage von Nord nach Süd kontinuierlich zu. Im Experiment B1 (2071 bis 2100) steigt die Anzahl an Tagen mit Hitzebelastung pro Jahr um 1 an den Küsten und bis zu 18 am Bodensee (Abbildung 7). Das Experiment A1B ergibt jährlich gegenüber dem Kontrolllauf einen zusätzlichen Tag mit Hitzebelastung an den Küsten und bis zu 25 Tage am Bodensee (Abbildung 8). Die Ergebnisse des Experiments A2 ähneln jenen von A1B weitgehend (Abbildung 9). Der Süden Deutschlands muss in allen Experimenten mit besonders häufiger Hitzebelastung rechnen. Auch in der Mitte Deutschlands ist die Zunahme der Hitzebelastung um 5 bis 15 Tage pro Jahr beträchtlich. Damit verstärkt sich der regionale klimatische Gegensatz in Deutschland.

Deutlich zeigt sich der Stadteffekt (Hitzeinseleffekt), unter anderem im Bereich von Berlin und Hamburg, die als Gebiete mit erhöhter Hitzebelastung gegenüber dem Umland hervortreten.

Mittl. Anz. Hitzetage Exp. CTL 1971–2000

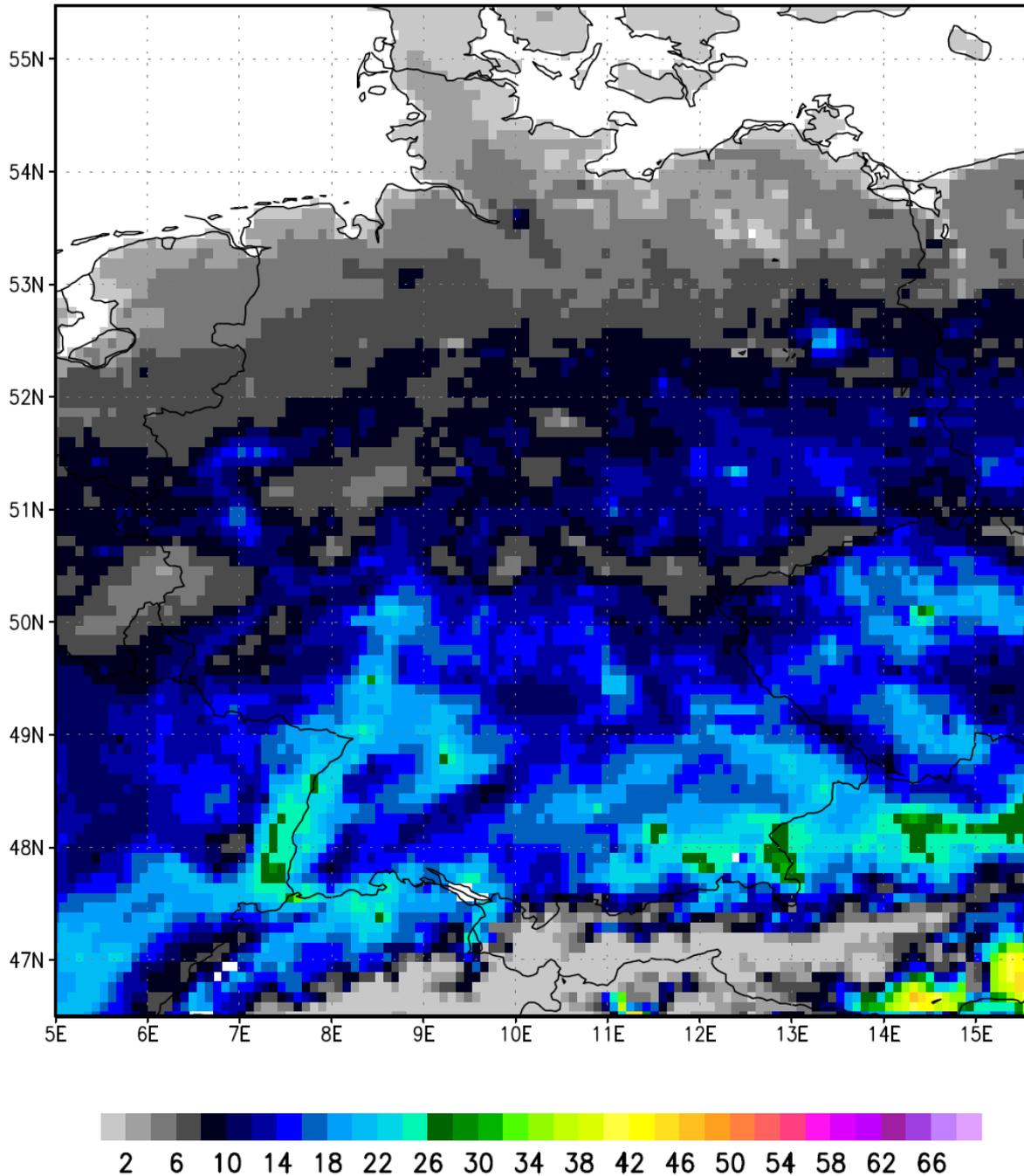


Abbildung 6: Mittlere Zahl der Tage pro Jahr mit Hitzebelastung (starke und extreme Wärmebelastung) laut dem REMO-Experiment Kontrolllauf CTL (1971-2000)

Diff. Anz. Hitzetage Exp. B1 minus CTL

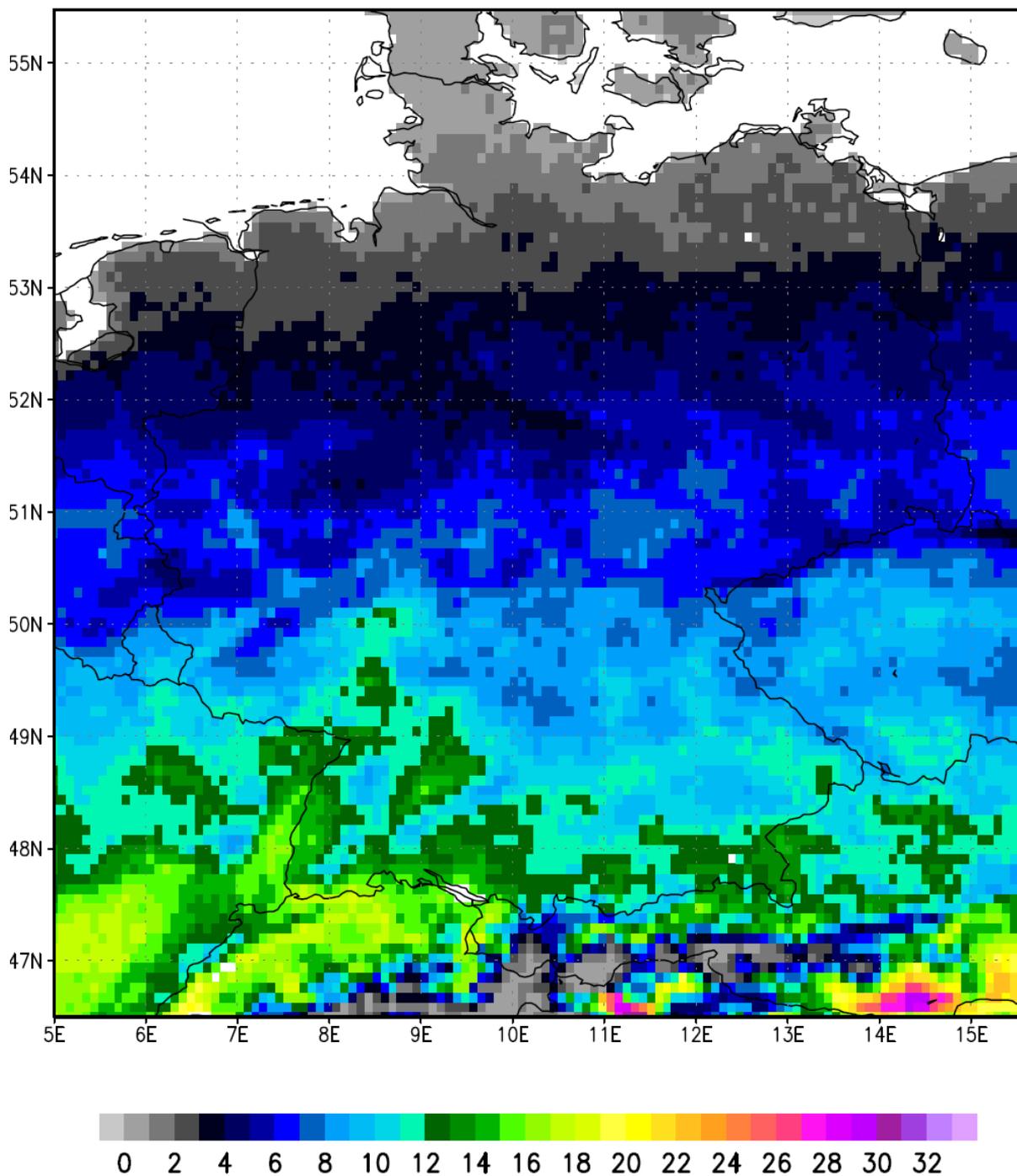


Abbildung 7: Differenz der Tage pro Jahr mit Hitzebelastung (starke und extreme Wärmebelastung) des REMO-Experiments B1 (2071-2100) minus Kontrolllauf (1971-2000)

Diff. Anz. Hitzetage Exp. A1B minus CTL

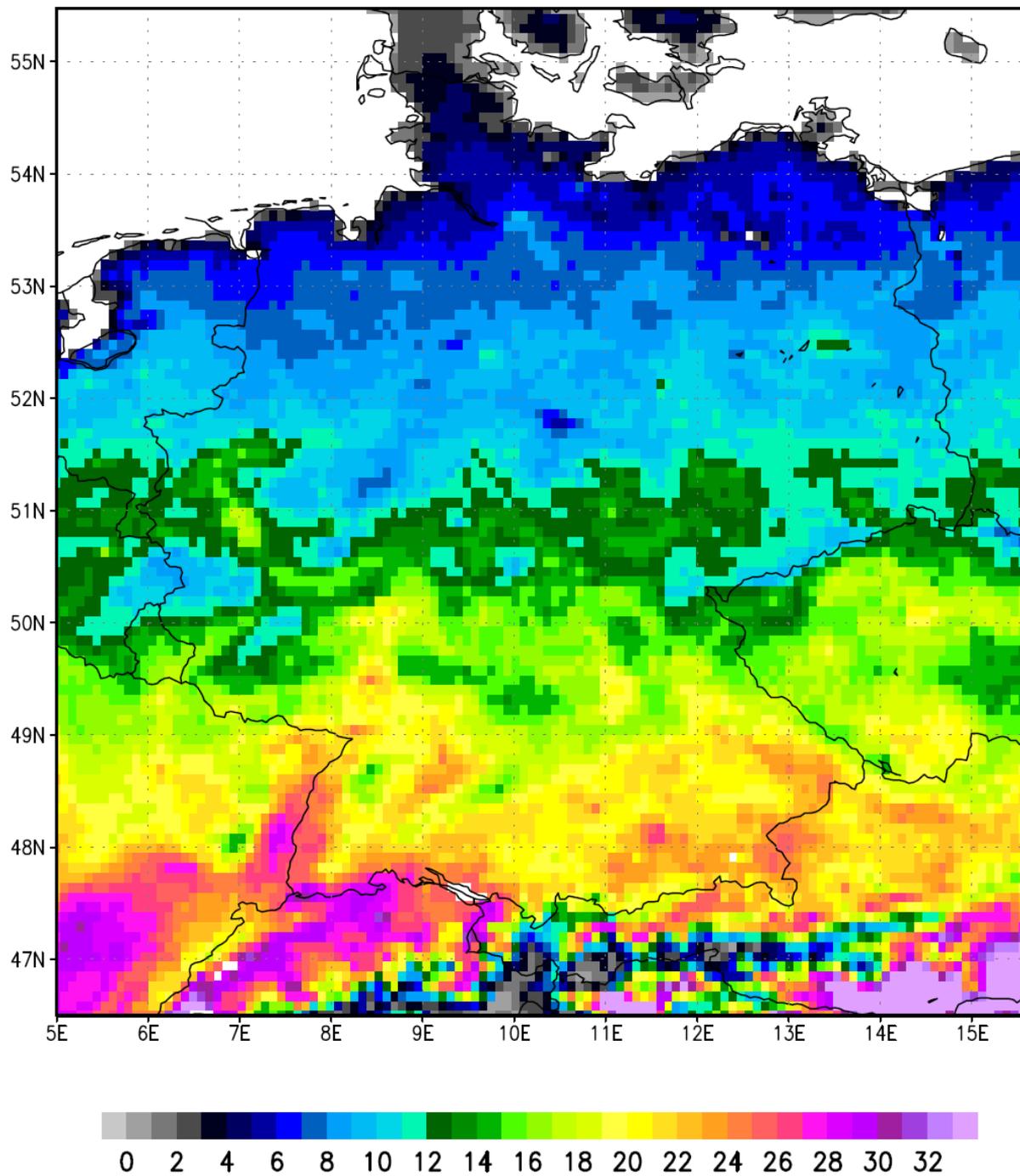


Abbildung 8: Differenz der Tage pro Jahr mit Hitzebelastung (starke und extreme Wärmebelastung) des REMO-Experiments A1B (2071-2100) minus Kontrolllauf (1971-2000)

Diff. Anz. Hitzetage Exp. A2 minus CTL

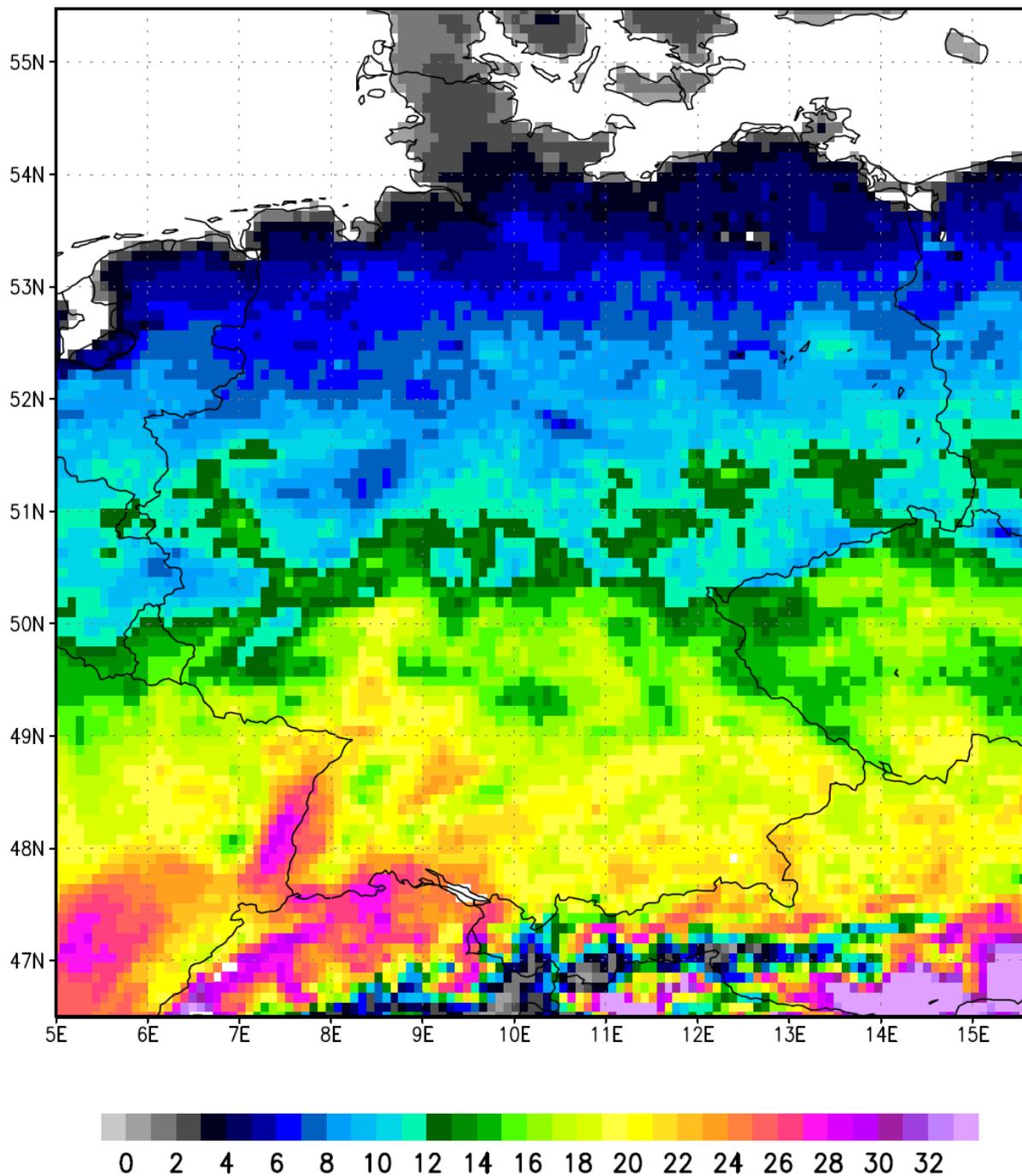


Abbildung 9: Differenz der Tage pro Jahr mit Hitzebelastung (starke und extreme Wärmebelastung) des REMO-Experiments A2 (2071-2100) minus Kontrolllauf (1971-2000)

Neben der flächenhaften Darstellung wurden für die einzelnen Bundesländer Zeitreihen über die Entwicklung der Anzahl an Hitzetagen pro Jahr berechnet (Tabelle 2). Dies war, falls auch Beobachtungswerte einer Wetterstation vorliegen, die Landeshauptstadt, ansonsten eine

möglichst repräsentative Station. Zusätzlich in die Tabelle aufgenommen wurde die Station Mannheim, die bei den Beobachtungswerten die höchsten Werte der Anzahl der Hitzetage aufweist.

Nach der Angabe des Messpunktes und des Bundeslandes enthalten die Spalten in Tabelle 2 den Längen- und Breitengrad des Messpunktes, die zur Kontrolle für 1971 bis 2000 berechneten Werte (CTL) und deren Differenz. Die Zunahme an Hitzetagen in 2071 bis 2100 gegenüber 1971 bis 2000 wird danach als Differenz aus den Prognosewerten des jeweiligen IPCC-Szenarios und den Kontrolllaufwerten (CTL) bestimmt.

Es ist eine deutliche Zunahme der Hitzebelastung von Nord nach Süd zu verzeichnen. In Schleswig ergeben sich zukünftig je nach Experiment bis zu drei zusätzliche Hitzetage pro Jahr, in Mannheim 13 bis 23 zusätzliche heiße Tage. Der überraschend starke Unterschied zwischen Hamburg und Schwerin beruht auf dem im Modell enthaltenen Stadteffekt von Hamburg (Hitzeinsel).

Station	Bundesland	Breite Grad	Länge Grad	CTL	Differenz CTL - OBS	Differenz		
						B1 - CTL	A1B - CTL	A2 - CTL
Schleswig	Schleswig-Holstein	54,5	9,6	1,6	0,9	0,7	3,2	2,4
Hamburg	Hamburg	53,6	10,0	11,0	9,1	2,6	9,2	6,4
Schwerin	Mecklenburg-Vorpommern	53,6	11,4	3,1	0,9	1,9	5,6	4,1
Bremen	Bremen	53,0	8,8	8,3	6,0	2,9	8,3	7,0
Hannover	Niedersachsen	52,5	9,7	9,3	6,8	4,8	9,6	9,2
Magdeburg	Sachsen-Anhalt	52,1	11,6	14,7	9,7	5,7	12,2	11,1
Potsdam	Berlin/Brandenburg	52,4	13,1	7,6	3,7	5,1	9,6	8,8
Düsseldorf	Nordrhein-Westfalen	51,3	6,8	13,7	10,6	7,3	15,8	13,1
Leipzig	Sachsen	51,4	12,2	13,1	9,6	6,8	12,4	11,8
Erfurt	Thüringen	51,0	11,0	13,5	11,1	7,5	14,2	11,9
Trier	Rheinland-Pfalz	49,8	6,7	12,4	7,8	10,1	16,2	15,6
Frankfurt/M.	Hessen	50,0	8,6	18,9	14,9	12,0	19,2	19,5
Saarbrücken	Saarland	49,2	7,1	13,2	11,0	10,7	16,8	17,4
Mannheim	Baden-Württemberg	49,5	8,6	23,5	15,2	13,1	22,9	21,3
Stuttgart	Baden-Württemberg	48,7	9,2	23,1	19,8	13,8	22,9	22,4
Regensburg	Bayern	49,0	12,1	21,2	16,1	11,8	21,9	19,9

Tabelle 2: Zusammenstellung der systematischen Modelldifferenz Kontrolllauf minus Beobachtungen (CTL-OBS, 1971-2000) sowie der Änderung der Hitzebelastung 2071-2100 in den Experimenten B1, A1B und A2 gegenüber den Werten 1971-2000 des Kontrolllaufs

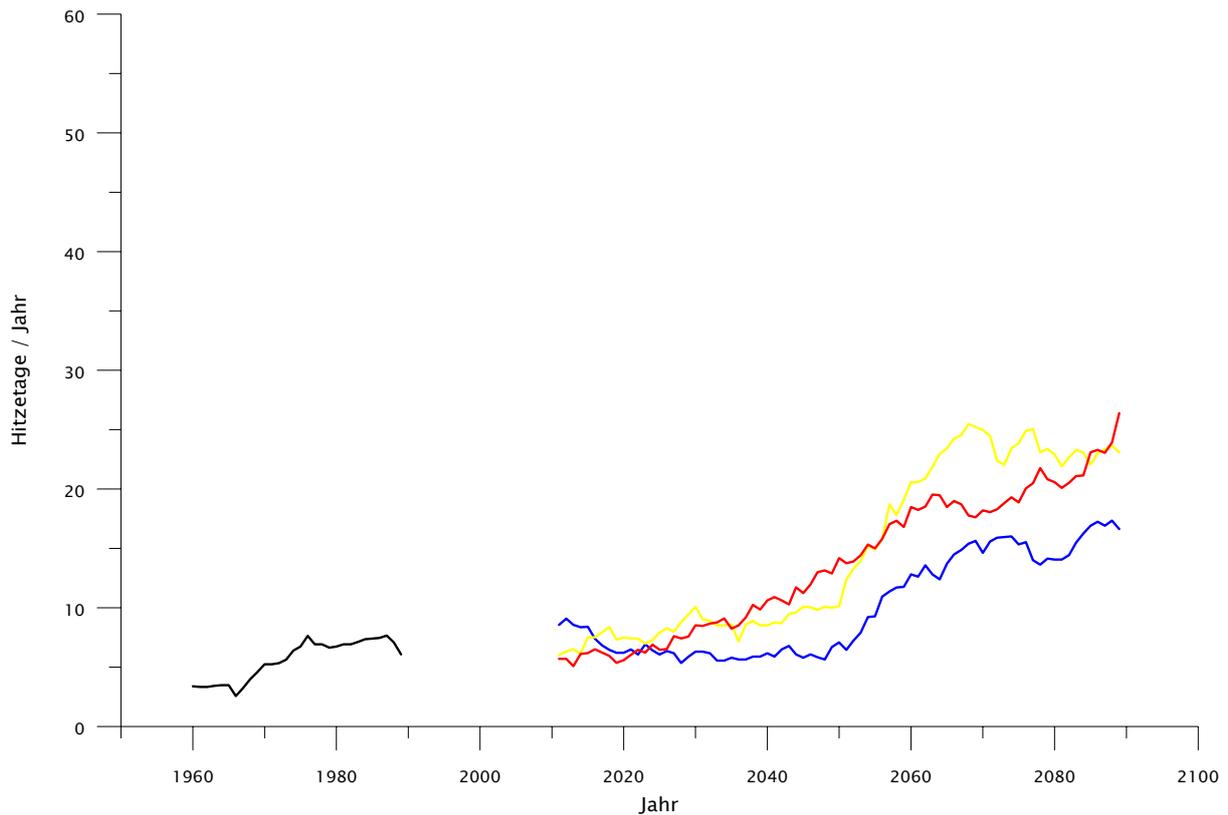


Abbildung 10: 21-jährig übergreifend gemittelter zeitlicher Verlauf der Zunahme an Tagen mit starker oder extremer Hitzebelastung im Vergleich zum Kontrolllauf am Gitterpunkt Frankfurt am Main gemäß den REMO-Experimenten CTL (schwarze Linie) sowie B1 (blau), A1B (gelb) und A2 (rot)

Für den Gitterpunkt Frankfurt am Main enthält Abbildung 10 den zeitlichen Verlauf der Hitzebelastung im Kontrolllauf und den drei Zukunftsexperimenten. Es zeigt sich bereits im Kontrolllauf ein leichter Anstieg von drei auf etwa sieben Tage mit starker oder extremer Hitze. Auf diesem Niveau verbleiben die Werte in den drei anderen Experimenten bis etwa 2040. Danach setzt bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ein deutlicher Anstieg auf 15 Tage im Experiment B1 und etwa 22 Tage in den Experimenten A1B und A2 ein.

Überraschend ist der Befund, dass die Werte im Experiment A1B zeitweise über denen im Experiment A2 liegen. Man kann dies durch natürliche Klimaschwankungen erklären, die den menschenverursachten Verlauf der Kohlendioxidemissionen überlagern (zum Beispiel die zeitweise Zunahme von Südwest-Wetterlagen im Experiment A1B).

3.5 Prognose des Kältestress für den Zeitraum 2071 bis 2100

Im Zuge des Klimawandels ist auch mit einem Temperaturanstieg im Winter zu rechnen. Da auch starke Kälte negative Auswirkungen auf den menschlichen Organismus hat, könnten

wärmere Winter einen positiven Effekt auf die Gesundheit haben. Deshalb wird analog zur Prognose zusätzlicher Hitzetage mit Hilfe der REMO-Daten der zu erwartende Rückgang an Tagen mit Kältestress berechnet. Wie im Fall der Hitzebelastung wurde für die beiden 30-jährigen Vergleichszeiträume 1971 bis 2000 (Kontrolllauf) und 2071 bis 2100 (Experimente A1B, A2 und B1) die mittlere Anzahl der Tage pro Jahr mit Kältestress (schwach, mäßig, stark und extrem) berechnet. Die Zusammenfassung der Temperaturklassen von schwach bis extrem ist notwendig, da die historisch beobachteten und im Kontrolllauf erzeugten Extremwerte in den Temperaturklassen mäßig, stark und extrem praktisch nicht vorkommen. Damit ist eine Vorhersage des Rückgangs der wirklich extremen Kältetage auf der Basis der heutigen Daten nicht möglich. Die gewählte Zusammenfassung der Temperaturklassen mäßig bis extrem zu einer Kategorie „Kältestress“ wird deshalb eine eher hohe Zahl an Tagen ausweisen, von denen nur eine geringe Zahl wirklich große Kälte darstellt. Die Berechnungen haben deshalb wahrscheinlich die Tendenz, das Niveau an Kältestress zu überschätzen und den Rückgang starker und extremer Kältetage zu unterschätzen.

Als typische räumliche Verteilung des Kältestress kann man ein geringes Vorkommen im Südwesten Deutschlands feststellen, das gegen Nordosten hin ansteigt. Deutliche Auswirkung hat die Höhenlage, so dass die in absoluten Zahlen meisten Tage mit Kältestress in den höheren Lagen der Alpen auftreten. Im Kontrolllauf CTL (1971 bis 2000) liegt die Spanne der Anzahl der Tage mit Kältestress zwischen etwa 5 Tagen im Oberrheingraben und 60 Tagen in Vorpommern pro Jahr (Abbildung 11). Die höheren Lagen der Mittelgebirge sowie die Alpen weisen noch höhere Werte auf. Die Differenz der Klimamodellexperimente B1, A1B oder A2 und dem Kontrolllauf ergibt jeweils eine zukünftige geringe Abnahme des Kältestress im Bereich des Oberrheins sowie eine deutliche Reduktion im Nordosten Deutschlands sowie im Bergland.

So wird in Szenario B1 für 2071 bis 2100 der Rückgang der Tage mit Kältestress pro Jahr nur 2 Tage am Oberrhein ausmachen, aber bis zu 30 im Nordosten. Außerdem weisen einige Alpenregionen südlich von Deutschland einen starken Rückgang der kalten Tage auf (Abbildung 12). In der Mitte Deutschlands liegt der Rückgang der Kälte im Bereich von 10 bis 20 Tagen.

Die Klimaexperimente A1B und A2 gehen von höheren zukünftigen Emissionen und somit einer stärkeren Erwärmung aus. Daher reicht die Abnahme an Kältetagen von etwa 2 Tagen jährlich bis zu 44 Tagen im Nordosten Deutschlands und an einzelnen Orten in den Alpen (Abbildung 13 und Abbildung 14).

Mittl. Anz. Tage KS Exp. CTL 1971–2000

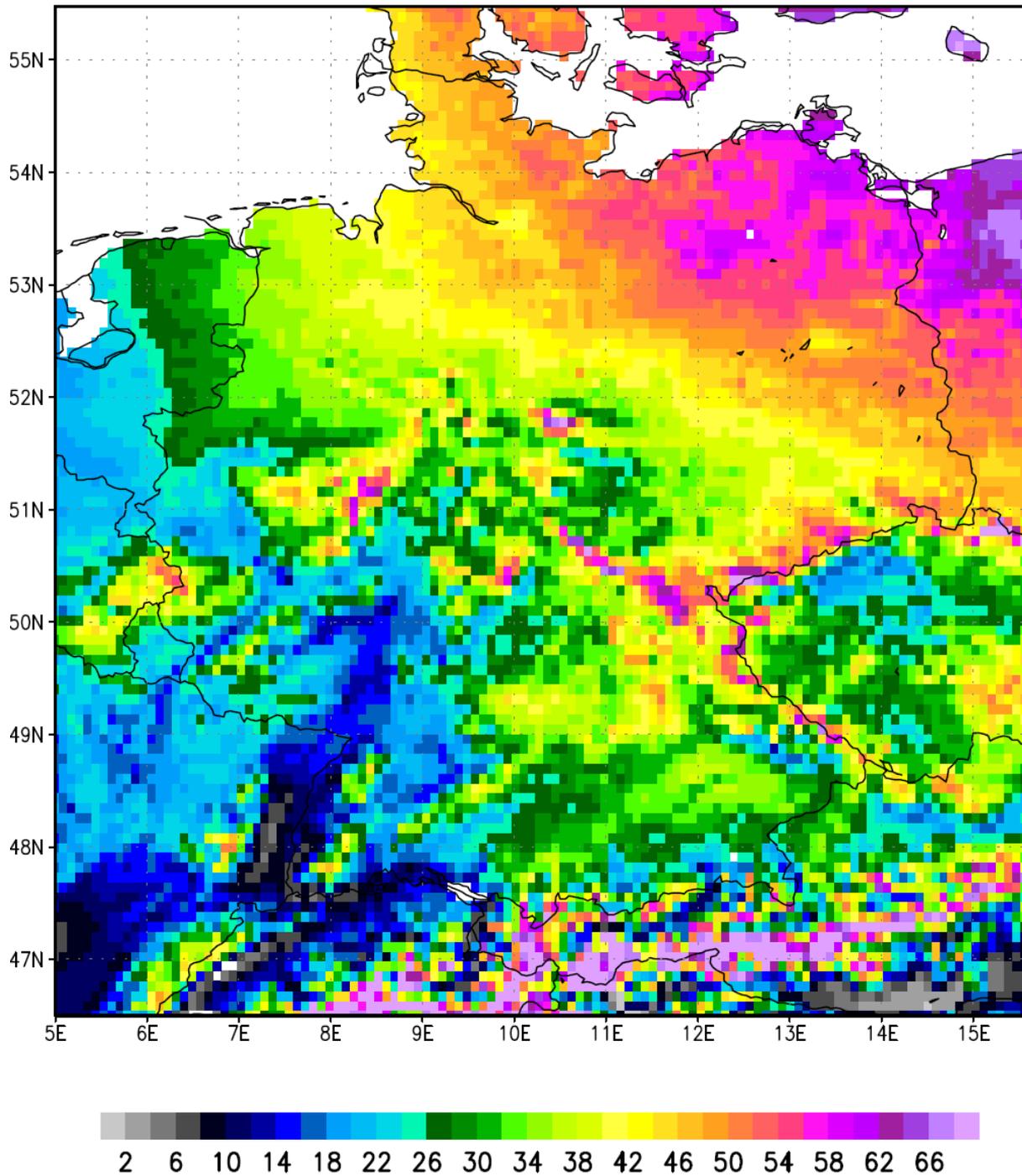


Abbildung 11: Mittlere Zahl der Tage pro Jahr mit Kältestress (schwach, mäßig, stark und extrem) nach dem REMO-Experiment Kontrolllauf CTL (1971-2000)

Diff. Anz. Tage KS Exp. CTL minus B1

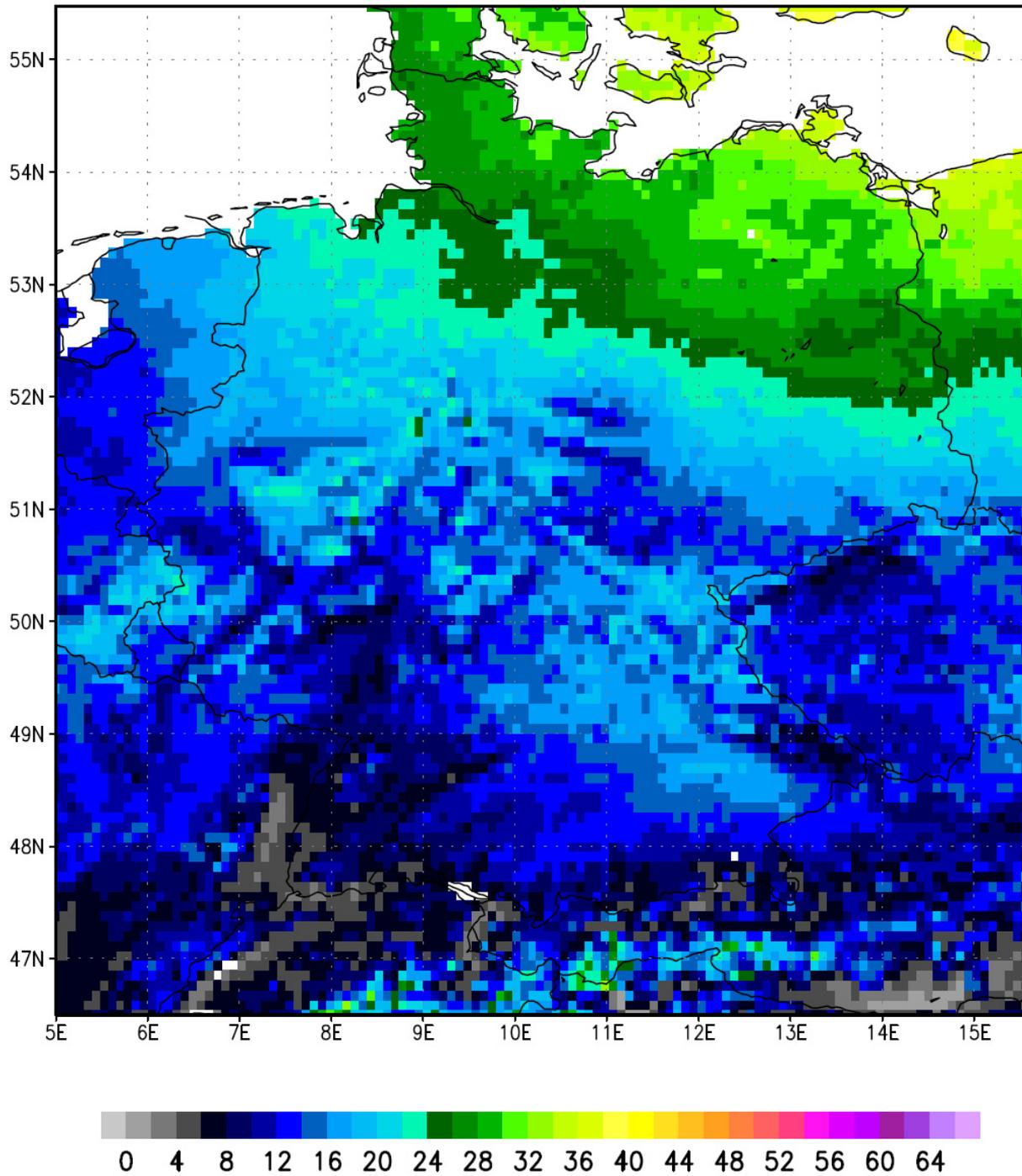


Abbildung 12: Differenz der Tage pro Jahr mit Kältestress (schwach, mäßig, stark und extrem) im REMO-Kontrolllauf (1971-2000) minus Experiment B1 (2071-2100)

Diff. Anz. Tage KS Exp. CTL minus A1B

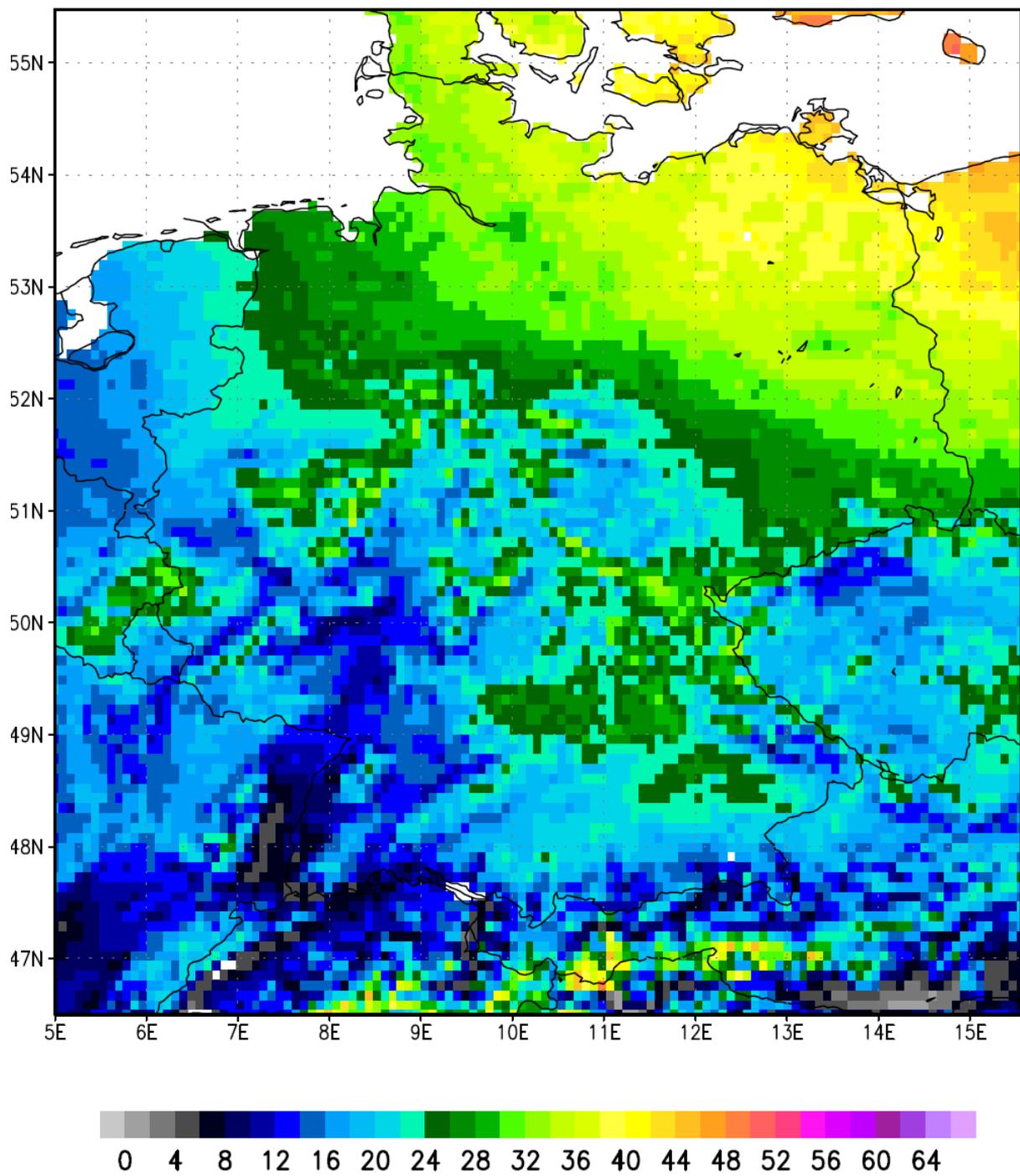


Abbildung 13: Differenz der Tage pro Jahr mit Kältestress (schwach, mäßig, stark und extrem) im REMO-Kontrolllauf (1971-2000) minus Experiment A1B (2071-2100)

Diff. Anz. Tage KS Exp. CTL minus A2

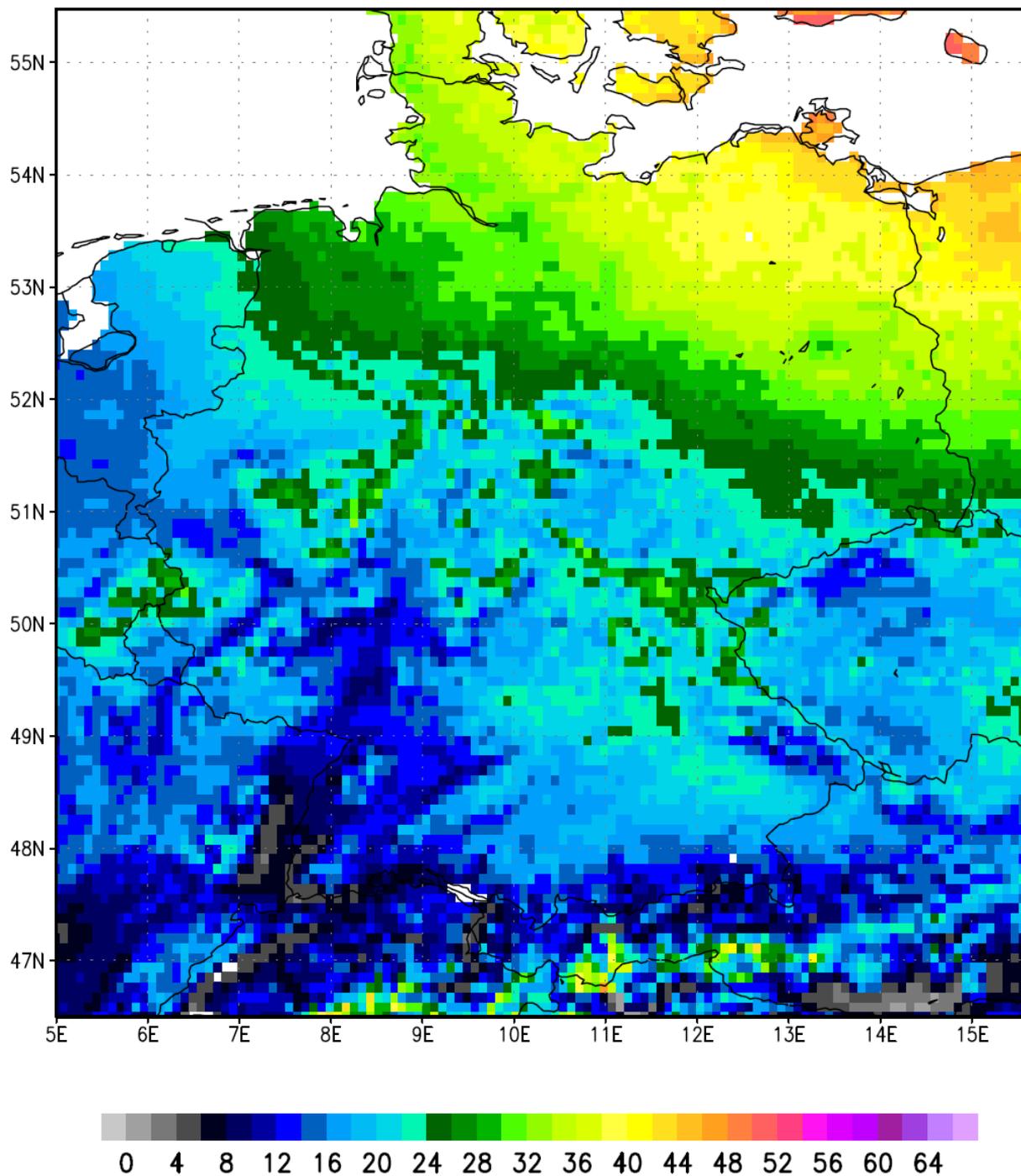


Abbildung 14: Differenz der Tage pro Jahr mit Kältestress (schwach, mäßig, stark und extrem) im REMO-Kontrolllauf (1971-2000) minus Experiment A2 (2071-2100)

4 Hitzebedingte Gesundheitsfolgen

Die Wirkung von Hitze auf den Menschen ist ein komplexes Phänomen. Generell ist jedem einsichtig, dass große Hitze das Wohlbefinden reduziert, die Leistungsfähigkeit beeinträchtigt und auch negative gesundheitliche Wirkungen haben kann. Die oben beschriebene Hitzewelle im Jahr 2003 hat darüber hinaus deutlich gemacht, dass Extremtemperaturen auch zu einer großen Anzahl von Todesfällen führen können. Negative Gesundheitsfolgen sind spätestens seit 2003 genauer statistisch untersucht, wobei das Hauptaugenmerk auf den Todesfällen lag. Aber auch die medizinische Literatur beschreibt die Komplexität der Wirkungsweise von Hitze auf die Gesundheit.²⁰

Höhere Temperaturen zeigen keinen einfachen monokausalen Zusammenhang zu negativen Gesundheitsfolgen. Eine Vielzahl von zusätzlichen Parametern bestimmt, wie stark die Folgen von hohen Temperaturen sind. Neben der absoluten Temperatur sind dies andere meteorologische Größen wie Luftfeuchte, Dauer der Hitzewelle, Tag-Nacht-Schwankungen der Temperatur und anderes mehr. Darüber hinaus kommen Risikofaktoren zum Tragen, die nicht vom Klima, sondern vielmehr von der Situation der betroffenen Menschen abhängen. Ihre Vorbelastung durch Krankheiten, Alter, ihre soziale Situation sowie Adaptionmöglichkeiten bestimmen mit, wie stark Hitzewellen Gesundheit und Wohlbefinden beeinträchtigen.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Einflussfaktoren beschrieben, die das Risiko von Hitzewellen für die Gesundheit der Menschen beeinflussen. Danach werden die bisher am besten erforschten Forschungsergebnisse über die extreme Konsequenz der Todesfälle durch Hitzewellen dargestellt. Die hitzebedingten Krankheiten, die weit weniger intensiv statistisch untersucht worden sind werden danach diskutiert, gefolgt von den Auswirkungen von Hitze auf die Leistungsfähigkeit der Menschen.

4.1 Risikofaktoren

Die absolute Temperatur ist sicher eine der wichtigsten Größen, die das Risiko für die Gesundheit bestimmen. Dies gilt aber sowohl für sehr hohe als auch für sehr niedrige Temperaturen, während es dazwischen einen Korridor angenehmer und risikoarmer Temperaturen gibt. Allerdings ist neben der Höhe der Temperatur die Dauer der

²⁰ Übersicht in BASU und SAMET (2002).

Hitzebelastung bzw. des Kältestress von großer Bedeutung. Nicht nur Tagesmittelwerte und Tageshöchstwerte der Temperatur sind bedeutsam, sondern auch die nächtliche (minimale) Temperatur, da sie die Möglichkeit zur Abkühlung der Umwelt und der Menschen widerspiegelt.

Steigende Luftfeuchtigkeit verschärft die Hitzebelastung, was im Sommer 2003 in Frankreich zu einer viel höheren Zahl von Todesfällen geführt hat als in Deutschland, wo eine geringe Luftfeuchte herrschte. Wind wirkt sich sowohl auf den direkten Temperaturaustausch als auch auf den Temperaturaustausch über Schwitzen aus. In einer kalten Umgebung (geringere Lufttemperatur als Hauttemperatur) kühlt Wind den menschlichen Körper zusätzlich, in einem heißen und feuchten Umfeld erwärmt er zusätzlich, im Fall von Hitze und gleichzeitig trockener Luft ist die Auswirkung des Windes nur gering.²¹ Diese Größen werden daher bei der Berechnung der „Gefühlten Temperatur“ mit einbezogen und sind bei den oben dargestellten Szenarien der Entwicklung der Hitzebelastung zum Ende dieses Jahrhunderts schon im Klima-Michel-Modell berücksichtigt.

Die Effekte werden in ihrer Wirkung auf den Menschen durch gleichzeitig auftretende Belastungen in Einzelfällen noch verstärkt. Hohe Ozonwerte, Luftverschmutzung oder Sommersmog, die häufig in Kombination mit hohen Temperaturen auftreten, gefährden die Gesundheit zusätzlich.

Ein bekanntes meteorologisches Phänomen ist der Hitzeinseleffekt: In dicht besiedelten Stadtgebieten erreichen die Temperaturen besonders hohe Werte und die letztgenannten Umweltprobleme treten vermehrt auf. So waren die Folgen des Hitzesommers 2003 in London weitaus schlimmer als im übrigen England. Menschen, die in unklimatisierten, schlecht belüfteten Räumen oder in unklimatisierten höheren Stockwerken leben, sind einem zusätzlichen Risiko ausgesetzt.²² Auch die Szenarien für Deutschland mit der hohen geographischen Auflösung zeigen den Hitzeinseleffekt, der besonders in Hamburg, Berlin oder dem Ruhrgebiet deutlich zu sehen ist.

Des Weiteren wirken sich die individuelle Situation eines Menschen und seine Verhaltensweisen auf das Risikopotential hoher Temperaturen aus. Ältere Menschen bilden die Hauptrisikogruppe für hitzeverursachte Gesundheitsfolgen. Ein Grund dafür ist die Verschlechterung des körpereigenen Temperaturregulierungsvermögens mit zunehmendem

²¹ Risikofaktoren basierend auf HAVENITH (2005).

²² Vergleiche die Übersicht in BASU und SAMET (2002).

Alter. Außerdem sind Kleinkinder grundsätzlich sehr sensibel. Das Alter ist somit einer der wichtigsten Einflussfaktoren, die das Gesundheitsrisiko von Hitzewellen bestimmen.

Weitere Risiken sind die Vorbelastung und Schwächung durch bestehende Krankheiten (zum Beispiel Bluthochdruck, Herz-, Nieren-, Leber- oder Stoffwechselerkrankungen), besonders wenn mehrere Krankheiten gleichzeitig vorliegen, sowie eine mangelnde allgemeine physische Stärke und Fitness. Daher kommt es zu Todesfällen durch Hitze meistens in Krankenhäusern und Seniorenpflegeheimen, zu einem Teil aber auch zu Hause.²³ Krankheit und Schwachheit treten verstärkt mit zunehmendem Alter auf, so dass Alter und Krankheiten sich im Gefährdungspotential gegenseitig verstärken.

Der Mensch ist in der Lage, sich durch effizienteres Schwitzen und verbesserte Blut- und Flüssigkeitszirkulation im Körper kurzfristig und langfristig an veränderte klimatische Verhältnisse anzupassen. Der Akklimatisierungszustand bildet daher eine wichtige Einflussgröße des Temperaturrisikos. Daher sind Hitzeereignisse in der frühen Jahreshälfte, wenn sich die Betroffenen noch nicht saisonal angepasst haben, besonders gefährlich.²⁴ Die kurzfristige Temperaturanpassung wird durch den Adaptionsansatz mit variablen Schwellen der Behaglichkeitsklassen berücksichtigt.

Europäische Daten haben gezeigt, dass aufgrund von Unterschieden in der physischen Konstitution mehr Frauen unter den Hitzeopfern zu finden sind als Männer. US-amerikanische statistische Untersuchungen finden dagegen ein erhöhtes Risiko für Männer. Das Geschlecht scheint daher nach heutigem Wissensstand keine eindeutige Wirkung zu haben.

Schließlich kann der Mensch durch sein Verhalten das Hitzerrisiko beeinflussen: Anstrengende Betätigung heizt den Körper zusätzlich auf. Angemessene Bekleidung verringert die Beeinträchtigung durch Wärme und Kälte. Alkohol- und Drogenkonsum verstärken die Gefährdung.

Weiterhin spielt der soziale Status eine nicht zu unterschätzende Rolle. Finanzielle Armut schränkt die Möglichkeiten ein, sich mit technischen und baulichen Maßnahmen und durch Betreuung und andere Dienstleistungen gegen Hitze zu schützen. Allein lebenden Älteren oder allein lebenden Kranken mangelt es an heißen Tagen an Unterstützung und

²³ CALADO et al. (2005).

²⁴ Empirisch belegt von KALKSTEIN und DAVIS (1989).

Überwachung. Hilfsbedürftigkeit und mangelnde Mobilität behindern die Anpassungsmöglichkeiten an hohe Temperaturen.²⁵

4.2 Hitzebedingte Sterbefälle

Eine Vielzahl von Studien hat einen Anstieg der allgemeinen Sterblichkeit durch Hitze nachgewiesen.²⁶ Zum einen vergleicht man die Anzahl von Todesopfern oder den relativen Anstieg der Sterblichkeit während Hitzewellen mit Perioden normaler Temperaturen und ermittelt so die zusätzliche, das heißt hitzebedingte Sterblichkeit. Zum anderen wertet man Zeitreihen zu Todesfällen und Temperaturen mit statistischen Methoden aus, um den Einfluss von Hitze auf Sterblichkeit genauer zu identifizieren und zu quantifizieren. Zwischen Temperaturmaximum und Anstieg der Sterberate tritt eine zeitliche Verzögerung von bis zu drei Tagen auf, jedoch können bestimmte Krankheitsbilder auch erst nach Wochen zu Tage treten.²⁷

Häufige Todesursachen sind Herzkreislaufversagen, Atemwegsprobleme, Hitzeschlag und drastischer Flüssigkeitsmangel. Dabei ist es schwierig, festzustellen, wie viele Menschen auch ohne Temperaturanstieg gestorben wären, so dass die Hitze lediglich zu einer geringfügigen Vorverlegung des Todeszeitpunkts führt. Dieser Effekt zeigt sich in den Statistiken der Sterbefälle dadurch, dass auf einen Anstieg der Todesfälle an Hitzetagen ein leichter Rückgang der Sterbefälle folgt.

Neben der Hitzewelle 2003 war der Sommer 1995 im Vereinigten Königreich von hohen Temperaturen geprägt und wurde eingehend untersucht. Weitere Studien aus dem Vereinigten Königreich verwenden Datenreihen, die bis in die 1960er Jahre zurückgehen. Auch liegen niederländische und spanische Analysen mit Zahlen aus den 1980ern und 1990ern sowie norwegische und bulgarische Studien vor.²⁸

Intensiv hat man den Zusammenhang von Temperatur und Sterbefällen in den Vereinigten Staaten erforscht, mit bis in die 1960er Jahre zurückgehenden Daten und besonderem Augenmerk auf der Hitzewelle 1995 und weiteren Hitzeereignissen während der 1990er Jahre.²⁹ Weiterhin existieren statistische Studien über Australien.³⁰

²⁵ Vergleiche BASU und SAMET (2002); US-amerikanische Studien finden ein erhöhtes Risiko für schwarze Amerikaner.

²⁶ Auswertung von etwa 100 Studien in BASU und SAMET (2002).

²⁷ KOPPE et al. (2003), BASU und SAMET (2002).

²⁸ KOVATS und JENDRITZKY (2006).

²⁹ Zum Beispiel KALKSTEIN und DAVIS (1991).

³⁰ Zum Beispiel GUEST et al. (1999).

Die Ergebnisse der Studien hinsichtlich des Anstiegs der Sterblichkeit infolge höherer als üblicher Temperaturen reichen ähnlich wie die Analysen im Sommer 2003 von wenigen Prozent bis über 60%.³¹ Die berechnete Zunahme der Sterblichkeit pro Grad Celsius Temperaturanstieg beträgt zwischen 0,7 % ab einem Mindestwert von 10°C und 3,6 % ab einem Schwellenwert von 24°C.³² Die Ergebnisse scheinen darauf hinzudeuten, dass der Anstieg der Sterblichkeit bei hohen und weiter steigenden Temperaturen stärker ausfällt als bei moderaten aber steigenden Temperaturen. In wärmeren Regionen scheinen die Schwellenwerte, bei denen eine verstärkte Sterblichkeit eintritt, höher zu liegen als in kälteren Regionen. Dies kann als Hinweis auf langfristige Anpassungsmöglichkeiten gelten.

Für Baden-Württemberg haben LASCHEWSKI und JENDRITZKY Tagesdaten der Periode 1968 bis 1997 über Temperatur und Sterblichkeit mit statistischen Methoden analysiert.³³ Es zeigt sich, dass der Jahrestrend der allgemeinen Sterberate in der warmen Jahreszeit sein Minimum erreicht und in der kalten Jahreszeit sein Maximum aufweist. Die Sterberate im Sommer liegt bis zu 8 % unter dem Jahresdurchschnitt, jene im Winter bis zu 8 % über dem Durchschnitt. Gleichzeitig reagiert die Sterberate im Sommer am stärksten auf Temperaturänderungen. Daher führen Hitzeperioden während des Sommers von einem niedrigen Niveau der allgemeinen Sterblichkeit ausgehend zu einem deutlichen Anstieg der Todesfälle. Da die Gefühlte Temperatur im Gegensatz zur herkömmlichen Temperatur in Grad Celsius das tatsächliche Temperaturempfinden des Menschen widerspiegelt, empfiehlt es sich, die Änderung der Sterblichkeit Klassen Gefühlter Temperatur zuzuordnen. Der Klasse mäßiger Wärmebelastung lässt sich im Ergebnis ein Anstieg der Sterblichkeit um rund 6,6 % zuweisen. Aus dem Hitzesommer 2003 ergibt sich für die Klasse starker Wärmebelastung ein Anstieg der Sterblichkeit von etwa 9,3%.³⁴ Für die Klasse extremer Wärmebelastung liegen kaum Erfahrungswerte vor, man kann jedoch eine Abschätzung basierend auf den Werten für mäßige und starke Belastung vornehmen. Bei einer linearen Extrapolation der statistisch gefundenen Werte bei niedrigeren Temperaturen ergäbe sich ein Zuwachs von 12,0 %, bei einer exponentiellen Extrapolation läge der Wert bei 14,8 %.

Abbildung 15 zeigt den statistischen Zusammenhang zwischen der Veränderung der Gefühlten Temperatur vor und nach einem Hitzemaximum und die Abweichung der Todesopferzahl während dieser Tage und Wochen. Die extrem hohe Korrelation ist klar

³¹ BASU und SAMET (2002).

³² KOVATS und JENDRITZKY (2006).

³³ LASCHEWSKI und JENDRITZKY (2002).

³⁴ KOPPE et al. (2003).

ersichtlich. Diese Darstellung wurde aus den Daten für Baden-Württemberg des Zeitraums 1968 bis 1997 gewonnen.

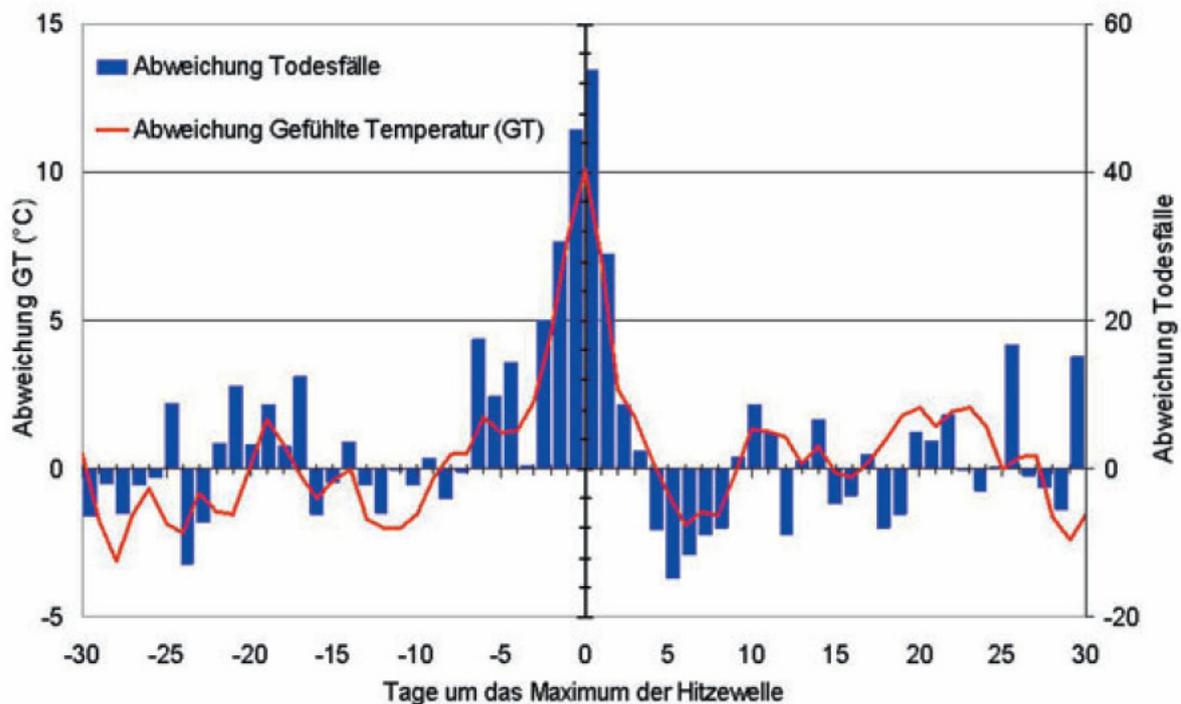


Abbildung 15: Zusammenhang von Gefühlter Temperatur und Todesfällen während Hitzewellen, Quelle: KOPPE et al. (2003)

Diese Zusammenhänge können genutzt werden, um für zukünftige Klimazustände mit höheren Temperaturen und entsprechend häufigeren und stärker ausgeprägten Hitzewellen die potentielle Zahl an Opfer hochzurechnen.³⁵ Dabei wird der Zusammenhang zwischen Temperatur und Sterbefällen aus der Studie zu Baden-Württemberg auf ganz Deutschland angewandt. Als Basis für die Extrapolation dienen die oben beschriebenen REMO-Klimarechnungen mit den zu erwartenden Hitzewellen in dem Zeitraum 2071 bis 2100. Der Simulation zugrunde gelegt wird das IPCC-Szenario A1B, das einem mittleren zukünftigen Pfad der Emissionen entspricht. Um die Zahl der Betroffenen zu berücksichtigen, wird die demographische Entwicklung der Bevölkerung mit Hilfe von Bevölkerungsprognosen des Statistischen Bundesamts berechnet. Da keine Prognosen auf Länderebene vorliegen, wird für alle Bundesländer die gleiche Bevölkerungsentwicklung angenommen wie auf Bundesebene, das heißt die in den nächsten Jahren erwarteten Verschiebungen in der regionalen

³⁵ Die verwendete Prognosemethodik ähnelt jener von MCMICHAEL et al. (2002).

Bevölkerungsstruktur werden nicht berücksichtigt.³⁶ Die prognostizierte Abnahme der gesamten Bevölkerungszahl ist hierbei von geringer Bedeutung, vielmehr verschärft die Zunahme des Anteils älterer Menschen ab 75 Jahren auf fast das Doppelte bis 2050 im Vergleich zum Basisjahr 2005 die Risiken von Hitzeereignissen deutlich. Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2100 waren nicht verfügbar. Daher wurde mit den Angaben des Statistischen Bundesamtes zur Bevölkerung in 2050 gerechnet.

Allerdings gibt es nur wenige und recht unzuverlässige Zahlenangaben über das Risiko älterer Menschen gegenüber jüngeren Menschen. Diese sind aber von entscheidender Bedeutung für die möglichen Todeszahlen in einer alternden Gesellschaft. Aufgrund der Erfahrungen des Jahres 2003 erscheint die Annahme plausibel, dass 80 % der Hitzeopfer dieser Altersgruppe angehören. In einer Sensitivitätsanalyse werden aber auch andere mögliche Verteilungen der Mortalität nach Altersgruppen untersucht.

Nicht berücksichtigt ist in dieser und allen anderen Hochrechnungen die Bevölkerungswanderung vom Osten in den Westen und Süden Deutschlands, hauptsächlich in die Ballungszentren, die voraussichtlich auch zukünftig stattfinden wird. Ebenfalls wird die Zuwanderung aus dem Ausland (oder Abwanderung) nicht in die Prognose einbezogen.

Grundsätzlich ist der Zusammenhang von Temperatur und Sterblichkeit und auch der Anteil der betroffenen älteren Menschen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht nicht konstant. Daher kann nur mit geeigneten Näherungswerten gerechnet werden.

Wichtig ist darauf hinzuweisen, dass bei der Berechnung noch keine Anpassungsprozesse des menschlichen Organismus oder technische Maßnahmen und Verhaltensänderungen einbezogen werden, welche die negativen Auswirkungen der Globalen Erwärmung deutlich abschwächen können.

Die Prognose erfolgt in geographischer Hinsicht auf der Ebene der Bundesländer, das heißt, Angaben über Hitzetage und die Anzahl von Verstorbenen pro Jahr beziehen sich auf die Bundesländer. Die Anzahl der Hitzetage bezieht sich jeweils auf die Landeshauptstadt oder eine andere Großstadt in dem Bundesland. Dies ist sinnvoll, weil sich dort ein Großteil der Bevölkerung sowie die wirtschaftlichen Aktivitäten konzentrieren. Andererseits tendiert diese Annahme dazu wegen des Hitzeinseleffekts die Hitzefolgen zu überschätzen.

In zeitlicher Hinsicht wird ein Durchschnittswert pro Jahr für den Zeitraum 2071 bis 2100 berechnet. Die Berechnungen erfolgen jeweils mit exponentieller Extrapolation der Sterberate

³⁶ Wenn die entsprechenden Daten zur Verfügung stehen, kann dies ohne zu großen Aufwand in die Prognose eingehen.

für die Klasse extremer Wärmebelastung, bei linearer Extrapolation ergeben sich etwas geringere Ergebnisse.

Geht man von einer exponentiellen Extrapolation der Mortalitätsrate bei extremer Hitze aus, das heißt, die Mortalität nimmt überproportional mit zunehmender Gefühlter Temperatur zu, dann kommt man auf insgesamt 16.683 Todesopfer durch Hitze pro Jahr zum Ende dieses Jahrhunderts. Dabei liegen die heute durch Hitze verursachten Todesfälle statistisch gesehen, das heißt laut dem zugrunde liegenden Modell, bei 4.511 Toten. Hinzu kämen durch die vermehrten Hitzetage bei gleicher Bevölkerungszahl und gleicher Alterstruktur 5.194 Hitzetote. Durch die demographische Alterung der Gesellschaft werden darüber hinaus mehr Menschen in der Risikogruppe der Älteren liegen und zu zusätzlichen 6.979 Toten führen, da sich der Anteil der über 75-Jährigen bis dahin fast verdoppeln wird. Die Zunahme an Opfern beträgt somit zusammen 12.172. Die für die Zukunft prognostizierten 16.683 Opfer entsprechen gegenüber den für die heutige Situation laut Modell berechneten 4.511 Opfern in etwa dem 3,7-Fachen. Es sei noch einmal daran erinnert, dass diese Hochrechnungen keine Anpassungsmaßnahmen beinhalten, also eine Überschätzung der Effekte darstellen, wenn Schutzmaßnahmen vor Hitze vor allem für ältere Menschen ergriffen werden.

Abbildung 16 veranschaulicht diese Effekte. Die heute im langjährigen Durchschnitt auftretenden hitzebedingten Todesfälle sind durch den blauen Balken gekennzeichnet. Bei konstanter Bevölkerungsstruktur würden durch die höheren Temperaturen die in dem dunkel eingefärbten Balken zusätzlichen Todesfälle auftreten. Schließlich spiegelt der gelbe Balken den Effekt der Alterung der Gesellschaft sowie implizit den Rückgang der Gesamtzahl der deutschen Bevölkerung wider. Es zeigt sich, dass die Alterstrukturentwicklung ein ganz wichtiger Faktor in der Auswirkung der durch Klimawandel verursachten Temperaturerhöhungen darstellt.

Für die Berechnung der möglichen zukünftigen Hitzefolgen ist der Anteil der älteren Menschen an der Gesamtzahl der Toten ein wichtiger aber nur schwach empirisch belegter Faktor. Deshalb wurde in der Sensitivitätsanalyse der Anteil der mindestens 75-Jährigen an den zu erwartenden Todesfällen, der auf der Basis der Ereignisse im Jahr 2003 gefunden wurde, variiert. Der Anteil der älteren Todesopfer betrug in der bisherigen Hochrechnung 80 %. Die rote Linie gibt die Variationsbreite der Todesfälle an, wenn dieser Anteil zwischen 100 % (oberer Wert) und 50 % (unterer Wert) variiert wird. Die Todeszahlen bewegen sich demnach zwischen etwas über 13.000 und knapp 19.000.

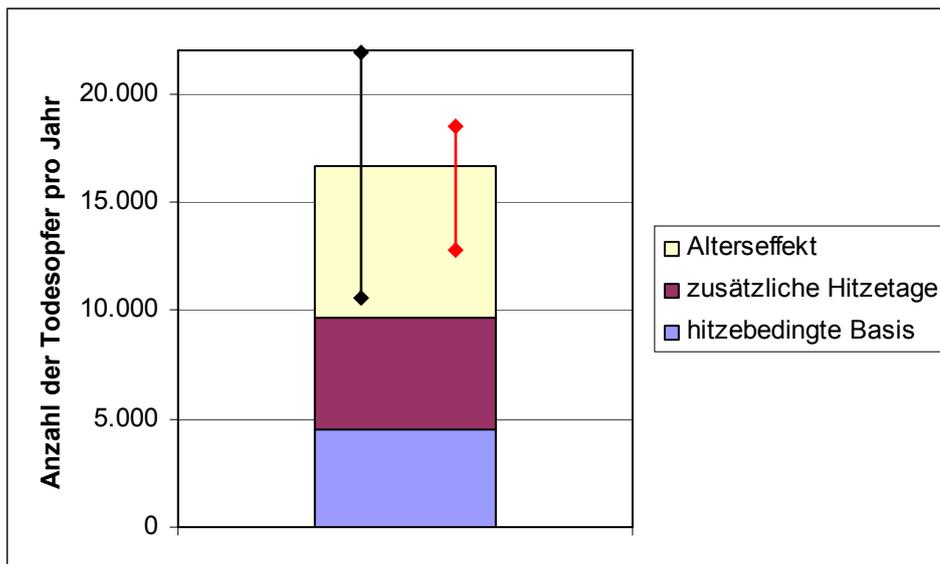


Abbildung 16: Anzahl der gesamten hitzebedingten Todesopfer pro Jahr im Prognosezeitraum 2071-2100 (exponentielle Extrapolation bei extremer Wärmebelastung)

Auch bei der zu erwartenden Mortalität in Abhängigkeit von der Gefühlten Temperatur gibt es Unsicherheiten über die Größenordnungen. Insbesondere regionale Unterschiede können kaum berücksichtigt werden. Außerdem geben die historischen Daten nur wenige Anhaltspunkte für die Wirkung großer Hitze. Deshalb wurden zwei zusätzliche Simulationen vorgenommen, bei denen die Mortalitätsrate jeweils um 30 % abgesenkt bzw. erhöht wurde. Eine um 30 % niedrigere Mortalität, zum Beispiel durch Anpassungsmaßnahmen, würde insgesamt etwa 10.000 Todesfälle ergeben. Dagegen könnte eine höhere Mortalität die gesamten Todesfälle auf über 20.000 ansteigen lassen. Dies könnte der Fall sein, wenn die Auswirkungen extremer Hitze gravierender sind als bisher angenommen.

Die Berechnungen sind bisher von der plausiblen Annahme ausgegangen, dass mit zunehmender Hitze die Mortalitätsraten überproportional ansteigen. Da es keine historischen Erfahrungen mit solch extremen Temperaturen gibt, wurde der Anstieg exponential hochgerechnet. Würde man eine lineare Extrapolation durchführen, so käme es nur zu einem geringfügig geringeren Ergebnis von 16.038 Todesopfern statt 16.683.

Die regionale Verteilung der Todesfälle ist in Abbildung 17 dargestellt. Die höchsten Zahlen fallen natürlich in den am dichtesten besiedelten Ballungsgebieten an. Es ist aber auffällig, dass gegenüber den Gebieten, die in der Zukunft den größten Zuwachs an Hitzetagen haben werden, keine ausgeprägte Häufung von Todesfällen auftritt. Dies liegt auch daran, dass in diesen Regionen, zum Beispiel dem Oberrheingraben und dem Hochrhein, keine hohe Bevölkerungsdichte herrscht. Umgekehrt dominiert in einem Gebiet wie dem Großraum Berlin, der

nur wenige zusätzliche Hitzetage zu verzeichnen hat, die große Bevölkerungsdichte. Abgesehen von den Ballungsräumen ist das Nord-Süd-Gefälle in der Veränderung der Temperatur nicht so stark bei der Mortalität zu beobachten. Dennoch zeigt sich eine Häufung von potentiellen Todesopfern im Süden Deutschlands. Im Norden fallen kaum hohe Werte auf. Vergleicht man die beiden Großstädte München und Hamburg, so zeigt sich ein deutlich höheres Gefahrenpotential in München.

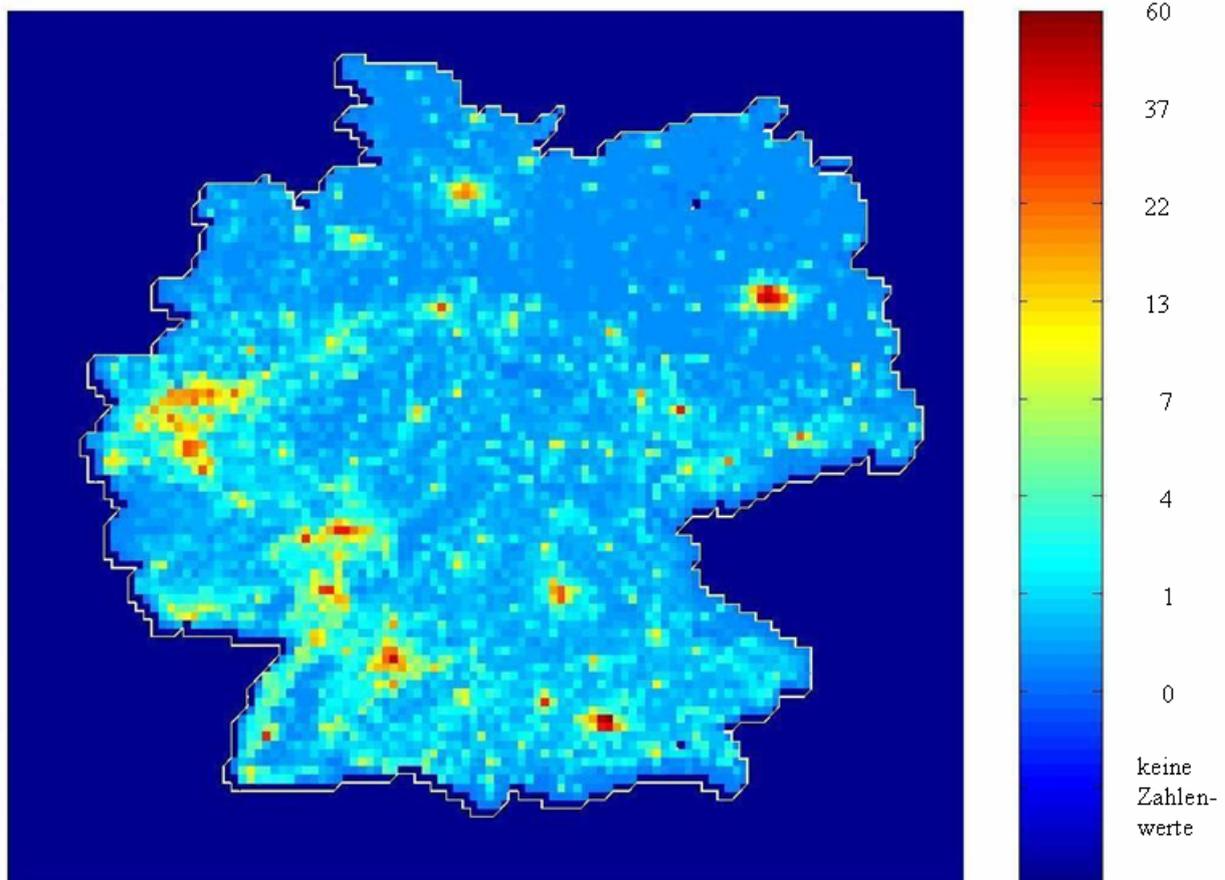


Abbildung 17: Verteilung der zusätzlichen hitzebedingten Todesopfer pro Jahr im Zeitraum 2071-2100 in Deutschland, Angaben pro 10-mal-10-km²-Sektoren (exponentielle Extrapolation bei extremer Wärmebelastung)

Neben der Analyse auf Länderebene wird auch die Berechnung möglicher hitzebedingter Todesopfer in Deutschland in 10-mal-10-Quadratkilometerauflösung durchgeführt. Dazu summiert man die in Abbildung 17 graphisch illustrierten Werte innerhalb der Grenzen Deutschlands. In diesem Fall sind keine Basiswerte aus Beobachtungen der Vergangenheit einbezogen, da sie nicht in 10-mal-10-Quadratkilometerauflösung vorliegen.

Die Gesamtzahl zusätzlicher Todesfälle beträgt dieser Schätzung zufolge 8.500 (exponentielle Extrapolation bei extremer Hitze). Damit fällt sie nur geringfügig niedriger aus als in einer

entsprechenden Berechnung ohne Basis auf Länderebene, welche zu 8.938 Opfern führt. Der geringfügige Unterschied lässt sich wie folgt begründen: Erstens entspricht die allgemeine Mortalität hier in allen Gebieten dem Wert für Gesamtdeutschland, während sich in der vorherigen Rechnung die allgemeine Anzahl der Sterbefälle auf das jeweilige Land bezog. Zweitens wird in der Berechnung auf Länderebene angenommen, dass das Klima im Messpunkt für das ganze Bundesland zutrifft, in der 10-mal-10-Quadratkilometerauflösung liegt dagegen in jedem Quadrat eine eigene Klimaprognose vor. Die Hitzeinseln, an denen viele der für die Berechnung auf Länderbasis relevanten Messstationen stehen, fallen damit weniger stark in das Gewicht. Drittens, da keine Basiswerte, das heißt Beobachtungswerte aus der Vergangenheit vorliegen, wird in der hoch auflösenden Rechnung nur der voraussichtliche Anstieg der Mortalität bestimmt. Dies führt zu einem niedrigeren Alterseffekt, weil der Alterseffekt auch auf die Basis aufgeschlagen wird.

Eine Kontrollschätzung der Opferzahlen für den Sommer 2003 mit dem hier verwendeten Modell zur Hochrechnung der erwarteten Todesfälle erzeugt in der Tat die veröffentlichte Schätzung von über 7.000 Todesfällen in Deutschland.

Vergleicht man die vorliegenden Hochrechnungen für Deutschland mit ähnlichen Untersuchungen aus anderen Ländern, so ergibt sich folgendes Bild:

- Der prozentuale Anstieg der Opferzahl unter Einschluss der zu erwartenden Bevölkerungsentwicklung liegt zwischen den Ergebnissen, die für Portugal und Australien für das Jahr 2050 gefunden wurden und einer Schätzung für das Vereinigte Königreich für das Jahr 2080, die einen Anstieg der Todesopfer durch Hitze um das mehr als Dreifache voraussagt.
- Die Hitzeopferzahl pro Million Einwohner fällt in Deutschland deutlich höher aus als im Vereinigten Königreich.³⁷
- Die australische Studie prognostiziert speziell für die Stadt Brisbane eine Verdopplung der Todesfälle, bei Berücksichtigung der demografischen Effekte einer alternden Gesellschaft wird fast eine Versiebenfachung der Todesfälle erwartet. Diese Studie kommt also noch zu einem viel größeren Einfluss der Altersstruktur auf die Todesfälle durch Hitzewellen.

Die hier vorliegenden Ergebnisse liegen also in dem Bereich der Ergebnisse von Studien in anderen Ländern. Die sehr unterschiedlichen Verhältnisse in Deutschland mit dem starken Nord-Süd-Gefälle in den Temperaturen führen im Durchschnitt zu Resultaten, die für andere

³⁷ Tabellarische Übersicht von Prognosen zu Hitzeopfern in KOVATS und JENDRITZKY (2006), S. 87 f.

Länder gefunden werden, was auch bedeutet, dass in den Hitzeinseln und im Rheingraben mit seinen heute schon hohen Temperaturen besonders hohe Gefährdungspotentiale liegen.

4.3 Hitzebedingte Krankheiten

Die recht gut untersuchten Ergebnisse der europäischen Hitzewelle von 2003 haben deutlich den Anstieg der hitzebedingten Todesfälle identifiziert. Diese Ergebnisse legen nahe, dass mit diesen Todesfällen auch eine steigende Anzahl von Erkrankungen einhergeht, die nicht tödlich enden, aber trotzdem behandlungsbedürftig sind. Häufige hitzebedingte Beschwerden sind Probleme des Herzkreislaufsystems bis hin zu deren Versagen, Beeinträchtigungen der Atmungsorgane und der Nieren sowie Diabetes. Leider gibt es zu diesen hitzebedingten Erkrankungen keine verlässlichen Zahlen aus der Vergangenheit, so dass eine Prognose dieser Erkrankungen bei höheren Temperaturen für das zukünftige Klima nur schlecht möglich ist.

Der Zusammenhang zwischen Arztbesuchen und Hitze ist nach unserem Wissen nicht statistisch untersucht worden. Einen Anhaltspunkt für die Bedeutung von Hitze für Erkrankungen können Daten über Notfalleinweisungen in Krankenhäuser bieten. Diese erfassen allerdings nur die schweren Erkrankungsfälle.

Eine Zunahme der Krankenhauseinweisungen wurde in der Hitzewelle 2003 in Deutschland vermerkt, aber nicht detailliert untersucht. In London war ein Anstieg der Notfallkrankenhauseinweisungen zu verzeichnen, in der Altersgruppe 75 Jahre und älter in Höhe von 16 %. Im übrigen England ließ sich dieser Effekt nicht in diesem Ausmaß beobachten.³⁸ Eine andere englische Studie untersucht den Einfluss hoher Temperaturen auf Krankenhausnotfalleinweisungen anhand von Daten für London aus der zweiten Hälfte der 1990er Jahre.³⁹ Dort zeigte sich dagegen, dass bezüglich aller Altersgruppen und aller Krankheiten der Zusammenhang zwischen Einweisungen und Temperatur nur schwach ist und statistisch nicht signifikant nachweisbar ist. Allerdings wurden gleichzeitig für den Fall von Krankenhauseinlieferungen 75-Jähriger und Älterer wegen Atmungsproblemen ein deutlicher Anstieg von fast 11 % pro Grad Celsius ab einem Mindestwert von 23°C gefunden, was einem sehr starken Effekt entsprechen würde.

Andere Untersuchungen wurden für die Hitzewelle 1995 in Chicago vorgenommen und ergaben 11 % mehr Krankenhauseinweisungen insgesamt, bzw. 35 % in der Altersgruppe der

³⁸ JOHNSON et al. (2005).

³⁹ KOVATS et al. (2004).

mindestens 65-Jährigen.⁴⁰ Eine andere Studie findet einen Anstieg der Krankenhauseinweisungen wegen Herzproblemen mit zunehmender Durchschnittstemperatur in zwölf US-amerikanischen Städten.⁴¹ Insgesamt zeigt sich eine große Bandbreite an Ergebnissen für den Zusammenhang zwischen Krankenhauseinweisungen und Hitze, so dass diese Zahlen mit der nötigen Vorsicht verwendet werden sollten.

Für die Abschätzung der durchschnittlichen jährlichen Krankheitskosten wurden die Zahlen der Studien über den Anstieg der Krankenhauseinweisungen während des Hitzesommers 2003 in England und London benutzt.⁴² Diese wurden nach Altersgruppen unterteilt in die Gruppe bis 64 Jahre, die Gruppe von 65 bis 74 Jahren sowie diejenige mit Menschen im Alter von 75 Jahren und mehr. Die Studie findet für die Hitzewelle 2003 in England zusätzliche Krankenhauseinweisungen von 1 % in der Altersgruppe bis 64 Jahre und 6 % für 75-Jährige und Ältere bei Maximaltemperaturen von etwa 25 bis 31°C. In der Altersgruppe 65 bis 74 Jahre nahmen die Krankenhauseinweisungen um 4 % ab. Diese Angaben werden der Klasse mäßiger Wärmebelastung der Klimaprognose zugeordnet. In London betragen die entsprechenden Werte 4 % für bis zu 64-Jährige und 16 % für 75-Jährige und Ältere bei Temperaturen von ca. 26 bis 38°C. In der Altersgruppe 65 bis 74 Jahre nahmen die Krankenhauseinweisungen wieder ab, in dem Fall um 5 %. Diese Werte werden der Klasse 3 starker Wärmebelastung zugeordnet. Krankenhauseinweisungen bei extremer Wärmebelastung kann man durch lineare oder exponentielle Extrapolation abschätzen.

Die Klimaveränderung wird wiederum durch die zusätzliche Anzahl an Hitzetagen laut REMO-Modellrechnungen für den Zeitraum 2071 bis 2100 erfasst. Anwendung findet auch hier das IPCC-Szenario A1B, das einen mittleren zukünftigen Pfad der Emissionen annimmt. Es werden keine Anpassungsprozesse an das Klima betrachtet, aber die demographische Entwicklung der deutschen Bevölkerung. Zusätzlich beinhaltet die Schätzung den Anteil der Patienten dieser Altersgruppen an allen Patienten im Basisjahr 2004 und die voraussichtliche demographische Entwicklung dieser Altersgruppen bis zum Jahr 2050 auf Bundesebene laut Statistischem Bundesamt.

Auf der Basis dieser Daten ergibt sich ein starker Zuwachs an Krankenhauseinweisungen gegenüber der heutigen Situation. In Deutschland gibt es zur Zeit etwa 17 Millionen Krankenhauseinweisungen, von denen mit Hilfe des Modells heute etwa 24.500 der Hitze zugerechnet werden können. Für das Ende des Jahrhunderts würden sich bei

⁴⁰ SEMENZA et al. (1999).

⁴¹ SCHWARTZ et al. (2004).

⁴² JOHNSON et al. (2005).

Berücksichtigung der Altersstruktur und der Bevölkerungsentwicklung knapp 150.000 Einweisungen wegen durch Hitze verursachter Erkrankungen ergeben, was einer Versechsfachung der Fälle entspräche. Diese starken Effekte werden wiederum durch die Kombination von Altersstruktur und Klimateffekt verursacht. Eine bessere Untersuchung der durch Hitzewellen verursachten Krankheitsfälle wäre wünschenswert, um zu robusteren Hochrechnungen für die Zukunft zu gelangen.

4.4 Hitzebedingte Verringerungen der Leistungsfähigkeit

Die Auswirkungen des klimatischen Umfeldes auf die Arbeitsleistung des Menschen hat man mit Hilfe zahlreicher Tests ausführlich untersucht. Eine zusammenfassende Übersicht ist bei BUX zu finden.⁴³ Es gibt eine ganze Reihe von Untersuchungen über die Veränderung der physischen, psychischen und psychisch-motorischen Fähigkeiten unter anderem in Abhängigkeit von der Raumtemperatur.

Dabei ergibt sich bei Abweichung der Temperatur von dem Behaglichkeitsbereich nach unten oder oben eine signifikante Verringerung der Arbeitsleistung, deren Ausmaß in verschiedenen Untersuchungen sehr unterschiedlich ausfällt. So wird in Studien die Verringerung der Produktivität im Temperaturbereich 26 bis 36°C mit zwischen 3 % und 12 % angegeben.⁴⁴ Wegen fehlender Randbedingungen und Angaben zur Streuung ist die Interpretation der Angaben schwierig.

Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Studien, in denen die Auswirkungen hoher Temperaturen auf verschiedene Leistungsparameter untersucht wurden. Diese kommen zu sehr viel höheren Resultaten als die erwähnten 3 bis 12 %. Danach gibt es ein individuell bestimmtes Temperaturniveau, das als angenehm empfunden wird. Demzufolge fällt die Denkfähigkeit bei einer Temperaturerhöhung um bis zu 6 Grad linear um bis zu 30 % ab. Bei noch höheren Temperaturen bleibt dieses Leistungsniveau dann konstant. Zu einem ähnlichen Ergebnis führt die Leistungskurve bei Schreibarbeiten, wo ein Rückgang der Leistung um 30 % schon früher erreicht wird.⁴⁵ Man konnte zeigen, dass Büroangestellte bei 23°C ihre volle Leistung erbringen können, bei 30°C aber nur noch 70 %. Laut einigen Experimenten

⁴³ BUX (2006).

⁴⁴ Siehe dazu BUX (2006).

⁴⁵ WYON (1986).

tippen Bürokräfte bei 30°C nur halb so schnell wie bei 20°C Raumtemperatur.⁴⁶ Auch bei körperlicher Arbeit ist ein hitzebedingter Leistungsabfall von 50 % möglich.⁴⁷

Für den Bergbau zitiert Kampmann (2000) eine Reihe von Studien, die ebenfalls einen Rückgang der Leistung um etwa ein Drittel bei Temperaturen ab 33 °C feststellen. Bei Hitze von 35°C bis 37°C kann die Leistung um bis zu 75 % abfallen. Häufig werden auch Minderungen der mentalen Leistungsfähigkeit zitiert, die bei einer Temperatur von 25°C schon etwa 25 % betragen, bei 27°C etwa 30 %, bei 30°C etwa 40 %. Der Rückgang der physischen Leistungsfähigkeit liegt noch höher und erreicht angeblich schon bei 25°C etwa 50 % Leistungsminderung.⁴⁸ Es ist allerdings fraglich, ob solche Messungen für das alltägliche Arbeitsleben von Bedeutung sind, oder ob es sich um den Rückgang bei Höchstbelastungen handelt. Es wäre wünschenswert, wenn die Auswirkungen höherer Temperaturen, wie sie für die Zukunft vorhergesagt werden, auf die Produktivität der Menschen bei der Arbeit genauer untersucht würden.

5 Kosten des Klimawandels durch zunehmende Hitze

5.1 Methodische Anmerkungen

Eine Abschätzung der Kosten durch die gesundheitliche Beeinträchtigung der Menschen durch zunehmende Temperaturen im Zuge des Klimawandels ist mit einer großen Zahl methodischer Probleme verbunden. Eines dieser Probleme besteht darin, dass die vorliegenden Szenarien für die Temperaturentwicklung sich auf den Zeitraum 2071 bis 2100 beziehen. Um die Kosten für diesen Zeitraum abschätzen zu können, müssten als Bewertungsbasis die wirtschaftlichen Zustände in dieser Periode, also in über 50 Jahren, bekannt sein oder in einem eigenen Szenario vorhergesagt werden können. Dies ist mit den heutigen Modellen nicht möglich und wird auch in absehbarer Zeit nicht mit einem Mindestmaß an Prognosesicherheit vorhergesagt werden können. Dazu gibt es zu viele Unsicherheiten bezüglich der weltwirtschaftlichen Entwicklung, der Verfügbarkeit von Ressourcen und des technischen Fortschrittes.

⁴⁶ WELT AM SONNTAG (23.07.2006).

⁴⁷ BUX (2006).

⁴⁸ BUX (2006) und die dort angegebene Literatur.

Um dieses Problem zu umgehen wird eine wichtige und zugegebenermaßen vollkommen unrealistische Annahme für die Bewertungsbasis eingeführt. Eigentlich müsste für die Bewertung das Sozialprodukt in dem Szenariozeitraum, also 2071 bis 2100, herangezogen werden. Stattdessen wird hier die Bewertung auf der Basis des heutigen Sozialproduktes vorgenommen. Die Annahme ist also entweder, dass sich die Einkommensverhältnisse nicht ändern, was natürlich ähnlich unrealistisch ist. Oder man nimmt an, dass sich der Klimawandel nicht erst zum Ende des Jahrhunderts einstellt, sondern schon heute auftreten würde. Man kann auf dieser Basis zumindest die Kosten des Klimawandels in Relation zu heutigen Einkommensniveaus und heutigen Preisen recht plausibel ableiten. Dies ignoriert die Tatsache, dass die Einkommen in der Zukunft höchstwahrscheinlich beträchtlich höher sind, die Kosten könnten aber in ähnlichen Umfang steigen. Die folgenden Aussagen über die Verluste an Sozialprodukt können also folgendermaßen interpretiert werden. Entweder sind die Verluste bezogen auf eine Situation, in welcher der Klimawandel heute stattgefunden hat, oder sie beziehen sich auf den Klimawandel zum Ende des Jahrhunderts unter der Annahme, dass sich die Einkommen nicht verändert haben.

Weitere Einschränkungen für die Bewertung der Kosten der Gesundheitsbeeinträchtigung durch Klimawandel liegen in einem Datenproblem und in einem methodischen Problem. Das methodische Problem besteht darin, dass es außerordentlich schwer ist, das Wohlbefinden in Abhängigkeit von gefühlter Temperatur zu bewerten. Deshalb ist auch eine Bewertung des Rückgangs des Wohlbefindens bei Hitzetagen kaum möglich. Dazu wären detaillierte Befragungen vonnöten, die zurzeit anscheinend nicht vorliegen. Bei den Fällen, in denen tatsächlich eine Erkrankung auftritt, könnte man die Bewertung dadurch vornehmen, dass man die Therapiekosten als Indikator für den Verlust an Lebensqualität nimmt. Aber auch diese Daten liegen für den Fall hitzebedingter Erkrankungen nicht vor.

Die einzigen quantitativen Indikatoren, die herangezogen werden können, sind Krankenhauseinweisungen. Diese können in Beziehung zu den Hitzewellen gesetzt werden, und über eine Abschätzung der Kosten kann man einen Eindruck von den Größenordnungen der Kosten erhalten, die zumindest durch schwere Erkrankungen auftreten. Die Kosten leichter Erkrankungen sowie die bewerteten Verluste an Lebensqualität werden in diesem Maß nicht erfasst.

Neben Krankheit und subjektiv empfundener Lebensqualität spielt die Auswirkung von Hitze auf die Produktivität der Menschen am Arbeitsplatz eine wichtige Rolle, da sie einen wichtigen Einfluss auf das Volkseinkommen hat. Diese Zusammenhänge sind außerordentlich

komplex, da sie vom Arbeitsplatz, der Art der Tätigkeit, körperlichen Bedingungen und vielem anderen mehr abhängen. Hier kann man bestenfalls eine grobe Abschätzung vornehmen, welche die Größenordnung des Einflusses von Hitze auf die gesamtwirtschaftliche Produktion angibt. Anpassungs- und Rückkopplungseffekte im wirtschaftlichen Prozess können im Rahmen dieser Studie nicht untersucht werden.

5.2 Krankheitskosten

Die Prognose erfolgt in räumlicher Hinsicht ebenfalls auf Länderebene, das heißt, Angaben über Hitzetage beziehen sich auf das jeweilige Bundesland laut dem REMO-Klimaszenario A1B, allgemeine Patientenzugänge in Krankenhäusern und Kosten pro Behandlungsfall basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamts. In zeitlicher Hinsicht wird ein Durchschnittswert pro Jahr für die Zeit 2071 bis 2100 errechnet. Da sich weder alle Krankheitstypen, die Notfälle hervorrufen, identifizieren lassen, noch verursachte Kosten exakt zuordnen lassen, werden in der Modellrechnung allgemeine durchschnittliche Krankenhauskosten verwendet. Die Zuordnung zusätzlicher Notfälle zur Klasse extremer Wärmebelastung erfolgt durch exponentielle Extrapolation, da in der Vergangenheit keine extremen Hitzetage beobachtet wurden und deshalb keine Relation zwischen extremer Hitze und Krankenhauseinweisungen festgestellt werden kann.

Im Ergebnis belaufen sich die hitzebedingten Krankenhauskosten im Jahresdurchschnitt 2071 bis 2100 auf insgesamt 494,7 Millionen Euro pro Jahr. Dies entspricht einer Versechsfachung gegenüber der Kontrollperiode von 1971 bis 2000. Dabei entfallen 221,6 Millionen Euro direkt auf zusätzliche Hitzetage unter der Annahme einer unveränderten Bevölkerungsgröße und Bevölkerungsstruktur. 191,0 Millionen Euro kann man dem Alterseffekt unter Berücksichtigung des leichten Rückgangs der Gesamtbevölkerung zurechnen, weil in der Zukunft ein fast doppelt so hoher Anteil älterer Menschen der Hitze ausgesetzt sein wird (Abbildung 18). Der hitzebedingte Anstieg von nahezu 500 Millionen Euro repräsentiert allerdings nur 0,88 % der gesamtdeutschen Krankenhauskosten und 0,27 % der deutschen Gesundheitsausgaben.

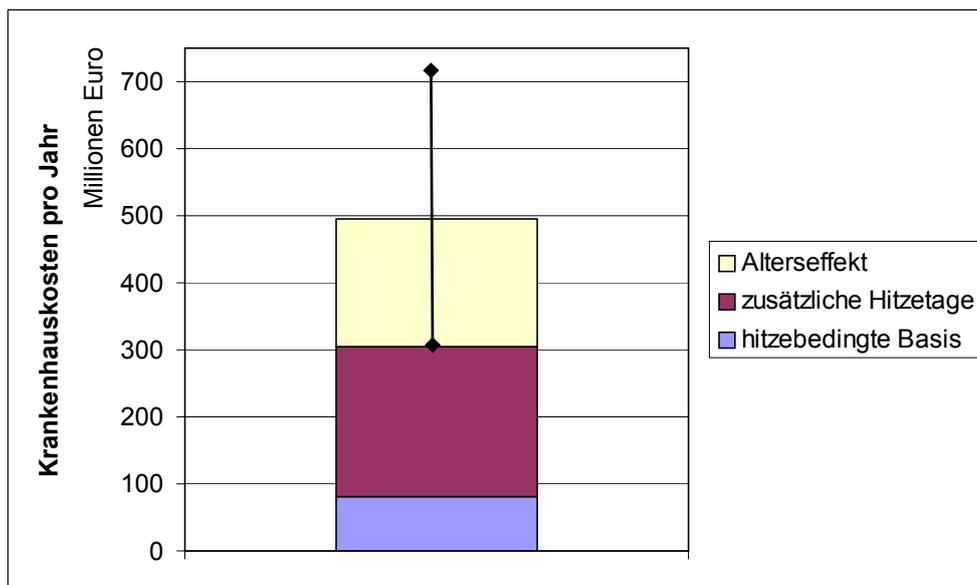


Abbildung 18: Hitzebedingte Krankenhauskosten pro Jahr im Prognosezeitraum 2071-2100 (exponentielle Extrapolation bei extremer Wärmebelastung)

In diese Rechnung gehen viele unsichere Parameter ein, die insbesondere den Zusammenhang zwischen Hitzeereignis und der Rate der Krankenhauseinweisungen betreffen.⁴⁹ Um die Abhängigkeit der Ergebnisse von diesem Parameter zu zeigen wurden in einer Sensitivitätsanalyse diese Rate unter Berücksichtigung der in der Literatur angegebenen Größenordnungen um 30 % verringert bzw. um 30 % erhöht. Die Schwankungsbreite der Kosten zwischen 300 und etwas über 700 Millionen Euro ist in Abbildung 18 durch den schwarzen Balken angegeben.

Der Zuwachs der Krankheitskosten ist größer als die Zunahme der Todesopfer. Dies ist in Einklang mit einigen vergangenheitsbezogenen Angaben, aber im Gegensatz zu anderen statistischen Untersuchungen, die nur einen schwachen Anstieg der Krankenhauseinweisungen durch Hitze finden.

Die in Abbildung 18 dargestellten Ergebnisse wurden unter der Annahme gerechnet, dass mit zunehmender Gefühlter Temperatur die Krankenhauseinweisungen exponentiell zunehmen. Da keine historischen Daten in diesen Temperaturbereichen vorliegen, wurde zum Vergleich eine lineare Extrapolation der Daten bei extremen Temperaturen vorgenommen. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 19 zusammengefasst. Die exponentielle Extrapolation von Krankenhauseinweisungen bei extremer Hitze resultiert nur in knapp 10 % höheren Kosten.

⁴⁹ Siehe dazu die Diskussion in Kapitel 4.3.

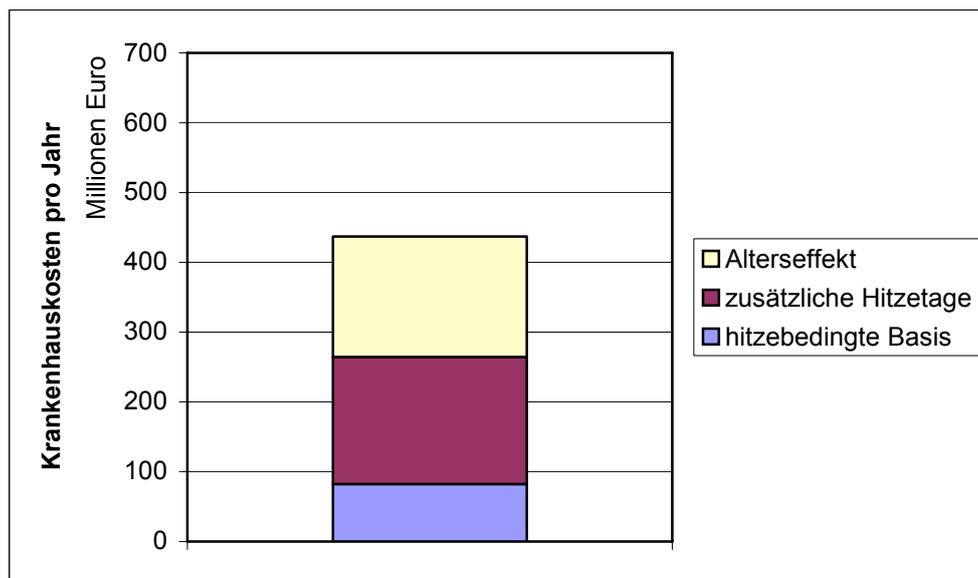


Abbildung 19: Hitzebedingte Krankenhauskosten pro Jahr im Prognosezeitraum 2071-2100 (lineare Extrapolation bei extremer Hitze zum Vergleich)

Bisher scheint es vergleichbare Kostenschätzungen für Deutschland nicht zu geben. Da hier mit durchschnittlichen Kosten eines Krankenhausaufenthaltes gerechnet wurde, kann eine Prognose für das Vereinigte Königreich zum Vergleich herangezogen werden. Danach ergibt sich bis 2080 ein Anstieg der Krankenhaustage pro Jahr aufgrund von Hitzebelastung um über 300 %. Dabei ist fraglich, ob Krankenhauseinweisungen tatsächlich in dieser Höhe ansteigen, da der kausale und statistische Zusammenhang zwischen Hitze und Krankenhauseinweisungen umstritten ist.

Die den vorliegenden Berechnungen zugrunde gelegten allgemeinen Krankenhauskosten erfassen einerseits auch Behandlungen, die nicht im Zusammenhang mit Hitze stehen. Daher fällt die Schätzung zu hoch aus, falls die Kosten der Behandlung von durch Hitze verursachten Erkrankungen niedriger sind als die durchschnittlichen Kosten von Krankenhausaufenthalten im Allgemeinen. Andererseits kommen in der Realität Kosten für ambulante ärztliche Betreuung sowie Medikamente hinzu, die in der Schätzung der Kosten von hitzebedingten Erkrankungen nicht enthalten sind.

Die vorliegenden Berechnungen für die Kosten von durch zunehmende Hitze verursachten Erkrankungen stellen nur einen ersten groben Ansatz dar, der dadurch bedingt ist, dass einerseits anscheinend der Zusammenhang zwischen Hitzewellen und gesundheitlichen Folgen noch wenig in einer Weise medizinisch erforscht ist, die eine Hochrechnung zu flächendeckenden Effekten erlauben würde. Zum anderen sind die medizinischen Kosten dieser Gesundheitseffekte im Rahmen dieser Studie nicht im Einzelnen zu beziffern gewesen.

In einer größer angelegten Studie könnte man zu robusteren Aussagen kommen. Insbesondere die Bestimmung der Kausalitäten und der statistischen Signifikanz des Zusammenhangs zwischen Hitzeereignissen und Erkrankungen erfordert noch einigen Forschungsaufwand.

5.3 Leistungseinbußen

Für die Abschätzung der volkswirtschaftlichen Verluste durch eine geringere Leistungsfähigkeit der Menschen könnte man die Produktivitätseffekte bei unterschiedlichen Tätigkeiten und verschiedenen Temperaturen berechnen. Leider liegen dazu nicht ausreichende Daten vor. Als grobe Annäherung wird hier zunächst davon ausgegangen, dass die Leistungsminderung durch höhere Temperaturen sich direkt in einem geringeren Arbeitsoutput bewerten lässt.

Statt der in der Literatur genannten extrem hohen Verluste an mentaler und physischer Leistungsfähigkeit von 30 bis zu 50 %, wird der von BUX (2006) angegebene Bereich von 3 bis 12 % Verlust an Leistungsfähigkeit bei Temperaturen von über 32°C benutzt. Dies hat zur Konsequenz, dass die mäßigen Hitzetage nicht mit einer Reduktion der Leistung einhergehen. Gleichzeitig würde zwischen starken und extremen Hitzeereignissen kein Unterschied gemacht, und moderate Hitze führt nach diesen Untersuchungen zu keinen negativen Auswirkungen auf die Produktivität der Menschen.

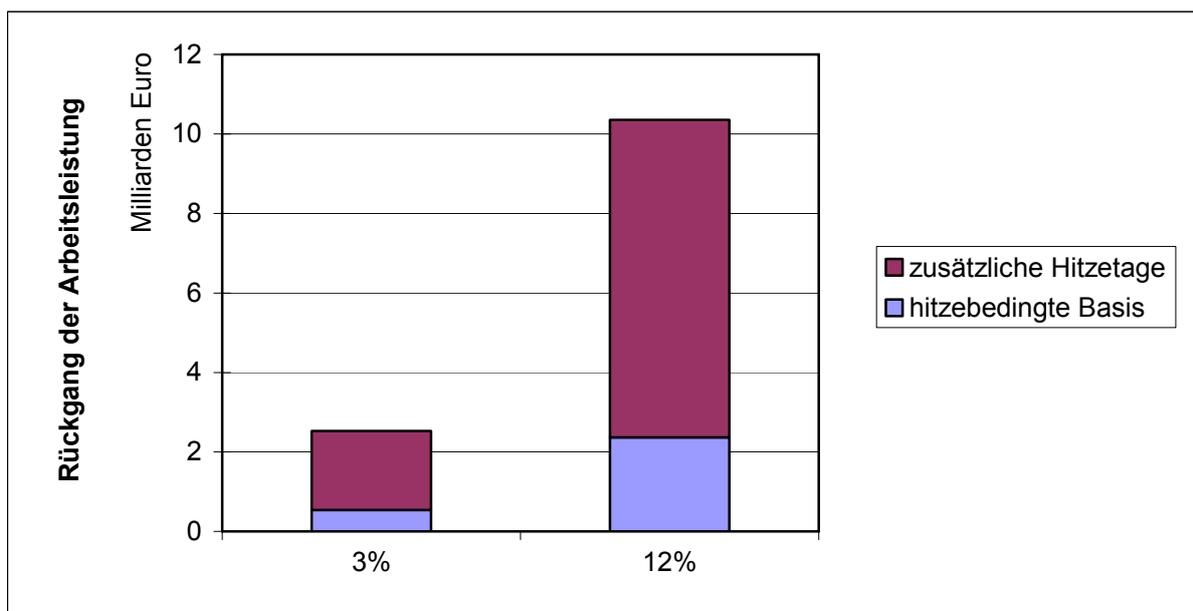


Abbildung 20: Hitzebedingter Rückgang der Wertschöpfung pro Jahr im Prognosezeitraum 2071-2100 unter alternativen Impaktannahmen

Die Bewertung erfolgt unter der Annahme, dass die Hitze zu einer Verringerung der Arbeitsleistung führt und diese durch den Verlust an Arbeitseinkommen bewertet werden kann. Gesamtwirtschaftliche Rückkopplungseffekte und Anpassungsmaßnahmen werden dabei ignoriert. Insofern stellt die Kostenabschätzung eher eine Überbewertung dar, da sie von einer direkten Wirkung von Leistungsrückgang auf die volkswirtschaftliche Wertschöpfung ausgeht.

Abbildung 20 gibt einen Überblick über die Szenarioberechnungen. Geht man von einer um 3 % verminderten Leistung bei starker und extremer Hitze, das heißt bei über 26°, aus, so ergibt sich schon heute wegen der schon stattfindenden Hitzetage ein Verlust von ca. 540 Millionen Euro gegenüber einem Jahr ohne Hitzetage. Dies wird durch den blauen Balken dargestellt und ist als hitzebedingte Basis bezeichnet. Zu diesen Kosten kämen bei einem Klima, wie es zum Ende des Jahrhunderts herrschen soll, etwa 2 Milliarden Euro als Verlust an Sozialprodukt hinzu. Dies wird durch den oberen Teil des Balkens illustriert. Diese zusätzlichen Hitzetage setzen sich zusammen aus durchschnittlich knapp 8 zusätzlichen Tagen mit starker Hitze und 5 zusätzlichen Tagen mit extremer Hitze.

Nimmt man eher an, dass die Hitzetage zu einem Verlust an Produktivität von etwa 12 % führen, so ergibt sich der Balken auf der rechten Seite von Abbildung 20. Schon heute hätte man ein hitzebedingt um etwa 2,4 Milliarden niedrigeres Sozialprodukt. Dies wäre um weitere 8 Milliarden niedriger unter den Bedingungen des Klimas zum Ende des Jahrhunderts.

Setzt man diese Zahlen in das Verhältnis zum heutigen Sozialprodukt, so gehen schon heute bei einer Leistungsminderung von 3 % bei Hitze 0,03 % Wertschöpfung verloren. Bei den prognostizierten Hitzetagen würde der Verlust auf etwa 0,12 % ansteigen. Im Fall einer Leistungsminderung von 12 % liegen die entsprechenden Werte bei 0,11 % des Sozialproduktes bei heutigem Klima und bei 0,48 %, also fast einem halben Prozent, des Sozialproduktes.

Es ist klar, dass angesichts der Unsicherheiten über die tatsächlichen Leistungsminderungen und durch die Nichtberücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen diese Zahlen mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Einige weitere Überlegungen sollen die Bandbreite der möglichen Resultate illustrieren.

Würden statt der 3 bzw. der 12 % Leistungsminderung für alle Temperaturen über 26°C, wie oben berechnet, stattdessen für starke Wärmebelastung 3 % Leistungsminderung und für extreme Wärmebelastung 12 % Leistungsminderung angenommen, so ergäbe sich ein

Gesamtverlust von etwa 6 Milliarden Euro. Dies liegt verglichen mit 2,5 Milliarden Euro bei 3 Leistungsminderung und 10 Milliarden Euro bei 12 % Leistungsminderung knapp unterhalb der Mitte der beiden Werte.

Diese Zahlen liegen in der Größenordnung der geschätzten volkswirtschaftlichen Kosten des Hitzesommers 2003, die mit etwa 10 Milliarden Euro für ganz Europa angegeben werden.⁵⁰ Die Auswirkungen von Hitzewellen sind jedoch in den Wachstumszahlen von Ländern praktisch nicht erkennbar.⁵¹

Zur Information seien auch kurz die Ergebnisse erwähnt, die entstehen, wenn man in der gesamten Volkswirtschaft von deutlich höheren Leistungseinbußen im Bereich 30 bis 50 % ausgeht.⁵² Dann könnte das Sozialprodukt heute um 2,7 % höher liegen, wenn es keine Hitzetage gäbe. Für das Klima zum Ende des Jahrhunderts würde sich ein Verlust von nahezu 5 % des Bruttoinlandsproduktes ergeben. Wenn sich diese Leistungsergebnisse in zukünftigen Studien bestätigen würden, wäre dies ein sehr hoher Betrag.

Schließlich unterscheiden sich die Ergebnisse zum Teil erheblich, je nachdem welches IPCC-Klimaszenario Verwendung findet. Die zusätzliche hitzebedingte Arbeitseinbuße (ohne Basis) beträgt im Szenario B1 (niedrige Emissionen) unter der Annahme einer 12-prozentigen Abnahme der Arbeitsleistung bei Hitze durchschnittlich ca. 4,24 Mrd. Euro pro Jahr, im Szenario A1B (mittlere Emissionen) 7,98 Mrd. Euro pro Jahr und im Szenario A2 (hohe Emissionen) 7,24 Mrd. Euro pro Jahr. Der niedrigere Wert in A2 verglichen mit A1B wird durch natürliche Klimaschwankungen hervorgerufen.

Die Berechnung der potentiellen gesamtwirtschaftlichen Verluste auf der Basis von Daten über die Leistungsminderung von Menschen unter großer Hitze stellt einen ersten noch groben Versuch der Quantifizierung dar, der noch weiter verfeinert werden kann, der aber auch weitergehende Forschung erfordert. Die Bandbreite der Ergebnisse reicht von zusätzlichen Kosten zukünftiger Hitzewellen in Höhe von 0,03 % bis zu 2,8 % des heutigen Sozialproduktes. Unabhängig davon, welche Zahlen man für realistischer hält, die Größenordnung der Kosten übersteigt bei weitem diejenige der krankheitsbedingten Kosten, deren Bereich oben abgeschätzt wurde.

⁵⁰ MICHAEL HEISE, Chefökonom der Allianz Gruppe, zitiert in WELT AM SONNTAG (23.07.2006), diese Angabe enthält neben Gesundheitswirkungen auch weitere wirtschaftliche Auswirkungen von Hitze.

⁵¹ MICHAEL HEISE und CLAUDIA KEMFERT, zitiert in WELT AM SONNTAG (23.07.2006).

⁵² WELT AM SONNTAG (23.07.2006), BUX (2006).

6 Kältebedingte Gesundheitsfolgen

Bei Kälte ist ähnlich wie bei Hitze mit gesundheitlichen Folgen zu rechnen. Sterbefälle nehmen nachweislich nicht nur mit steigenden hohen Temperaturen zu, sondern auch mit sinkenden niedrigen Temperaturen. Die statistische Auswertung der Daten erfolgt analog zum Fall von Hitze. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die allgemeine Zahl an Todesfällen im Winter saisonal, unabhängig von Temperaturschwankungen in europäischen Ländern 5 % bis 30 % über dem Jahresdurchschnitt liegt. Man geht von etwa 40.000 Todesopfern durch Kälte pro Winter allein in Großbritannien aus.⁵³

Prinzipiell ähneln die Risikofaktoren des Kältestress im Winter jenen der Hitzebelastung im Sommer.⁵⁴ Todesursachen sind meist Herzkreislaufversagen, unzureichende Durchblutung des Gehirns und Atemwegserkrankungen, besonders auch Erkältungs- und Grippeerkrankungen, ferner Erfrieren von Obdachlosen. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Erkältungs- und Atemwegserkrankungen ist jedoch unklar.⁵⁵ Selbstverständlich besteht auch im Winter ein hohes Gefährdungspotential für ältere Menschen, der Gesundheitseffekt von Kälte in Abhängigkeit des Lebensalters ist aber weitaus weniger dokumentiert als im Fall von Hitze.

Das Minimum der temperaturbedingten Sterblichkeit liegt im Bereich mittlerer Temperaturen, zum Beispiel im Vereinigten Königreich bei 18°C Außentemperatur. Es ergibt sich somit ein V-förmiger bzw. U-förmiger Verlauf der Sterblichkeit in Abhängigkeit von der Temperatur. In wärmeren Regionen ist die Zunahme der Mortalität pro Grad Celsius unter 18°C stärker als in kalten Gegenden. So liegt sie beispielsweise in Athen bei 2,15 % pro Grad Celsius, während sie in Finnland nur 0,27 % pro Grad Celsius ausmacht, Menschen in kälteren Regionen sind offensichtlich besser an die niedrigen Temperaturen angepasst, sowohl durch ihre Akklimatisation als auch durch Schutzmaßnahmen wie Kleidung, Wohnung etc.⁵⁶ Im Allgemeinen ist der Einfluss von Temperaturänderungen auf Todesfälle im kalten Bereich weniger stark ausgeprägt als im warmen Bereich.

Der Klimawandel führt zu weniger kalten Tagen, gleichzeitig aber zu häufigeren Extremwetterereignissen, daher voraussichtlich auch zu mehr, aber auch seltenen Perioden extremer Kälte. Höhere Temperaturen im Winter verringern potentiell die Opferzahlen,

⁵³ BALLESTER (2003).

⁵⁴ UPHOFF und HAURI (2005).

⁵⁵ KALKSTEIN und GREENE (1997).

⁵⁶ HASSI (2005).

andererseits können die Extremkälteereignisse zu vermehrten Todesfällen führen. Eine kanadische Studie zeigt jedoch, dass die Sterberate bei extremer Kälte sogar abnimmt, etwa weil die Menschen den Aufenthalt in der Kälte meiden und sich vor der Kälte schützen.⁵⁷ Auch ist in kalten, trockenen Perioden ein Rückgang von Erkältungskrankheiten gegenüber mäßig kalten, feuchten Zeiten möglich. In Deutschland und Westeuropa sind die Menschen durch beheizte Gebäude und Winterkleidung gut gegen starke Kälte geschützt.

In Baden Württemberg ist der Trend der Sterberate im Winter der Studie für den Zeitraum 1968 bis 1997 von LASCHEWSKI und JENDRITZKY zufolge um bis zu 8 % höher als im Jahresdurchschnitt. Die Zunahme an Todesfällen bei Kälteereignissen beträgt etwa 2 %.⁵⁸ Da in der kalten Jahreszeit Grippeerkrankungen und Grippeepidemien verstärkt auftreten, hat man die Daten soweit möglich um diesen Einfluss bereinigt, indem man hohe Mortalitätswerte im Winter statistisch geglättet hat. Der Mortalitätsanstieg bei mäßigem Kältestress in Deutschland ergibt sich laut dieser Studie zu ca. 9,3 %. Für die Klasse „leichter Kältestress“ eignet sich der arithmetische Mittelwert der Mortalitätsraten in den drei Klassen von 0 bis -12°C. Das Mittel berechnet sich zu etwa 5,7 %.

Da vom Tod durch Kälte wahrscheinlich wie vom Tod durch Hitze besonders ältere Menschen betroffen sind und weil der Anteil Älterer an der Bevölkerung steigen wird, ist ebenfalls mit einer demographiebedingten Zunahme der Mortalität zu rechnen. Laut HASSI (2005) sind ältere Menschen und Kranke tatsächlich besonders durch Kälte gefährdet. So konnte man für die USA zeigen, dass 65-Jährige und Ältere besonders betroffen sind. In England ergab sich, dass über 75-Jährige ein erhöhtes Risiko bezüglich Kälte tragen. Es erscheint daher plausibel, die gleiche Berücksichtigung der Altersstruktur wie im Fall von Hitze zu verwenden.

Die Prognoserechnung in 10-mal-10-Quadratkilometerauflösung für das IPCC-Szenario A1B ergibt einen Rückgang der Opferzahl um durchschnittlich 3.019 Personen pro Jahr im Prognosezeitraum ohne Berücksichtigung demographischer Einflüsse (vergleiche Abbildung 22, rechts). Angenommen, der Alterseffekt wirkt bezüglich der Wintermortalität genauso wie bezüglich der Sommermortalität, erhöht sich der Rückgang auf 5.190 Menschen jährlich. Der Alterseffekt inklusive des leichten Rückgangs der Gesamtbevölkerung beträgt somit 2.171 Menschenleben jährlich.

⁵⁷ FROST und AUCLICIEMS (1993).

⁵⁸ LASCHEWSKI und JENDRITZKY (2002).

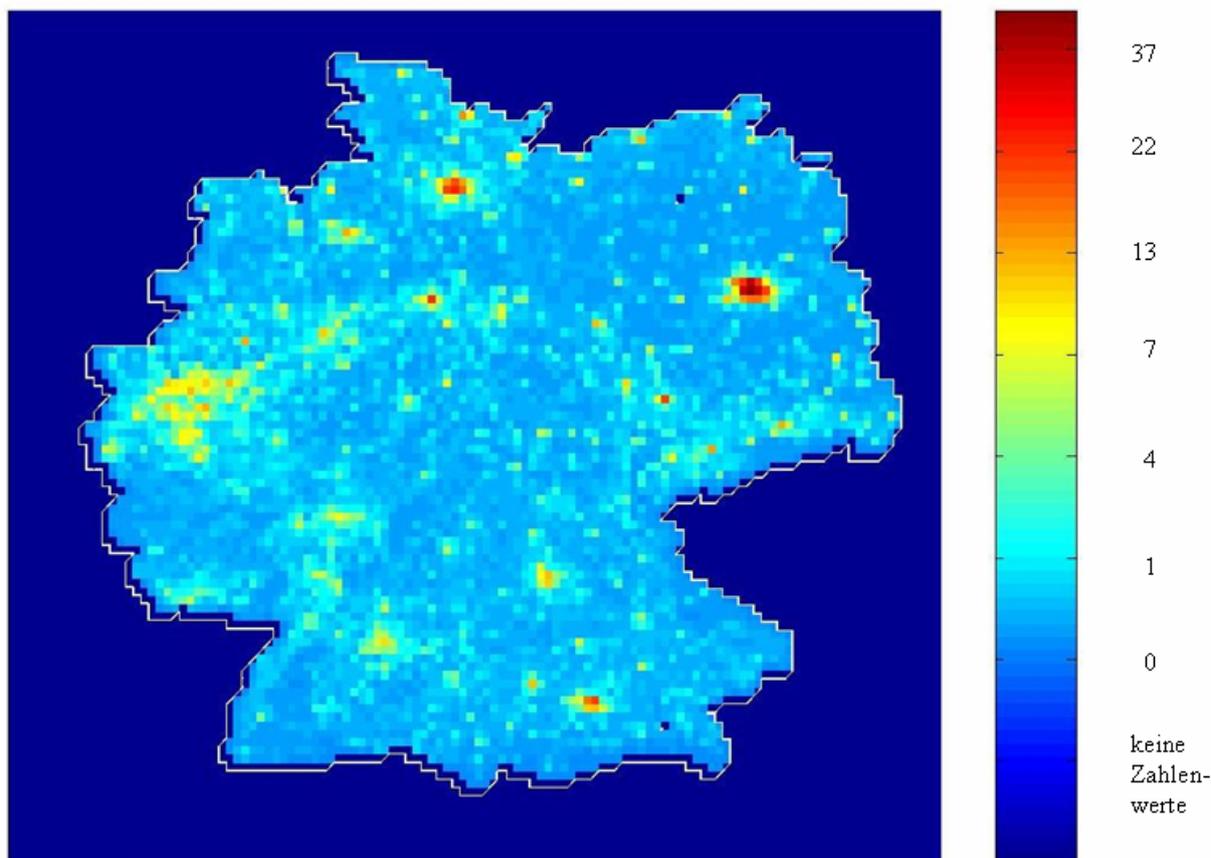


Abbildung 21: Verteilung der Abnahme an Todesfällen durch verminderten Kältestress pro Jahr im Zeitraum 2071-2100 in Deutschland, Angaben pro 10-mal-10-km²-Sektoren

Die Auswirkungen von Kältetagen auf die Todesfälle in Deutschland (inklusive Alterseffekt) sind in Abbildung 21 illustriert. Während sich bei den Temperaturen ein starkes Nord-Süd-Gefälle beobachten lässt (siehe die Abbildungen 13 bis 15), bei dem im Süden nur ein geringer Rückgang der Kältetage zu verzeichnen ist und sehr hohe Rückgänge im Nordosten, ist dies bei den Todesfällen durch Kälte wegen der niedrigen Bevölkerungsdichte im Nordosten nicht so deutlich ersichtlich. Trotzdem ist der Rückgang in Hamburg und Berlin stärker als in einem vergleichbaren Ballungszentrum wie München (Abbildung 21). Im Süden und Südwesten Deutschlands sind die positiven winterlichen Effekte weitaus geringer als die negativen im Sommer (vergleiche Abbildung 17).

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen den positiven Effekt des Mortalitätsrückgangs im Winter im Vergleich zum negativen Effekt des Mortalitätsanstiegs im Sommer. Dabei wird die Basis aus Beobachtungen der Vergangenheit nicht einbezogen. (Dies wirkt sich auch auf den Alterseffekt aus, da dieser auch die Basis betrifft.) Abbildung 22 stellt die Auswirkungen im Sommer (links) denen im Winter (rechts) gegenüber. Es wird deutlich, dass

die negativen Auswirkungen im Sommer die positiven Effekte im Winter deutlich übersteigen.

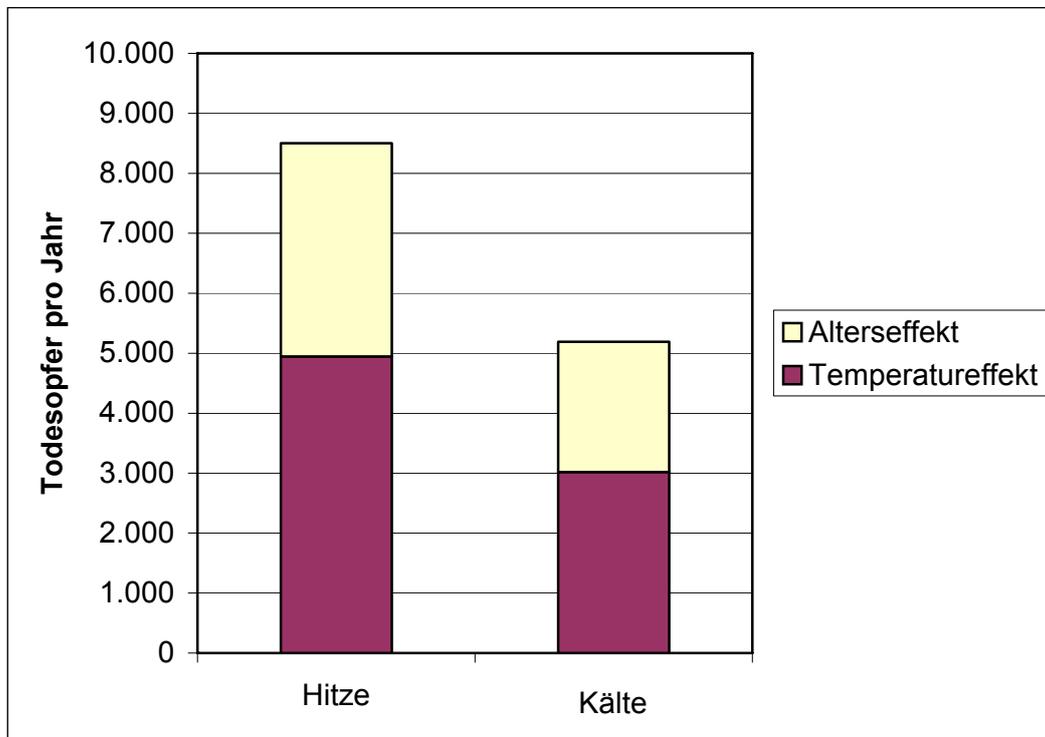


Abbildung 22: Hitze- und Kälteopfer in Deutschland pro Jahr im Prognosezeitraum 2071 bis 2100 im Vergleich, beide in 10-mal-10-km²-Auflösung ohne Basiswerte aus der Vergangenheit berechnet

Allerdings zeigt Abbildung 23 dass sich hitze- und kältebedingte Folgen unter Berücksichtigung der Bevölkerungsstruktur in der Mitte Deutschlands in etwa die Waage halten. Im Nordosten Deutschlands entsteht ein leicht positiver Effekt, das heißt, die Vorteile im Winter sind größer als die Nachteile im Sommer. Im Süden und Südwesten dominiert dagegen das Risiko durch zunehmende Hitze.

Auch im Frühjahr und Herbst kann die zukünftige Temperaturerhöhung zu geringeren Opferzahlen führen, da die Sterberate mit zunehmender Temperatur fällt, aber nur solange nicht zu viele zusätzliche heiße Tage auftreten.

Der zu erwartende Nettoeffekt aus einer Abnahme der Sterblichkeit im Winter, einer Zunahme im Sommer und einer Veränderung im Frühjahr und Herbst führt in der Literatur zu widersprüchlichen Resultaten.

Für das Vereinigte Königreich hat man eine Abnahme der Opferzahlen im Winter von etwa 29.000 gegenüber einer Zunahme der Todesfälle im Sommer von ca. 2.700 bis zum Jahr 2080

geschätzt.⁵⁹ Im Gegensatz hierzu zeigt eine Simulation für US-amerikanische Großstädte und die Jahre 2020 und 2050 einen drastischen Anstieg der Todesfälle im Sommer, aber nur einen geringen Rückgang der Wintersterblichkeit.⁶⁰ Auch in Australien werden voraussichtlich zusätzliche Todesopfer im Sommer jene im Winter bei weitem übertreffen. Das Ergebnis dieser Studie bestätigt tendenziell die beiden letztgenannten Untersuchungen.

Differenz Hitzeopfer – Kälteopfer

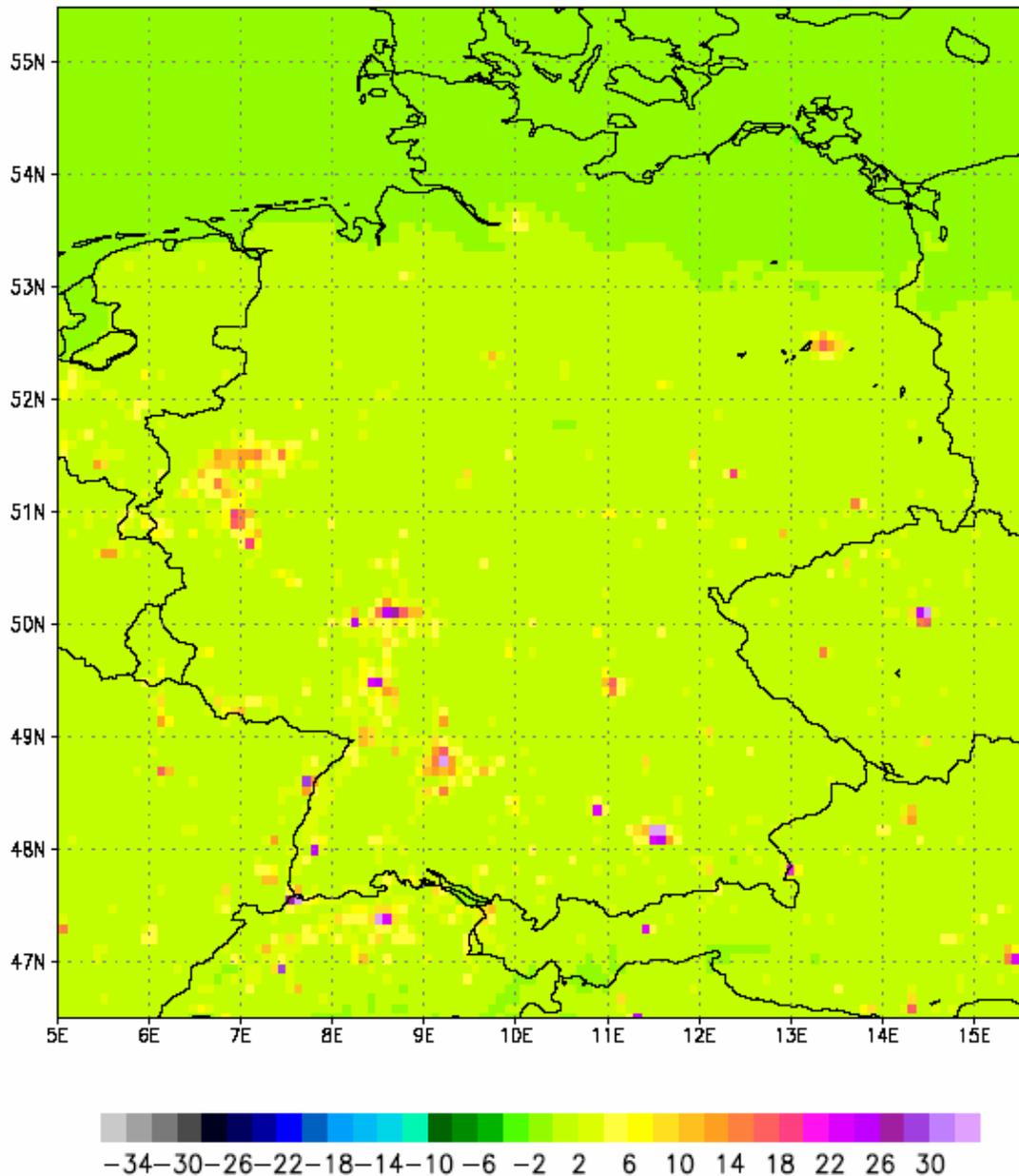


Abbildung 23: Räumliche Verteilung der Anzahl an hitzebedingten Todesopfern minus kältebedingten Opfern in Deutschland, Angaben pro 10-mal-10-km²-Sektoren

⁵⁹ DONALDSON et al. (2002).

⁶⁰ KALKSTEIN und GREENE (1997).

Die positiven Klimateffekte während der kalten Jahreszeit machen keineswegs Anpassungsmaßnahmen überflüssig. Vielmehr besteht die Chance, die negativen Auswirkungen im Sommer soweit möglich zu vermeiden und gleichzeitig von der positiven winterlichen Wirkung zu profitieren, so dass sich insgesamt eine positive Bilanz ergibt.

Die Entwicklung der Todesfälle durch die vom Klimawandel verursachte Erwärmung über das ganze Jahr ist als noch nicht zu klären. Einerseits sind die Berechnungen für die zusätzlichen Hitzeperioden im Sommer schon recht unsicher, andererseits sind der Rückgang der Kältetage und deren Wirkung auf den menschlichen Organismus noch kaum erforscht. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass die Anpassung an vermehrte Hitzeperioden eine, wenn nicht die entscheidende Rolle dabei spielt, wie stark die negativen Auswirkungen sind. Dies wird schon dadurch angedeutet, dass die für Deutschland prognostizierten Höchsttemperaturen zum Ende dieses Jahrhunderts in anderen Regionen der Welt zum klimatischen Alltag gehören oder deutlich übertroffen werden.

7 Anpassung an die zunehmende Hitze

Die bisher dargestellten Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit sind alle - neben weiteren Vereinfachungen - unter der Annahme geschätzt worden, dass keine Anpassung an höhere Sommertemperaturen stattfindet. Angesichts eines Prozesses der über mehr als 50 Jahre ablaufen wird, ist dies natürlich nicht realistisch. Eine Vielzahl von Maßnahmen aber auch natürliche Anpassungen können und werden stattfinden. Diese in die Untersuchung einzubeziehen ist bei heutigem Wissensstand nicht möglich und bleibt zukünftiger Forschung überlassen. Hier seien nur kurz die Anpassungsmöglichkeiten erwähnt und es werden erste Schritte zu einem bewussten Umgang mit Hitzewellen dargestellt.

Über lange Zeiträume ist die Akklimatisierung des Menschen natürlich ein nicht zu unterschätzender Faktor. Der Akklimatisierung sind allerdings durch die saisonalen Temperaturschwankungen größere Grenzen gesetzt, als dies in Regionen mit geringen saisonalen Temperaturunterschieden möglich ist. Verhaltensänderungen im Berufsleben und in der Freizeit können die gesundheitlichen Gefährdungen sicher reduzieren. Sie würden damit die Kosten des Klimawandels senken, wären aber möglicherweise mit einer Einbuße an Lebensqualität verbunden.

Die größte Gesundheitsgefahr durch Hitzewellen besteht für ältere Menschen und Kleinkinder. Gerade bei älteren Menschen sind die Anpassungsmaßnahmen oft mit einer intensiveren Betreuung verbunden, die auch Mehrkosten verursachen wird. Nimmt man den demographischen Wandel zum Klimawandel hinzu, so kann dies zu einer Herausforderung werden. Bislang lassen sich diese Kosten nicht genau beziffern, so dass eine Abschätzung des Gesamtaufwands in Deutschland nicht möglich ist. Auch eine Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmaßnahmen zur Vermeidung von durch Hitze verursachten Krankheiten ist derzeit nicht möglich. Große Wirkung scheint durch geeignete Maßnahmen erreichbar zu sein, wie eine US-amerikanische Studie zeigt. In ihr wurde durch Anpassungsmaßnahmen in Milwaukee ein Rückgang von Todesfällen und medizinischen Notfällen zwischen 1995 und 1999 um 49 % statistisch nachgewiesen.⁶¹

Die Wirkung von Anpassungsstrategien im Berufsleben und deren Wirkung auf die gesamtwirtschaftliche Produktion ist ein besonders komplexes Thema. Zum einen ist die Abhängigkeit der beruflichen Produktivität von Klimaparametern sehr unterschiedlich. Arbeiten im Freien unterscheiden sich grundsätzlich von solchen in geschlossenen Räumen, schwere körperliche Arbeit reagiert anders auf Hitze als mentale Fähigkeiten. Zum anderen können Berufstätige bei all diesen Tätigkeiten unterschiedlich vor Hitze geschützt werden. Es seien nur bauliche Maßnahmen (Isolation und Belüftung) oder Klimaanlage erwähnt.

Die Effektivität des Einsatzes von Klimaanlage ist in Südost-England und den USA belegt worden.⁶² So stieg beispielsweise die hitzebedingte Sterblichkeit in North Carolina zwischen 1978 und 1997 trotz eines Temperaturanstiegs um durchschnittlich 1°C nicht an, da der Anteil an Besitzern von Klimaanlage in der Bevölkerung von 57 % auf 72 % zunahm. In New York City konnten Todesfälle wegen Hitze zwischen 1964 und 1988 durch die Verbreitung von Klimaanlage vermutlich um 21 % reduziert werden.⁶³ Es gibt wegen der hohen Kosten auch Vorschläge, einzelne Räume zur Abkühlung einzurichten, in denen sich Gefährdete jeweils für einige Stunden aufhalten.⁶⁴ Eine flächendeckende Verbreitung von Klimaanlage würde aber einen aufwendigen Ausbau der Stromerzeugung und der Stromnetze nötig machen. Darüber hinaus würde eine solche Politik mit weiteren Emissionen von Treibhausgasen einhergehen.

⁶¹ WEISSKOPF et al. (2002).

⁶² Zitiert in ANDERSON und BAUSCH (2006), siehe auch BASU und SAMET (2002).

⁶³ KALKSTEIN und GREENE (1997).

⁶⁴ MICHELON et al. (2005).

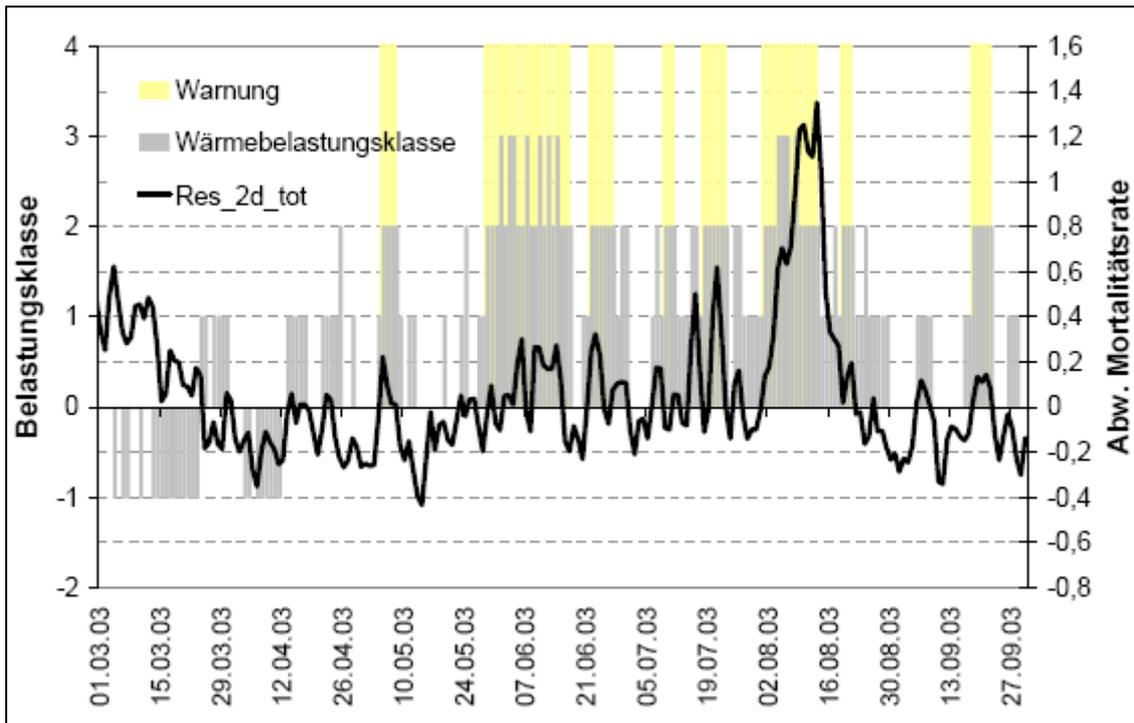


Abbildung 24: Hitzewarnungen nach dem Verfahren des Deutschen Wetterdienstes, wenn es in 2003 angewendet worden wäre, Quelle: KOPPE und JENDRITZKY (2004)

Schon heute gibt es in Deutschland, wahrscheinlich als Reaktion auf die Ereignisse im Jahr 2003, einige Initiativen zu einem vorausschauenden Umgang mit Gesundheitsgefahren von Hitzewellen. So hat das Sozialministerium Baden-Württemberg Informationsblätter zum richtigen Verhalten bei Hitze mit zahlreichen hilfreichen Maßnahmen für die Pflege älterer Menschen herausgegeben.⁶⁵ Der Deutsche Wetterdienst hat ein Hitzewarnsystem auf der Grundlage von Klassen Gefühlter Temperatur entwickelt.⁶⁶ Das Hitzewarnsystem wurde zuerst in Baden-Württemberg als Teil eines Fünf-Punkte-Plans mit Maßnahmen bei Hitzeereignissen des Sozialministeriums eingeführt. Eine Warnung wird gegeben, wenn starke oder extreme Wärmebelastung oder mindestens mäßige Wärmebelastung an drei aufeinanderfolgenden Tagen vorhergesagt ist. Wäre das Hitzewarnsystem in 2003 bereits zur Anwendung gekommen, wären Warnmeldungen an den gelb markierten Tagen ergangen, wie dies in Abbildung 24 dargestellt ist. Die Abbildung zeigt, dass damit tatsächlich die Tage mit erhöhter Mortalität erfasst worden wären. Man kann annehmen, dass mit einer solchen Warnung und geeigneten Maßnahmen die Mortalität hätte geringer ausfallen können als sie sich in dieser Hitzeperiode ergeben hat.

⁶⁵ SOZIALMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2004).

⁶⁶ BECKER (2005).

Die Herausforderung besteht darin, Hitzewellen frühzeitig vorherzusehen und die Hitzewarnungen schnell und flächendeckend bekanntzumachen. Allerdings lassen sich Temperaturen nur für einige Tage voraussagen. Sowohl Hitzebelastungsprognosen als auch Warnmeldungen sollten sich auf bekanntermaßen warme Regionen und Einrichtungen mit gefährdeten Personen konzentrieren. Schon heute können Warnungen direkt vom Deutschen Wetterdienst oder über die allgemeinen Medien ausgegeben werden.

Bei vorhergesagter Hitzebelastung wird die Öffentlichkeit zum Beispiel online unter <http://www.dwd.de/de/WundK/Warnungen/Hitzewarnung/index.htm> gewarnt.

Die gleichen Warnungen gehen auch an die Landesbehörden, die diese Warnungen dann bis an die einzelnen zum Beispiel Pflegeheime weiterverteilen.

Nach Baden-Württemberg hat auch Hessen in 2004 ein Hitzewarnsystem eingeführt. „Hält die ungewöhnliche Hitze für mehr als zwei Tage an, dann werden in der Alarmstufe zwei auch die Gesundheitsämter und die Krankenversicherung eingeschaltet, die per Telefon, Internet und Email Krankenhäuser, niedergelassene Ärzte, den Rettungsdienst und per Radio die Öffentlichkeit informieren. Für die Niedergelassenen heißt es dann, gefährdete Patienten im Auge zu behalten, egal ob sie in einem Heim sind oder nicht.“⁶⁷

Im Ausland gibt es schon länger Aktivitäten zur Hitzewarnung. In Portugal besteht seit 1999 ein ÍCARO genanntes Hitzeüberwachungssystem unter Mitwirkung des Meteorologischen Instituts und des Nationalen Gesundheitsobservatoriums. Der ÍCARO-Index konnte im Sommer 2003 die tatsächlichen Folgen der Hitze gemessen an täglichen Todesfällen gut vorhersagen. Auch Frankreich hat nach den verheerenden Auswirkungen der Hitzewelle 2003 ein Hitzeüberwachungs- und Informationssystem eingeführt. Weitere Beispiele sind der National Weather Service in Chicago, das System der Universität Delaware (verwendet in Toronto) und das PHEWE⁶⁸-Projekt der Europäischen Union.⁶⁹

Abbildung 25 bietet eine Übersicht über Anpassungsmöglichkeiten, deren wahrscheinliche Effektivität, eine erste qualitative Abschätzung der Kosten, ihre zeitliche Realisierbarkeit und andere besondere Eigenschaften. Die Erforschung von Effektivität, Kosten und Nutzen, sowie der Umsetzbarkeit dieser Optionen steht noch aus.

⁶⁷ ÄRZTEZEITUNG (2006).

⁶⁸ Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe.

⁶⁹ NOGUEIRA (2005).

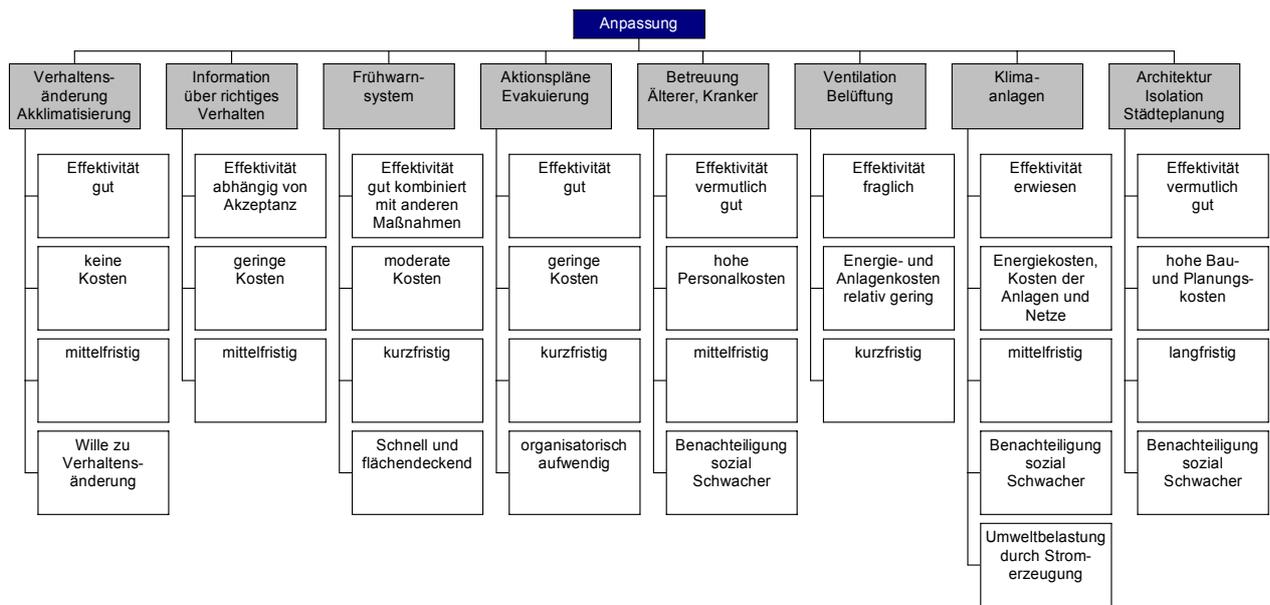


Abbildung 25: Systematik von Anpassungsmaßnahmen

8 Resümee

Diese Studie stellt den Wissensstand über die Auswirkungen des Klimawandels in Form von steigenden Temperaturen für die Gesundheit der Menschen in Deutschland zusammen. Auf der Basis neuer hoch aufgelöster Szenariorechnungen der zu erwartenden Hitzebelastung in Deutschland mit Hilfe des REMO-Modells wurde für den Zeitraum 2071 bis 2100 die Hitzebelastung in Form Gefühlter Temperaturen in ihrer räumlichen Verteilung bestimmt. Im Laufe des 21. Jahrhunderts ergibt sich in allen drei IPCC-Szenarien eine deutliche Zunahme der Hitzebelastung um etwa einen Tag an Nord- und Ostsee und bis zu 25 Tagen in den Tälern Süddeutschlands, was einer Zunahme um das Zwei- bis Fünffache entspricht. Damit dürfte sich der regionale klimatische Gegensatz in Deutschland weiter verstärken.

Welche Auswirkungen diese Erwärmung für die Gesundheit der Menschen und ihre Lebensqualität hat, lässt sich anhand der bestehenden Studien nur grob abschätzen. Auf Basis der Erfahrungen aus dem Hitzesommer im Jahr 2003 in Europa und mit Hilfe außereuropäischer Studien wurde der erwartete Anstieg der durch hohe Temperaturen verursachten Mortalität hochgerechnet. Dabei zeigte sich, dass der Anstieg der Mortalität aus zwei Komponenten besteht. Die Bevölkerungsgröße und deren Struktur werden sich in diesem Jahrhundert stark verändern, indem der Anteil älterer Menschen deutlich zunimmt, die Bevölkerung selbst aber abnimmt. Gleichzeitig sind ältere Menschen durch große Hitze

besonders gefährdet. Deshalb kann der Anstieg der Todesopferzahl, der auf Tage starker oder extremer Hitze zurückzuführen ist, etwa zur Hälfte den Temperaturen direkt zugerechnet werden, während die andere Hälfte darauf beruht, dass die demographische Struktur ein höheres Gefährdungspotential beinhaltet. Mit anderen Worten, wäre die demographische Struktur zum Ende des Jahrhunderts heute schon da, würden auch heute schon mehr Menschen in Zeiten hoher Temperaturen gefährdet sein.

Durch die von dem Klimamodell berechneten vermehrten Hitzetage werden (für das IPCC-Szenario A1B und mit exponentieller Extrapolation für extreme Hitze) bei gleicher Bevölkerungszahl und gleicher Alterstruktur etwa 5.000 zusätzliche Todesfälle und unter Einbeziehung der demographischen Alterung der Gesellschaft ca. 12.000 zusätzliche Todesfälle eintreten. Diese Zahlen können nur als Anhaltspunkt dienen, da sowohl der quantitative Zusammenhang von Temperatur und Todesfällen als auch der Anteil älterer Menschen unter den Opfern nicht exakt bestimmbar sind.

Die Annahmen über hitzebedingte Sterbefälle und den Anteil betroffener älterer Mitbürger variieren regional und zeitlich, so dass nur mit geeigneten Parameterwerten gerechnet werden kann. Da diese Hochrechnungen keine Anpassungsmaßnahmen beinhalten, entsteht außerdem eine Überschätzung der realen Ausmaße.

Neben dem Extremfall eines tödlichen Ausgangs von großer Hitze gibt es eine Vielzahl nicht tödlicher Gesundheitseffekte. Deren Ausmaß ist wegen der fehlenden Statistiken nicht direkt zu quantifizieren. Einen Anhaltspunkt geben Krankenhauseinweisungen, die nach Erfahrungen aus der Vergangenheit während Hitzeperioden ansteigen. Diese Information wurde benutzt, um das Ausmaß der Krankheitswirkungen unter dem zukünftigen Klima mit höheren Temperaturen abschätzen zu können. Die Verlässlichkeit der Schätzungen des Zusammenhangs zwischen Temperaturerhöhung und Krankenhauseinweisungen ist sehr umstritten und die Zahlen variieren in den verschiedenen Studien aus verschiedenen Ländern stark.

Trotzdem wurde auf der Basis der verschiedenen Studien ein durchschnittlicher Effekt für das IPCC-Szenario A1B abgeleitet, um einen Eindruck von der Größenordnung der durch die Gesundheitsbeeinträchtigung entstandenen Kosten zu bekommen. Als Indikator wurden, auch mangels besserer Daten, die durchschnittlichen täglichen Fallkosten in einem Krankenhaus benutzt. Es ergibt sich damit für Deutschland eine Summe von 500 Millionen Euro, die als zukünftige Kosten durch Krankenhauseinweisungen entstehen würden. Sie setzen sich zusammen aus etwa 220 Millionen Euro, die hitzebedingt unter heutigen Bevölkerungszahlen

und heutiger Bevölkerungsstruktur zusätzlich anfallen würden, und etwa 170 Millionen, die durch die Veränderung der Alterstruktur und durch den Rückgang der Bevölkerungszahl verursacht würden. Insgesamt machen diese Zahlen nur 0,88 % der heutigen Krankenhauskosten und 0,27 % der Kosten des Gesundheitssystems aus. Auch wenn die nichtstationären Kosten hinzugezählt werden könnten, würde die Summe immer noch einen kleinen Teil der Kosten des Gesundheitswesens bilden. Es bleibt aber zu betonen, dass sehr viel genauere Forschung nötig ist, um die Größenordnungen der Krankheitskosten durch Hitzeperioden abschätzen zu können. Die entsprechenden möglichen Einsparungen auf Grund höherer Wintertemperaturen sind noch weniger erforscht und eine Quantifizierung der Kosteneinsparung des Gesundheitswesens ist auf Grundlage der heutigen Literatur nicht möglich.

Der Klimawandel hat nicht nur Auswirkungen auf das Auftreten von Krankheiten, er belastet auch ohne Krankheitssymptome die Leistungsfähigkeit der Menschen und ihr Wohlbefinden. Es gibt eine ansehnliche Anzahl an Studien, welche die Reaktion der mentalen und physischen Leistungsfähigkeit bei steigenden Temperaturen untersucht haben. Die Ergebnisse zeigen eine außerordentlich große Bandbreite, die von 3 % Leistungsminderung bei hohen Temperaturen bis zu 50 % reicht. Hier wurde auf Basis der konservativen Parameter von 3 % und 12 % Leistungsminderung bei starker und extremer Hitze der Verlust an Wertschöpfung berechnet, der eintreten würde, wenn bei allen Berufstätigen der Effekt in gleichem Umfang aufträte.

Bei diesen Einschränkungen der Leistungsfähigkeit würde das Sozialprodukt um 0,12 % bis 0,48 % niedriger ausfallen als wenn keine Hitzetage auftreten würden. Geht man von den häufig in der Literatur zitierten Leistungsverlusten von 30 bis 50 % bei extremer Hitze aus, so könnte das Sozialprodukt um bis zu 5 % niedriger gegenüber einem Klima ohne Hitzetage ausfallen.

Die Gefährdung des Menschen kann durch extreme Wärme, aber auch durch große Kälte verursacht werden. Da im Zuge des Klimawandels nicht nur die Sommertemperaturen zu einer vermehrten Anzahl von die Gesundheit gefährdenden Hitzetagen führen, sondern auch zu einer verringerten Zahl an Kältetagen im Winter, müssen die positiven Effekte geringer Kälte mit denen großer Hitze verglichen werden. Eine Hochrechnung in 10-mal-10-Quadratkilometerauflösung für das IPCC-Szenario A1B zeigt einen Rückgang der Opferzahl um durchschnittlich 3.019 Personen pro Jahr im Prognosezeitraum ohne Berücksichtigung

demographischer Einflüsse. Angenommen, der Alterseffekt wirkt im Falle der Sterblichkeit im Winter genauso wie im Sommer, erhöht sich der Rückgang auf 5.190 Menschen jährlich.

Die Hochrechnung auf der Basis gleicher methodischer Ansätze wie im Falle von Hitze zeigt, dass der Anstieg der Mortalität im Sommer höher ist als der Rückgang der Todesfälle im Winter. Allerdings ist dieser Nettoeffekt in Deutschland ungleich verteilt. Der größeren Zahl an Todesfällen durch Hitze im Süden gegenüber dem Norden Deutschlands steht ein größerer Rückgang der Todesfälle durch Kälte im Norden gegenüber.

Der zu erwartende Nettoeffekt aus einer Abnahme der Sterblichkeit im Winter und einer Zunahme im Sommer (sowie Veränderungen im Frühjahr und Herbst) ist in der Literatur uneindeutig. Die vorliegende Schätzung prognostiziert in Übereinstimmung mit der Mehrheit anderer Studien, dass der Anstieg der Todesopferzahl durch zunehmende Hitze größer ausfällt als der Rückgang der Opferzahl durch weniger Kälte.

Aber selbst deutliche positive Auswirkungen des Klimawandels während der kalten Jahreszeit machen keineswegs Anpassungsmaßnahmen überflüssig. Vielmehr besteht die Chance, die negativen Folgen im Sommer soweit möglich zu vermeiden und gleichzeitig von der positiven winterlichen Wirkung zu profitieren, so dass sich insgesamt eine positive Bilanz ergibt.

Weil das Szenario A1B einen mittleren Emissionspfad und das aus heutiger Sicht „Machbare“ darstellt, wurde in dieser Studie weitgehend mit diesem Szenario gerechnet. Es gilt aber stets zu berücksichtigen, dass die Berechnungen unter anderen Annahmen über die zukünftige Entwicklung der Emissionen zu deutlich niedrigeren als auch höheren Ergebnissen über Hitzefolgen führen können.

Alle Berechnungen wurden unter der Annahme gemacht, dass keine Anpassung an den Klimawandel stattfindet. Dies führt zu einer Überschätzung der Ergebnisse, da sich zum Beispiel der menschliche Organismus automatisch bis zu einem gewissen Grad an den Klimawandel akklimatisiert. Darüber hinaus können individuelle als auch privatwirtschaftliche und staatliche Maßnahmen einen nicht unbeträchtlichen Teil der negativen Auswirkungen vermeiden. Abschätzungen über die Größenordnungen der Kostenreduktion durch Anpassungsstrategien sind bislang nicht möglich, nicht zuletzt weil sowohl die Wirkung der Anpassung als auch deren Kosten nicht bekannt sind.

Die vorliegenden Ergebnisse sind als erste Abschätzung zu sehen. Eine ganze Reihe von Effekten ist mit großen Unsicherheiten verbunden, die zu einer beträchtlichen Bandbreite der Ergebnisse führen. Forschung in den Bereichen der Wirkung von Extremtemperaturen auf den Menschen könnte belastbarere Parameter für die flächenmäßige Bestimmung von

Auswirkungen des Klimawandels bringen. Mit den bisherigen Erkenntnissen über den Zusammenhang von Temperatur und Gesundheit, die sich oft auf herkömmliche Temperaturangaben und nicht auf Gefühlte Temperaturen beziehen, können die berechneten Prognosedaten der Gefühlten Temperaturen noch nicht voll genutzt werden. Weitere empirische Forschungsarbeiten, die Gefühlte Temperaturen statt herkömmlichen Temperaturangaben verwenden, würden daher die Prognosequalität verbessern. Auch sind die Kosten der Therapie von durch Hitze verursachten Krankheiten heute nicht bekannt. Insbesondere müsste die wichtige Rolle von Anpassungsstrategien an vermehrte Hitzeperioden und deren Kosten untersucht werden.

Ein entscheidender Faktor für die Höhe der Resultate ist die Annahme über die zukünftige Bevölkerungsentwicklung. In dieser Studie wurde die Entwicklung bis 2050, aber noch nicht darüber hinaus berücksichtigt. Auch wurde die erwartete weitere Bevölkerungswanderung vom Osten in den Westen bzw. Süden Deutschlands und die Zuwanderung aus dem Ausland oder Abwanderung nicht in die Analyse einbezogen. Daher wird die Verwendung von Bevölkerungsprognosen, welche diese Effekte erfassen, zu präziseren Ergebnissen führen.

Die Auswirkung von Hitze auf die geistige und körperliche Arbeitsleistung unter realen Bedingungen ist noch unzureichend erforscht. Sowohl weitere Experimente als auch die statistische Auswertung von betrieblichen oder volkswirtschaftlichen Daten bezüglich Temperatur und Output können dies erhellen. In der vorliegenden Hochrechnung wurden identische Leistungseinbußen in allen Bereichen der Volkswirtschaft angenommen. Sinnvoll wären Forschungsergebnisse, die nach der Art der Arbeit oder nach Sektoren differenzieren. Mit neu gewonnenen Daten sollte zunächst eine präzisere Schätzung der hitzebedingten Verringerung des Bruttoinlandsprodukts zum heutigen Zeitpunkt erfolgen und im zweiten Schritt eine Prognose über zukünftige Produktionseinbußen durch den Klimawandel.

Es fehlen noch weitgehend Ansätze zur Quantifizierung der positiven Effekte von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und der natürlichen Akklimatisierung. Auf deren Grundlage könnte man vermiedene Kosten des Klimawandels mit den Kosten der Anpassungsmaßnahmen selbst vergleichen. Hierzu ist die genauere Erfassung der Kosten von Anpassungsmaßnahmen notwendig.

Gesundheitsfolgen bedingt durch hohe und niedrige Temperaturen sind nicht die einzigen durch den Klimawandel verursachten Wirkungen auf den Menschen. Man kann mit weiteren verstärkt auftretenden Extremwetterereignissen wie Überflutungen oder Stürmen in Folge des Klimawandels rechnen. Unter Umständen werden sich von Zecken übertragene Krankheiten,

die allergenen Wirkungen der EichenprozeSSIONSSPINNER und Allergien auslösende Pflanzen wie Ambrosia in Deutschland weiter verbreiten. Auch diese Phänomene gilt es, hinsichtlich ihrem möglichen Ausmaß und geeigneten Anpassungsprozessen genauer zu analysieren und soweit möglich zu quantifizieren.

9 Quellenverzeichnis

ÄRZTEZEITUNG (2006), <http://www.aerztezeitung.de/docs/2004/07/28/140a0203.asp>.

ANDERSON, J. und BAUSCH, C. (2006), "Climate change and natural disasters: Scientific evidence of a possible relation between recent natural disasters and climate change", Institute for European Environmental Policy, eco logic, IP/A/ENVI/FWC/2005-35, 02a/2006.

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

BALLESTER, F.; MICHELOZZI, P. und IÑIGUEZ, C. (2003), "Weather, climate, and public health", *Journal of Epidemiology and Community Health* 57, 759-760.

BECKER, P. (2005), „Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes: Notfallvorsorge“, *Zeitschrift für Katastrophenmanagement und Humanitäre Hilfe*, 22-23.

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

CALADO, R.M.D.; DA SILVEIRA BOTELHO, J.; CATARINO, J. und CARREIRO, M. (2005), "Health Impacts of the 2003 Heat-Wave in France" in Kirch, W; Menne, B. und Bertollini, R., "Extreme Weather Events and Public Health Responses", WHO Europe, EU Kommission, EEA, EUPHA, Springer Berlin Heidelberg New York, 89-97.

CONTI, S; MELI, P.; MINELLI, G.; SOLIMINI, R.; TOCCACELI, V; VICHI, M.; BELTRANO, M.C. und PERINI, L. (2005), "Epidemiologic Study of Mortality During Summer 2003 in Italian Regional Capitals: Results of a Rapid Survey" in Kirch, W; Menne, B. und Bertollini, R., "Extreme Weather Events and Public Health Responses", WHO Europe, EU Kommission, EEA, EUPHA, Springer Berlin Heidelberg New York, 109-120.

DONALDSON, G.; KOVATS, R.S.; KEATINGE, W.R. und MCMICHAEL, A.J. (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.

FANGER, P.O. (1972), "Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Analysis", McGraw-Hill, New York.

FROST, D.B. und AULICIEMS, A. (1993), "Myocardial infarct death, the population at risk and temperature habituation", *Int. J. Biometeorol* 37, 46–51.

GAGGE, A.P.; FOBELETS, A.P. und BERGLUND, P.E. (1986), "A standard predictive index of human response to the thermal environment," ASHRAE Trans. 92, 709-731.

GUEST, C.; WILLSON, K.; WOODWARD, K.; HENNESSY, K.; KALKSTEIN, L.S.; SKINNER, C. und MCMICHAEL, A.J. (1999), "Climate and Mortality in Australia: retrospective study, 1970-1990, and predicted in five major cities", Climate Research 13, 1-15.

HASSI, J. (2005), "Cold Extremes and Impacts on Health" in Kirch, W; Menne, B. und Bertollini, R., "Extreme Weather Events and Public Health Responses", WHO Europe, EU Kommission, EEA, EUPHA, Springer Berlin Heidelberg New York, 59-67.

HAVENITH, G. (2005), "Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress" in Kirch, W; Menne, B. und Bertollini, R., "Extreme Weather Events and Public Health Responses", WHO Europe, EU Kommission, EEA, EUPHA, Springer Berlin Heidelberg New York, 69-80.

IPCC (2001), "Climate change 2001: Synthesis report. Summary for policymakers", <http://www.ipcc.ch/pub/un/syrceng/spm.pdf>.

JACOB, D.; ANDRAE, U.; ELGERED, G.; FORTELIUS, C.; GRAHAM, P.L.; JACKSON, S.D.; KARSTENS, U.; KOEPKEN, C.; LINDAU, R.; PODZUN, R.; ROCKEL, B.; RUBEL, F.; SASS, H.B.; SMITH, R.N.D.; VAN DEN HURK, B.J.J.M. und YANG, X. (2001), "A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period", Meteorology and Atmospheric Physics 77, 19-43.

JENDRITZKY, G., MENZ, G., SCHIRMER, H. und SCHMIDT-KESSEN, W. (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.; STAIGER, H., BUCHER, K.; GRAETZ, A. und LASCHEWSKI, G. (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.

JOHNSON, H.; KOVATS, R. S.; MCGREGOR, G.; STEDMAN, J.; GIBBS, M.; WALTON, H.; COOK, L. und BLACK, E (2005), "The impact of the 2003 heat wave on mortality and hospital admissions in England," Health statistics Quarterly 25, 6-11.

KALKSTEIN, L.S. und DAVIS, R.E. (1989), "Weather and human mortality: an evaluation of demographic and interregional responses in the United States", Annals of the Association of American Geographers 79(1), 44-64.

KALKSTEIN, L.S. und GREENE, J.S. (1997), "An Evaluation of Climate/Mortality Relationships in Large U.S. Cities and the Possible Impacts of a Climate Change", Environmental Health Perspectives 105, 84-93.

KAMPMANN, B. (2000), „Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau“, Habilitationsschrift, Bergische Universität – Gesamthochschule Wuppertal.

KOPPE, C.; JENDRITZKY, G. und PFAFF, G. (2003), „Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit“, DWD Klimastatusbericht 2003, 152-162.

KOPPE, C. und JENDRITZKY, G. (2004), „Die Auswirkungen der Hitzewellen 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg“, Gesundheitliche Auswirkungen der Hitzewelle im August 2003, Sozialministerium Baden-Württemberg.

KOPPE, C. (2005), „Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse“, Bericht des Deutschen Wetterdienstes DWD 226, Offenbach.

KOVATS, R.S.; HAJAT, S. und WILKINSON, P. (2004), “Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK“, *Occup. Environ. Med.* 61, 893–898.

KOVATS, R.S. und JENDRITZKY, G. (2006) “The Impact of Heat on Health” in Menne, B. und Ebi, K.L., “Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health”, WHO Europe, 63-97.

LASCHEWSKI und 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.

MCMICHAEL, A.J.; WHETTON, P.; HENNESSY, R.; NICHOLLS, N.; HALES, S.; WOODWARD, A. und KJELLSTROM, T. (2002), “Human Health and Climate Change in Oceania: A Risk Assessment,” Commonwealth of Australia 2003.

MICHELON, T.; MAGNE, P. und SIMON-DELAVELLE, F. (2005), “Lessons of the 2003 Heat-Wave in France and Action Taken to Limit the Effects of Future Heat-Waves” in Kirch, W; Menne, B. und Bertollini, R., “Extreme Weather Events and Public Health Responses”, WHO Europe, EU Kommission, EEA, EUPHA, Springer Berlin Heidelberg New York, 131-140.

NOGUEIRA, P.J. (2005), “Examples of Health Warning Systems: Lisbon’s ÍCARO’s Surveillance System, Summer of 2003” in Kirch, W; Menne, B. und Bertollini, R., “Extreme Weather Events and Public Health Responses”, WHO Europe, EU Kommission, EEA, EUPHA, Springer Berlin Heidelberg New York, 141-159.

SCHÖNWIESE, C.-D.; STAEGER, T.; TRÖMEL, S. und JONAS, M. (2003), „Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland“, DWD Klimastatusbericht 2003, 123-132.

SCHWARTZ, J.; SAMET, J.M. und PATZ, A. (2004), “Hospital Admissions for Heart Disease - The effects of Temperature and Humidity“, *Epidemiology* 15(6).

SEMENZA, J.C.; MCCULLOUGH, J.E.; FLANDERS, W.D.; MCGEEHI, M.A. und LUMPKIN, J.R. (1999), „Excess Hospital Admissions During the July 1995 Heat Wave in Chicago“, *American Journal of Preventive Medicine* 16(4), 269-277.

SOZIALMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2004), http://www.sozialministerium-bw.de/de/Meldungen/57521.html?_min=_sm&template=min_meldung_html&referer=80177.

STAIGER, H.; BUCHER, K. und 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* 33, 100-107.

UPHOFF, H. und HAURI, A.M. (2005), „Auswirkungen einer prognostizierten Klimaänderung auf Belange des Gesundheitsschutzes in Hessen“, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG).

VANDENTORREN, S. und EMPEREUR-BISSONNET, P. (2005), “Health Impacts of the 2003 Heat-Wave in France” in Kirch, W; Menne, B. und Bertollini, R., “Extreme Weather Events and Public Health Responses”, WHO Europe, EU Kommission, EEA, EUPHA, Springer Berlin Heidelberg New York, 81-87.

VDI (1994), „Umweltmeteorologie. Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung,“ VDI-Richtlinie 3789, Blatt 2.

VDI (1998), „Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung“, Teil I. Klima, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2.

WEISSKOPF, M.G.; ANDERSON, H.A.; FOLDY, S.; HANRAHAN, L.P.; BLAIR, K.; TÖRÖK, T.J. und RUMM, P.D. (2002), “Heat Wave Morbidity and Mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995: An Improved Response?”, American Journal of Public Health 92(5).

WELT AM SONNTAG (23.07.2006), „Schon zehn Grad mehr Hitze senken die Arbeitsleistung um rund 30 Prozent“ von Jost, S; Wüpper, G.; Struve, A. und Finkenzeller, K.

WHO EUROPE (2005), “Health and Climate Change: the ‘now and how’ - A policy action guide”, <http://www.euro.who.int/document/E87872.pdf>.

WYON, D (1986), “The effects of indoor climate on productivity and performance - A review”, WS and Energi 3, 59-65.

ZEBISCH, M.; GROTHMANN, T.; SCHRÖTER, D.; HASSE, C.; FRITSCH, U.; CRAMER, W. (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.

Wir danken dem **Umweltbundesamt** Dessau für die Daten des lokalen Klimamodells REMO, dem **Deutschen Wetterdienst** für die Überlassung des Klima-Michel-Modells und Herrn Prof. Dr. **Wolfram Mauser** für die Bereitstellung von Bevölkerungsdaten. Besonderer Dank gilt Herrn Dr. **Birger Tinz** für die Berechnung der thermischen Umgebungsbedingungen des Menschen, deren Dokumentation und Darstellung und die fachkundige Beratung.