



Forschungsreihe:

Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich

Band 3

Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in Oberösterreich

Im Auftrag von

Umweltlandesrat Rudi Anschober

Juli 2007
überarbeitete Version

**Institut für Meteorologie, Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien**

Peter-Jordan-Str. 82, A-1190 Wien, Österreich

In Zusammenarbeit mit:

**Institut für Umwelthygiene, Medizinische Universität Wien
Statistik Austria**

Projektleiterin:

Univ.-Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb

E-Mail: helga.kromp-kolb@boku.ac.at, Tel:+43 1 47654-5601, Fax 47654-5610

ProjektmitarbeiterInnen:

DI Thomas Gerersdorfer

E-Mail: thomas.gerersdorfer@boku.ac.at, Tel: +43 1 47654-5617, Fax 54654-5610

Dr. Hanns Mooshammer, Tel: +43 1 4277-64711, Fax 4277-64799

E-mail: hanns.moshammer@meduniwien.ac.at

Hans-Peter Hutter, Tel: +43 1 4277-64727, Fax 4277-64799

Email: hans-peter.hutter@meduniwien.ac.at

Barbara Leitner, Tel: +43 1 71128-7262, Fax 71128-7728

Email: barbara.leitner@statistik.gv.at

Dr. Herbert Formayer

E-Mail: herbert.formayer@boku.ac.at, Tel: +43 1 47654-5615, Fax 54654-5610

<http://www.wau.boku.ac.at/met.html>

Forschungsreihe:

Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich

Band 3:

Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in Oberösterreich

AutorInnen:

Hanns Moshhammer, Medizinische Universität Wien, Institut für Umwelthygiene

Thomas Gerersdorfer, Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie

Hans-Peter Hutter, Medizinische Universität Wien, Institut für Umwelthygiene

Hebert Formayer, Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie

Helga Kromp-Kolb, Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie

Barbara Leitner, Statistik Austria

Redaktionelle Mitarbeit:

Ingeborg Schwarzl, Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur

Im Auftrag von Umweltlandesrat Rudi Anschober

Juli 2007

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1. Einleitung.....	5
2. Stand des Wissens.....	5
Epidemiologische Studien.....	5
Klimawandel - Bisherige Veränderungen	7
Szenarienberechnungen	10
3. Design der Studie / Methode	12
Hitzeepisoden	12
Einflussfaktoren auf die Sterblichkeit	13
Abschätzung zukünftiger Gesundheitseffekte	17
4. Ergebnisse	18
5. Strategien und Maßnahmen	23
Literaturverzeichnis	26
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	29
Anhang	31

1. Einleitung

Im heißen Sommer 2003 sind in Europa rund 35.000 Menschen mehr gestorben als im langjährigen Mittel. Die WHO (2004) nennt aufgrund der Hitzewellen 2003 folgende Zahlen zur Übersterblichkeit: Frankreich: 14.802 Personen; UK: 2.045; Portugal: 2.099. Grynszpan (2004) beziffert die Übersterblichkeit in Deutschland mit etwa 5.000, in Italien mit ~3.000, in Spanien mit ~6.000 und in Holland mit ~1.500 zusätzlichen Todesfällen. Eine detaillierte Studie weist für das Bundesland Baden-Württemberg allein eine Übersterblichkeit von 1100 Fällen aus (Koppe und Jendritzky 2004). In einem kürzlich veröffentlichten Report schätzt das Earth Policy Institute (Larsen 2006), dass mehr als 52 000 Europäer an den Folgen der Hitzewelle 2003 gestorben sind. Auch die Krankenhäuser seien an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit gestanden. Die WHO (2006) mahnt, dass Europa nicht gut genug auf unerwartete Hitze- (und auch Kälte-) Perioden vorbereitet sei, wie sich auch im Jahr 2003 gezeigt habe. In Ländern wie Frankreich oder Portugal wurde mittlerweile bereits begonnen, Hitzewellen-Warnsysteme einzurichten.

Es gibt eine Reihe von internationalen Studien, welche die gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzewellen untersuchen. Vor allem die Hitzewelle im Jahr 2003 hat dazu geführt, dass auch in Europa vermehrt an diesem Thema geforscht wird. Der Fokus liegt hauptsächlich bei der Betrachtung hoher Maximumtemperaturen über längere Zeiträume (Hitzeperioden).

Die Untersuchungen gewinnen an Bedeutung mit der globalen Erwärmung, die bereits jetzt deutlich ist und in Zukunft noch weiter zunehmen wird. Mit der Erwärmung geht auch eine Zunahme der Häufigkeit von Extremtemperaturen einher, sodass sich die Frage stellt, welche Konsequenzen der Klimawandel auf Gesundheit und Mortalität hat und in Zukunft haben wird. Aufbauend auf den in Band 1 dieser Forschungsreihe dargestellten Untersuchungen der bisher beobachteten Veränderungen der Hitzeperioden und der möglichen künftigen Entwicklungen in Oberösterreich, widmet sich die vorliegende Arbeit den Auswirkungen auf die Sterblichkeit.

2. Stand des Wissens

Epidemiologische Studien

In vielen Ländern Europas gibt es - auch vor 2003 - publizierte Untersuchungen zum Phänomen der Temperaturabhängigkeit der Sterblichkeit, z.B. Rooney et al. 1998; Diaz et al. 2002a und 2002b. Eine ausführliche Zusammenfassung und Übersicht der epidemiologischen Literatur zum Thema „Gesundheitliche Auswirkungen von Hitzeperioden“ von 1970 bis 2002 geben Basu und Samet (2002). Wenn dieser Bereich auch schon vor 2003 international beforscht wurde, so hat die Hitzewelle des Jahres 2003 in Europa das Interesse an dieser Problematik erneut stimuliert. Insbesondere aus Frankreich, aber auch aus anderen europäischen Staaten liegen neue Arbeiten vor: Grize et al. 2005, Johnson 2005, Kovats et al. 2004, Vandentorren et al. 2004, Braun-Fahrländer 2004, WHO 2004, Robert-Koch-Institut 2004, Poumadere et al. 2005, Le Tertre et al. 2006, Díaz et al. 2006, Simón 2005, Garssen 2005 und Trigo 2005. In Österreich gibt es bislang nur wenige Studien, die zum Teil im Rahmen von

StartClim2005¹ durchgeführt wurden, zum Teil auf diesen Arbeiten aufbauen (Moshammer et al 2005, Gerersdorfer et al. 2005, Hutter und Moshammer 2005, Hutter et al. 2007, Moshammer und Hutter 2005).

Donoghue et al. (1997) definieren einen hitzebedingten Todesfall als einen Todesfall, bei dem die Exposition gegenüber hohen Umgebungstemperaturen den Tod entweder verursacht oder signifikant dazu beiträgt. Es gibt zahlreiche epidemiologische Methoden zur Abschätzung der Auswirkungen von thermischen Umgebungsbedingungen auf die Morbidität und Mortalität und somit auch zur Abschätzung von temperatur- oder hitzebedingten Todesfällen. Die Ergebnisse sind sehr von der jeweiligen Methode abhängig, und ein Vergleich untereinander daher eher schwierig. Bei der Betrachtung der Übersterblichkeit infolge einer Hitzewelle (Einzelereignis) wird die Anzahl der Verstorbenen meist mit derjenigen aus Vergleichszeiträumen zuvor verglichen. Dies sind z.B. Vergleiche mit Todesfällen desselben Zeitraumes des Vorjahres bzw. auch gemittelte Zahl von Todesfällen der Vergleichszeiträume mehrerer Jahre. Diesbezügliche Beispiele sowie Analysen von Hitzeepisoden aus verschiedenen europäischen Ländern sind in WMO (2004) angeführt.

Die Studien zeigen, dass das Gefährdungspotential durch Hitze sowohl von klimatischen Faktoren (wie Häufigkeit, Intensität und Dauer von Hitzewellen) als auch von einzelnen, individuellen Risikofaktoren und medizinischen, verhaltens- und umweltbedingten Einflüssen abhängt. Es gibt beispielsweise Indizien, dass Hitzeperioden dramatischere Auswirkungen auf Mortalität und Morbidität haben, wenn sie früher im Sommer auftreten (Nogueira 2005, Hajat et al. 2002). Als Risikofaktoren bekannt sind vor allem: höheres Alter (hier die Altersgruppe 65+, z.B. Díaz et al. 2002) bzw. Kleinkindalter bis 1 Jahr (Abb.1, auch Basu and Samet 2002), beeinträchtigte Wahrnehmung, bereits vorhandene kardiovaskuläre bzw. Atemwegserkrankungen, Bettlägrigkeit, Schwerarbeit, Dehydrierung, physische und soziale Isolation, niedriger sozioökonomischer Status (geringes Einkommen, schlechte Wohnsituation, extrem dichte Bebauung) sowie fehlende Klimatisierung (Klimaanlagen).

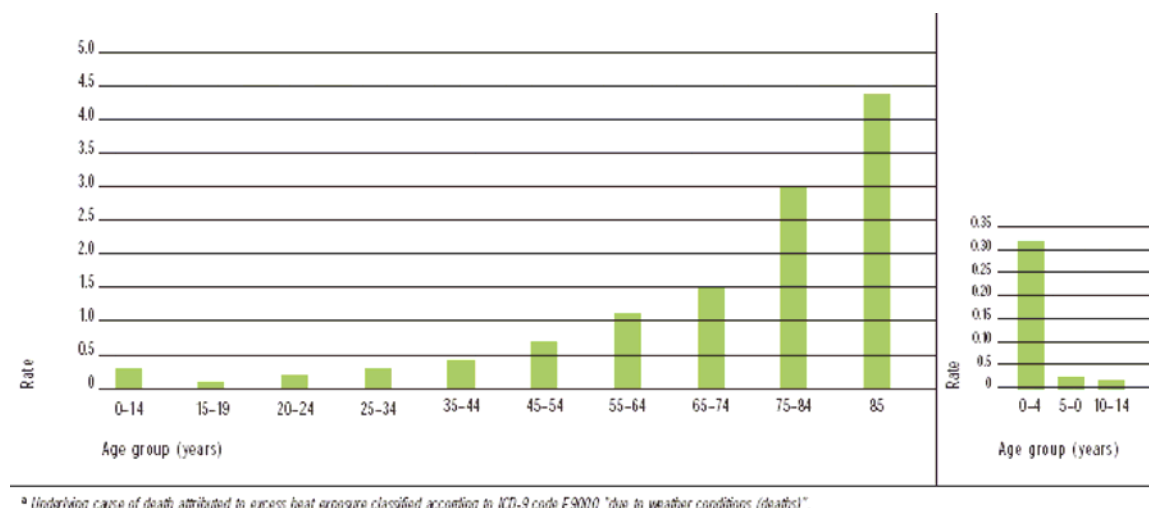


Abb. 1: Gemittelte jährliche Rate von hitzebedingten Todesfällen pro 1 Million Einwohner in den USA nach Altersgruppen, 1979-1997 (Centers for Disease Control and Prevention, 2002).

¹ Beschreibung von StartClim: siehe Anhang

Grundsätzlich zeigen die meisten Studien eine erhöhte Übersterblichkeit ab der Altersgruppe 65+, manche allerdings erst ab der Gruppe 75+ und darüber (Nogueira et al. 2005, Conti et al. 2004). Besonderes Augenmerk sollte der Verletzlichkeit der älteren Generation in Hinblick auf die steigende Lebenserwartung und die größer werdende Gruppe der älteren Bevölkerung geschenkt werden (Bevölkerungsentwicklung).

Betrachtet man die Erhöhung der Todesrate einzelner Altersgruppen in der Schweiz in den Hitzeperioden des Jahres 2003, so zeigt sich, dass auch bei den über 40-Jährigen ein leichter Anstieg zu verzeichnen war (Braun-Fahrländer 2004). Das Problem ist daher keinesfalls auf ältere Menschen beschränkt.

Es gibt jedoch auch Hinweise auf „Akklimatisation“, d.h. Anpassung an langsame Klimaänderungen oder – z.B. bei Übersiedlungen – an abrupte, aber dann langanhaltende Veränderungen (WMO 2004).

Klimawandel - Bisherige Veränderungen

Als Folge des Klimawandels sind im 20. Jahrhundert die Temperaturen global um 0,7°C gestiegen, wobei die größten Temperaturänderungen in den mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre statt gefunden haben (IPCC 2007). Die Winter werden milder, die Sommer wärmer, und Hitzewellen treten häufiger und intensiver auf. Letzteres ist schon aus rein statistischen Überlegungen bei einer Verschiebung der Mitteltemperaturen zu höheren Werten hin zu erwarten (Abb.2), wobei der Effekt verstärkt wird, wenn zusätzlich zur Erwärmung auch eine Zunahme der Varianz der Temperaturen auftritt (Houghton et al. 2001).

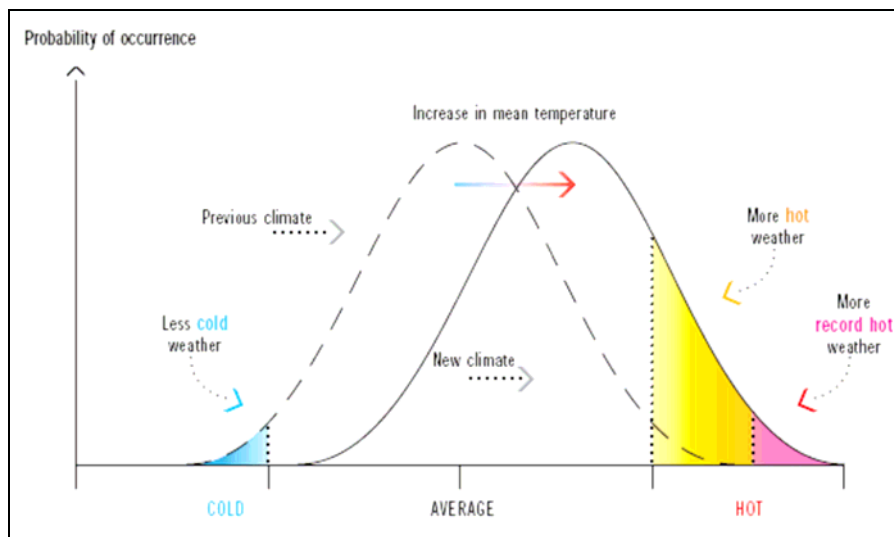


Abb. 2: Änderungen der Wahrscheinlichkeit extremer Wetterereignisse bei Annahme unveränderter Varianz (Houghton et al. 2001).

Klein Tank et al. (2002) kommen in ihrem „European Climate Assessment“ zu dem Ergebnis, dass Europa in den letzten Dekaden einen beispiellosen Anstieg der Temperatur erfahren hat. In der Periode von 1976 bis 1999 ist u.a. die Anzahl der warmen Extreme doppelt so schnell wie erwartet gestiegen, verbunden mit einem entsprechendem Rückgang der kalten Extremereignisse. In dieser Periode sind die Temperaturminima (in der Nacht) stärker gestiegen als die Tagesmaxima (Easterling et al. 1997, IPCC 2001, Tab. 1). Hulme et al. (2002) weisen darauf hin, dass in Zent-

ralengland die Anzahl der heißen Tage seit den 1960-er Jahren ebenso wie die Häufigkeit von Hitzperioden, vor allem im Mai und Juli, zugenommen haben.

Tab. 1: Beobachtete und erwartete Temperaturänderungen im 21. Jahrhundert (WHO 2004)

Änderungen im „Phänomen“	beobachtete Änderungen (2. H. des 20. JH)	Schätzungen künftiger Änderungen (21. JH.)
Höhere Maxima und mehr Hitzetage (für beinahe alle Landgebiete)	wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich
höhere Minima und weniger kalte und Frosttage (für beinahe alle Landgebiete)	sehr wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich
geringere tägliche T-Differenz (für die meisten Landbereiche)	sehr wahrscheinlich	sehr wahrscheinlich
Steigerung des Hitzeindex (Kombination von Temperatur und Feuchtigkeit), Landgebiete	wahrscheinlich für viele Gebiete	sehr wahrscheinlich für die meisten Gebiete

In Österreich stieg die Temperatur in den letzten 150 Jahren um etwa 1,8 °C, also stärker als im globalen oder im europäischen Mittel. Die Häufigkeitsverteilung der Tagesmaxima der Temperatur in Wien im Sommer weist eine Verschiebung ähnlich jener in Abb.2 auf und zeigt die Verschiebung der häufigsten Temperaturen, die starke Zunahme hoher Temperaturen und das Auftreten früher nicht beobachteter Extrema. Die Zahl der Tage mit Temperaturen über 30°C hat sich beispielsweise in Wien seit 1950 etwa verdoppelt und auch die Dauer dieser Hitzeperioden nimmt zu (Abb. 3).

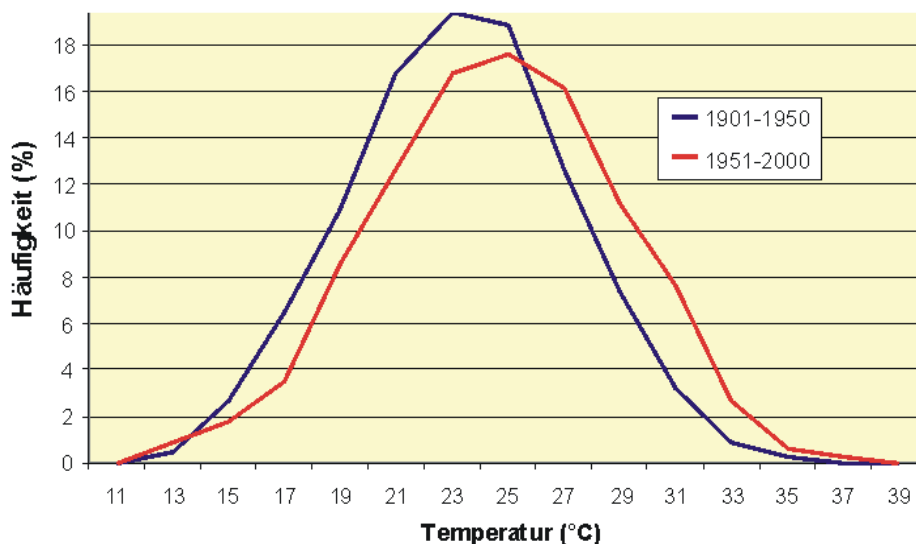


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der täglichen Tagesmaxima der Sommermonate in Wien (StartClim2004). Die Abbildung zeigt die Verschiebung der häufigsten Temperaturen von 23°C auf 25°C, die starke Zunahme hoher Temperaturen (Maximaltemperaturen von 30°C kamen etwa in der ersten Hälfte des Jahrhunderts etwa an 5% der Tagen vor, in der zweiten aber schon an 10%) und das Auftreten früher nicht beobachteter Maxima. Zahl und Ausmaß der kalten Extreme hat sich jedoch in Wien in diesem Zeitraum praktisch nicht verändert.

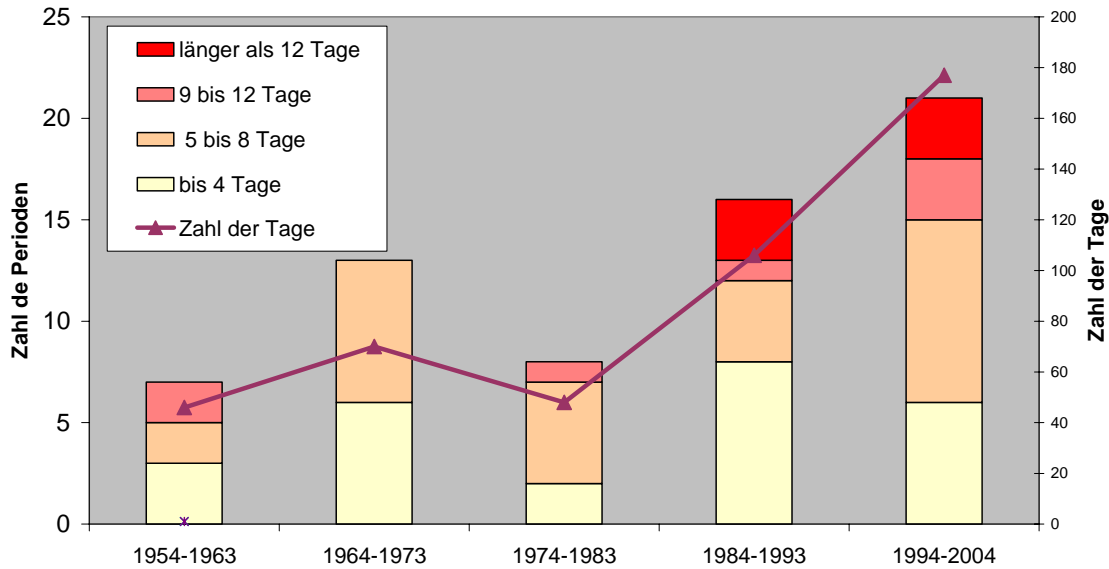


Abb. 4: Zahl der tage mit Temperaturen über 30°C (Linie, rechte Skala) und Zahl und Andauer von Hitzeperioden nach Kysely (Balken, linke Skala) pro Dekade in Wien: Bis 1983 traten pro Jahr bis zu 13 Hitzeperioden auf, von denen keine länger als 8 Tage anhielt. Zwischen 1994 und 2004 waren es 22, von denen ein Viertel sich über 9 Tage und mehr erstreckte. (nach StartClim2004.A)

Mit der meteorologischen Datenreihe der Klimastation Kremsmünster verfügt Oberösterreich über eine der längsten Klimareihen Österreichs. In der Zeit seit Beginn der Messungen 1762 bis jetzt wurde die Station einige Male verlegt und das Umfeld und das Messinstrumentarium haben sich verändert: dies kann sich natürlich in den Daten auswirken. Sie müssen daher „homogenisiert werden“. Obwohl diese Arbeit noch nicht abgeschlossen ist, kann man doch einiges schon jetzt erkennen: Sommer- und Wintertemperaturen in Kremsmünster sind bis etwa 1880 gefallen, wie die Temperaturen in Österreich allgemein, danach fielen sie im Sommer noch weiter bis etwa 1930, während im Winter bereits eine erste deutliche Erwärmung einsetzte. Dieser Erwärmung folgte eine Abkühlung. Seit etwa 1970 steigen die Temperaturen im Winter und Sommer deutlich an, wobei die Wintertemperaturen ein Niveau weit über den bisher gemessenen erreicht haben, während die Sommertemperaturen zur Jahrhundertwende etwa so hoch waren, wie 200 Jahre zuvor, aber viel deutlicher ansteigen (Abb. 5).

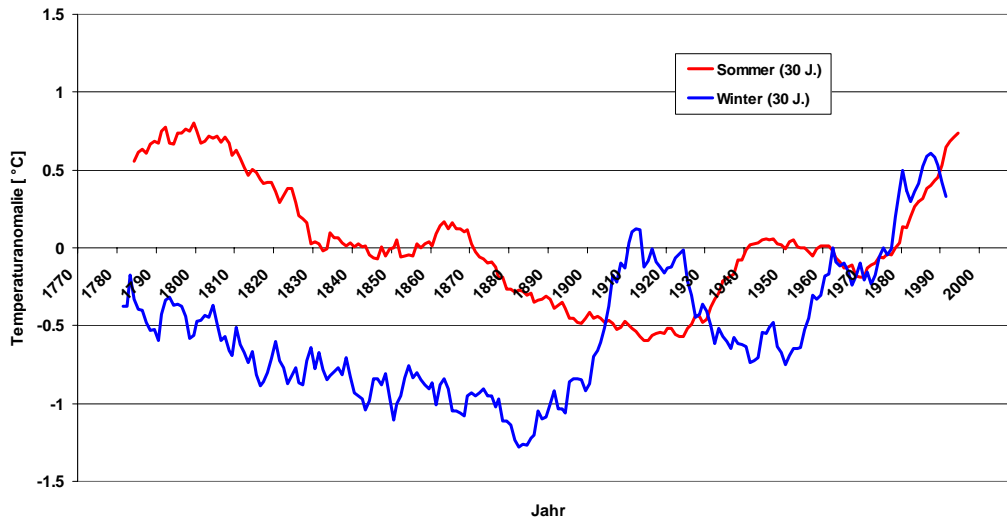


Abb. 5: Temperaturabweichung in Kremsmünster von der Klimanormalperiode (1961-1990), je 30 jährige Mittel für Sommer (Juni, Juli, August) und Winter (Dezember, Jänner, Februar).

Auch in Oberösterreich äußert sich die Erwärmung in den Sommermonaten seit den 60-er Jahren des vorigen Jahrhunderts unter anderem in einem stetigen Anstieg der Häufigkeit besonders warmer Tage. Tage mit Temperaturmaxima über 25°C kamen in den frühen 60-er Jahren im 10-jährigen Schnitt 15 bis 20 mal im Juni, Juli und August vor, in diesem Jahrhundert aber schon rund 45 mal (Abb. 6). Machten so genannte Hitzetage (Maximalwerte über 30°C) zu Beginn dieser Reihe weniger als 6% der warmen Tage aus, sind es jetzt schon über 12%, d.h. ihr Anteil hat sich mehr als verdoppelt.

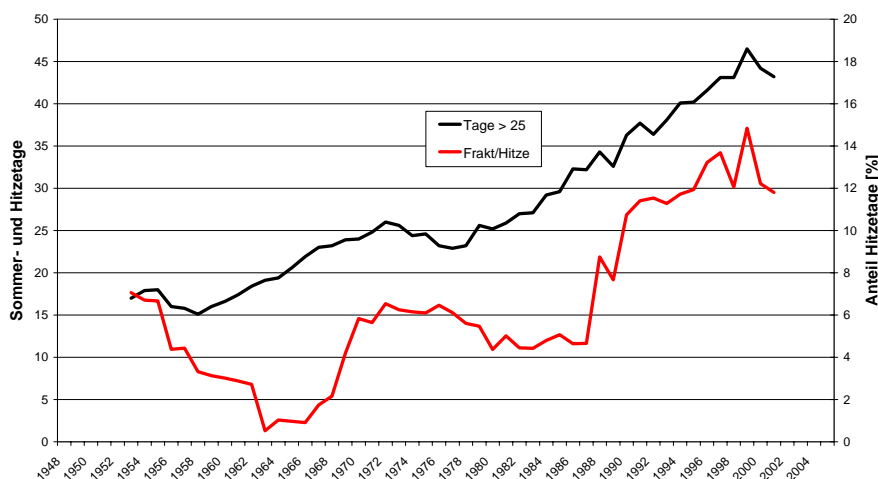


Abb. 6: Tage mit Temperaturmaximum über 25 °C (schwarz, linke Skala) und Anteil der Hitzetage daran (rot, rechte Skala), jeweils 10 jährige Mittel.

Szenarienberechnungen

Global geht man von einer wahrscheinlichen Erwärmung um 1,8 bis 4°C bis zur Jahrhundertwende aus, wobei unter Berücksichtigung der Unsicherheiten die Schwankungsbreite zwischen 1,2 und 6,4°C angegeben wird. Die Spannbreite ergibt

sich aus unterschiedlichen Szenarienannahmen hinsichtlich Weltbevölkerung, technologischer und wirtschaftlicher Entwicklung, Umweltbewusstsein, etc. (IPCC 2007).

Analogsszenario der Änderung der Jahresmitteltemperatur
[2020 -2050 versus 1961-1990] in Österreich (Basis: ECHAM4)

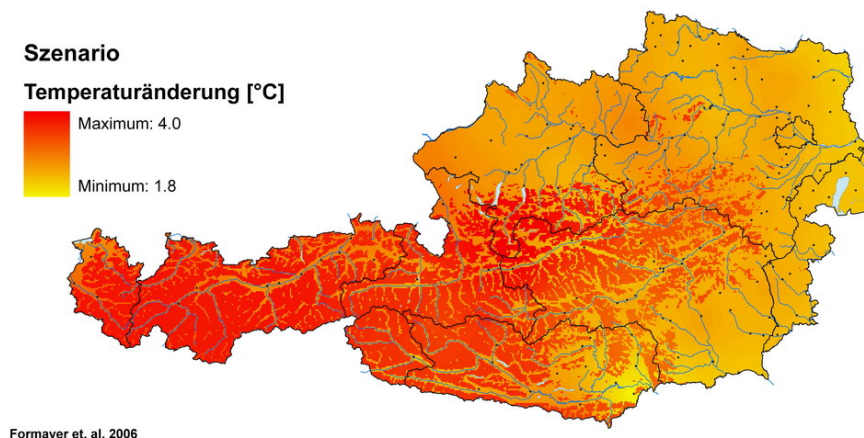


Abb. 7: Analogsszenario für die Änderung der Jahresmitteltemperatur in der Periode 2020-2050 im Vergleich zur Periode 1961-1990.

Szenarienberechnungen für Österreich lassen erwarten, dass die Temperatur in der Periode 2020 bis 2050 um 2 bis 4 Grad über jener der Jahre 1961–1990 liegen wird (Abb. 7) und dass sich die Zahl der Tage mit Temperaturen über 30°C in allen Höhenlagen verdoppeln bis verdreifachen wird (Abb. 8).

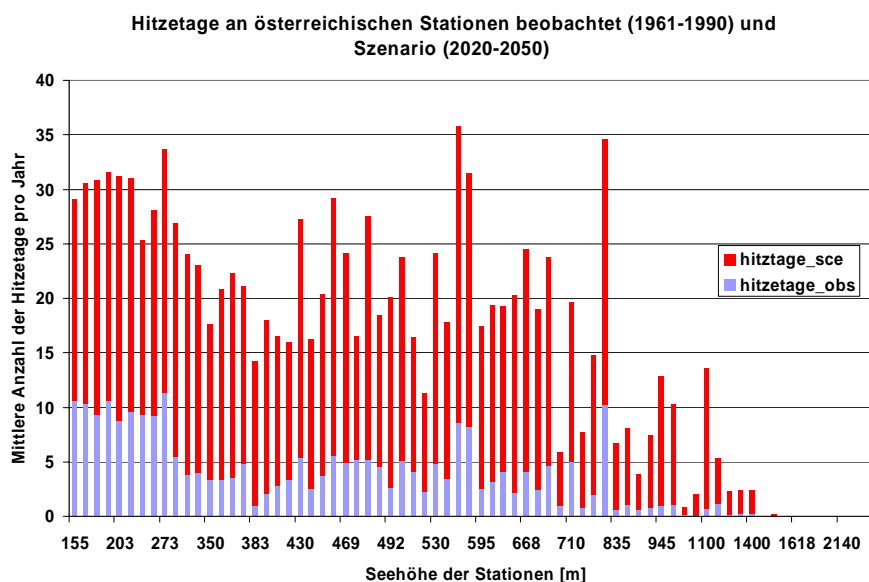


Abb. 8: Hitzetage an österreichischen Stationen, Beobachtung (1961-1990) und Szenario (2020-2050).

Für Oberösterreich lassen die Szenarienberechnungen einen weiteren Anstieg um 2 bis 3°C bis Mitte dieses Jahrhunderts erwarten – mehr als die 1,5°C im dreißigjährigen Mittel der Temperatur seit dem Minimum Ende des 19. Jahrhunderts. Dies bedeutet z.B. im Zentralraum Linz einen Anstieg von 8,8°C auf 11,3°C, im Mühlviertel einen von 7,2°C auf 9,8°C und im Raum Bad Ischl von 8,6 auf 11,4°C (Abb. 9).

Die Auswirkung dieser starken Zunahme auf die Mortalität ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

3. Design der Studie / Methode

Hitzeepisoden

Wie in Abschnitt 2 gezeigt, ist davon auszugehen, dass die bereits bisher zu beobachtende Zunahme der Durchschnittstemperaturen im Alpenraum sich weiter fortsetzen wird und gleichzeitig eine überproportionales Anstiegen von Zahl und Dauer der Hitzeperioden zu erwarten ist. Es erscheint daher besonders interessant die Auswirkungen „heißer“ Tage bzw. Episoden getrennt von den Auswirkungen der Temperatur als kontinuierliche Variable zu untersuchen. Die Hitzeepisoden sind derart zu definieren, dass diese einerseits auch bereits in der Vergangenheit in hinreichender Häufigkeit aufgetreten sind, um aus historischen Daten die Ableitung einer Wirkungsabschätzung zu erlauben, andererseits sollten diese Episoden aber nicht zu häufig sein, um nicht den Charakter besonderer, außergewöhnlicher Ereignisse zu verlieren. Die Definition der „Hitzeperiode“ musste auch so gewählt werden, dass eine Szenarienberechnung zukünftiger Häufigkeiten und Dauern mittels vorhandener Klimamodelle ermöglicht wurde.

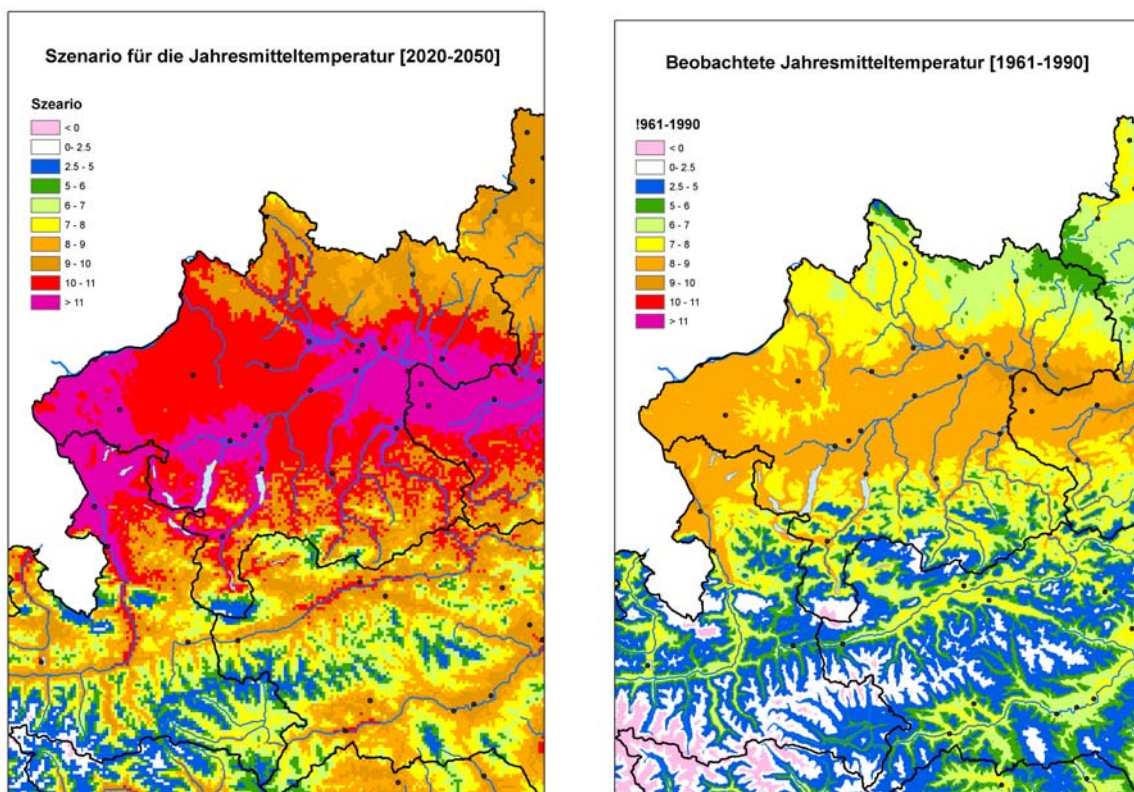


Abb. 9: Jahresmitteltemperatur für Oberösterreich, Szenario (2020-2050) und Beobachtung (1961-1990).

Nach Basu (2001) handelt es sich bei einer Hitzewelle um ein Ereignis, das eine klar definierte Periode extremer Temperaturen wieder gibt, die mit hohem Risiko von nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen und von Sterblichkeit verbunden ist.

Diese Definition setzt theoretisch eine iterative Bestimmung der meteorologischen Situation voraus. In der Praxis erwies sich im mitteleuropäischen Kontext als Definition für die Hitzeperiode jene nach Kysely (2004) als am besten geeignet: Eine „Hitzeperiode“ wird festgestellt, sobald an mindestens 3 Tagen in Folge die Maximaltemperatur 30°C überschreitet und hält so lange an, wie die mittlere Maximaltemperatur über die gesamte Periode über 30°C bleibt und an keinem Tag eine Maximaltemperatur von 25°C unterschritten wird. Derartige Hitzeperioden treten im Ostalpenraum nicht jedes Jahr auf, waren aber doch auch in den vergangenen Jahrzehnten wiederholt zu beobachten, wobei auch aus historischen Datenreihen eine Zunahme in Häufigkeit und Dauer zu beobachten ist (vgl. Abb. 4). Die Bezugnahme auf Episoden (von mindestens 3 Tagen Dauer) anstatt auf Hitzetage ermöglicht unter anderem robustere meteorologische Aussagen für zukünftige Jahrzehnte.

Zusätzlich zu dieser Definition der Hitzewelle, die sich allein auf die Maximaltemperaturen stützt, wäre es lohnend, auch jene Episoden zu untersuchen, die sich durch eine mangelnde nächtliche Abkühlung auszeichnen. Die nächtliche Abkühlung ist für die Erholung des Menschen von großer Bedeutung und erwies sich in einer Studie für den Wiener Raum und andere ausgewählte Stationen als bedeutsam für die Sterblichkeitsrate (Gerersdorfer et al. 2006). Mangelnde nächtliche Abkühlung ist allerdings ein kleinräumigeres Phänomen, das vor allem in Städten stärker ausgeprägt ist.

Einflussfaktoren auf die Sterblichkeit

Bereits eine erste grafische Darstellung des Zeitverlaufes der täglichen Sterblichkeit zeigt (wie erwartet) ein deutliches Muster: Einerseits ist eine saisonale Schwankung zu beobachten, die durch eine höhere Sterblichkeit in der kalten Jahreszeit charakterisiert ist, andererseits zeigt sich über die Jahre ein abnehmender Trend in der täglichen Sterblichkeit (Abbildung 10). Der langjährige Trend ist in diesem Beispiel nicht sehr ausgeprägt und spiegelt Änderungen in der Bevölkerungszusammensetzung und -zahl sowie die steigende Lebenserwartung wider. Auch die saisonale Schwankung hat mehrere Ursachen, klimatische Faktoren im engeren Sinn können das Phänomen nicht allein erklären.

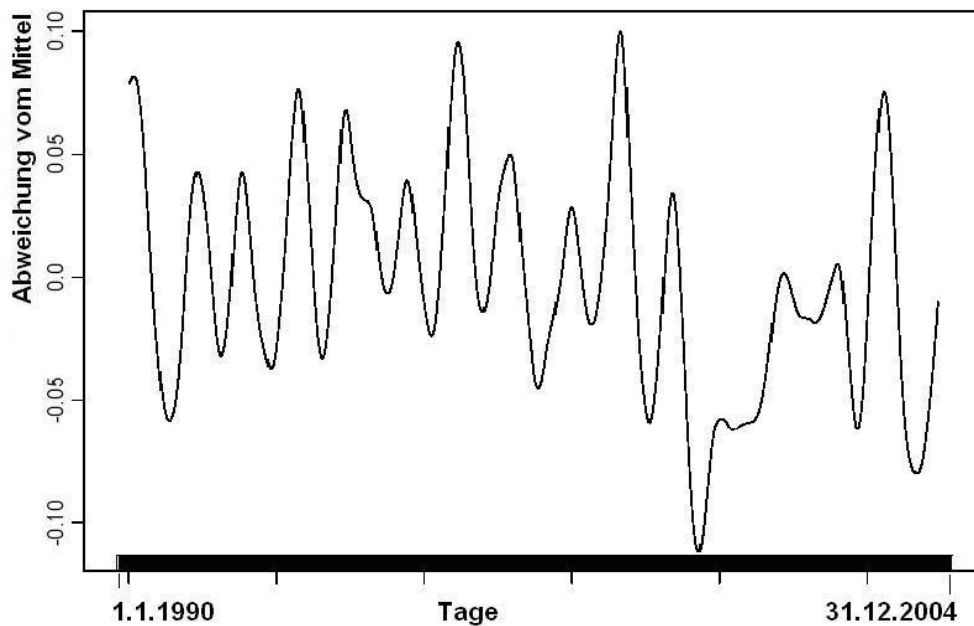


Abb. 10: Geglätteter Verlauf der täglichen Sterblichkeit vom 1.1.1990 bis 31.12.2004 im Zentralraum von Oberösterreich (Bezirke Linz Stadt und Linz Land, Wels Stadt und Land, Grieskirchen und Eferding).

In Zeitreihenanalysen zur Auswirkung von Luftschadstoffen auf die Gesundheit (z.B. Sterblichkeit) haben sich „General Additive Models“ (GAMs) bewährt. Ein GAM ist eine Verallgemeinerung einer multiplen Regression, wobei - wie bei der herkömmlichen Regression - verschiedene Verteilungen (z.B. Normalverteilung oder Poisson-Verteilung) der abhängigen Variablen angenommen werden können.

Während eine herkömmliche multiple Regression (annähernd) lineare Beziehungen zwischen jeder unabhängigen und der abhängigen Variablen voraussetzt, erlaubt ein GAM eine nicht-parametrische Modellierung einzelner Beziehungen. Die gebräuchlichste Modellierung verwendet hierzu (kubische) Splines.

Splines unterteilen die x-Achse in disjunkte Intervalle und passen in jedem Intervall ein Polynom an. An den Knotenstellen werden dabei die k-ten Ableitungen gleich gesetzt, um einen "optisch glatten" Funktionsverlauf zu gewährleisten.

Die GAM-Prozedur sucht iterativ den besten Fit sowohl für die linearen (parametrischen) als auch für die nicht-parametrischen Faktoren. Für die linearen Faktoren können in herkömmlicher Weise Konfidenzintervalle angegeben werden. Die von Dominici und Mitarbeitern (2002) vorgeschlagene Korrektur (GAM-exakt) zur Berechnung genauer Konfidenzschätzer wurde hier angewandt.

Eine Zeitreihenanalyse muss alle jene möglichen Störvariablen berücksichtigen, die sich über die Zeit ändern und einen Einfluss auf den untersuchten Gesundheitsendpunkt (in der gegenwärtigen Studie: tägliche Sterblichkeit) nehmen können. Langjährige Trends treten z.B. infolge von Änderungen in der Bevölkerungszusammensetzung auf. Der Einfluss gleichzeitig auftretender Temperaturänderungen, die ebenfalls einen Langzeittrend verursachen können, müssen davon getrennt betrachtet werden. Saisonale Schwankungen sind bei vielen Gesundheitsendpunkten, so auch bei der täglichen Sterblichkeit, wohl bekannt: Die Sterblichkeit ist im Winter höher als im Sommer. Nicht so sicher zu entscheiden ist aber, in wie weit dieser Einfluss der Sai-

son als Störgröße aufzufassen ist. Wenn die erhöhte Sterblichkeit in der kalten Jahreszeit unmittelbar auf die (kalte) Temperatur zurückzuführen ist, dann dürfte dieser saisonalen Einfluss nicht eliminiert werden, wenn man den Effekt der Temperatur untersuchen will. Statistische Prüfungen haben aber gezeigt (ausführlich für Wien in Moshhammer et al. 2006 dargestellt), dass die saisonale Modellierung über den Zeitverlauf einen besseren Fit des tatsächlichen Verlaufs der Sterblichkeit erlaubt als die Modellierung allein über die aktuellen Temperaturen. Dies lässt den Schluss zu, dass die höhere Sterblichkeit im Winter nicht (oder nicht wesentlich) unmittelbar durch die Kälte verursacht ist, sondern durch komplexere Bedingungen in dieser Jahreszeit (verringerte Sonnenscheindauer, Luftschadstoffe, geänderte Lebensgewohnheiten, Infektionen der Atemwege). Beispielsweise ist bekannt, dass die echte Grippe (Influenza) in unseren Breiten eine typische Infektionskrankheit der Wintermonate ist. Dafür lassen sich mehrere Gründe und auch Zusammenhänge mit der Umgebungstemperatur angeben. Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass sich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens weiterer Grippeepidemien bzw. die Schwere des Verlaufs ändern wird, weil bzw. wenn sich die Durchschnittstemperatur im Winter beispielsweise um 1°C ändert. Es erscheint daher zulässig, die Saison als unabhängige Störvariable zu betrachten.

Schwerwiegender ist die Entscheidung betreffend die Modellierung des (verbleibenden) Temperatureinflusses. Ziel war es, die Auswirkungen extremer Temperaturereignisse zu untersuchen. Doch es ist unbestritten, dass auch moderate Temperaturänderungen das Sterberisiko beeinflussen. Dabei ist der Zusammenhang zwischen Sterberisiko und Temperatur nicht linear, sondern folgt vielmehr einem angenähert U-förmigen Verlauf (Abb. 11). Für den Oberösterreichischen Zentralraum liegt die Sterblichkeit bei etwa 22°C am niedrigsten und steigt zu niedrigeren Temperaturen hin langsamer an als zu höheren: 10° Erwärmung führt etwa zu einer 10-prozentigen Zunahme der Sterblichkeitsrate, während 10°C Abkühlung lediglich zu einer 5-prozentigen Zunahme führt.

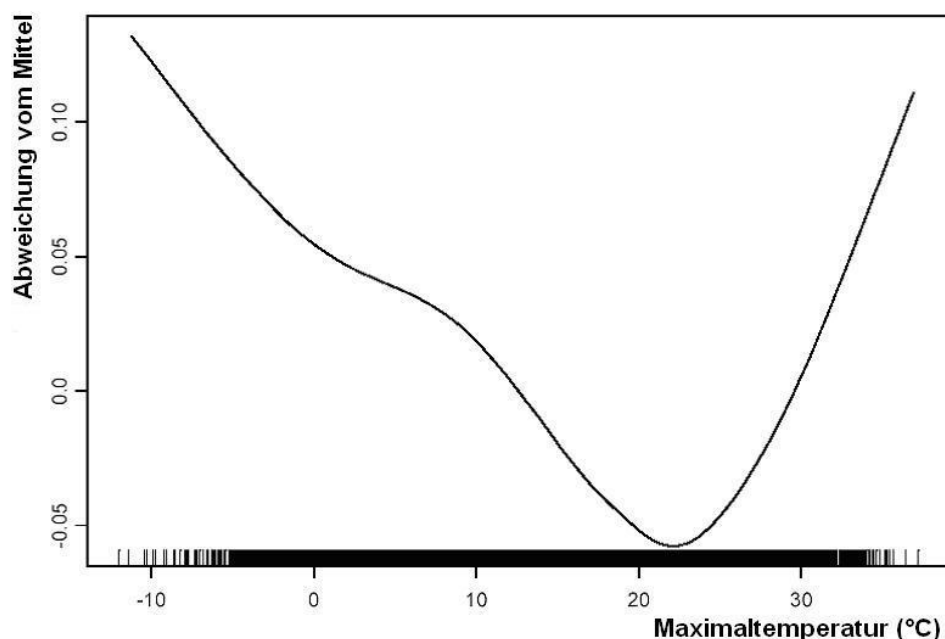


Abb. 11: Modellierung des Temperatureinflusses auf die tägliche Sterblichkeit im Oberösterreichischen Zentralraum. Tägliche Maximaltemperaturen an der Station Hörsching jeweils einen Tag zuvor. (Vertikale Achse: log des relativen Risikos)

Angesichts der Nicht-Linearität des Zusammenhangs kann aber keine einfache Formel angegeben werden, wie sich eine bestimmte Temperaturverteilung auf die Sterblichkeit auswirkt. Dies spricht dafür, den Effekt der Hitzeperioden bereinigt vom Einfluss der „normalen“ Temperaturwirkung zu betrachten und daher sowohl die Temperatur (als Spline modelliert) als auch die Hitzeperioden ins Modell aufzunehmen. Es muss aber andererseits klar sein, dass der „normale“ Temperaturverlauf bereits einen Teil des Effektes auch der heißen Tage „erklärt“ und somit der Effekt der Hitzeperioden eher konservativ geschätzt wird. Diese Gefahr der Unterschätzung der Hitzeperioden wird aber in Kauf genommen, weil auf moderate Temperaturänderungen langfristige Adaptierungen möglich sind, die so nicht für seltene Extremereignisse zutreffen. Die getrennte Darstellung beider Einflüsse macht also durchaus Sinn.

Zusätzlich zu langfristigem Trend, Saisonalität und Temperatur wurde noch der Wochentag ins Modell aufgenommen. Tatsächlich ist die Sterblichkeit an Wochenenden etwas geringer. Der Effektschätzer für Hitzeperioden wird dadurch aber nicht beeinflusst.

Aus Oberösterreich wurden tägliche Sterbefälle für die Jahre 1990 bis 2004 zur Verfügung gestellt, wobei neben Alter, Geschlecht und Haupttodesursache auch der Wohnbezirk bekannt ist. Klimadaten für denselben Zeitraum wurden einerseits von der Station Freistadt und andererseits von drei Stationen im Zentralraum von Oberösterreich (Hörsching, Lambach und Kremsmünster) ausgehoben. Die Temperaturen an den vier Stationen sind miteinander hoch korreliert (Tabelle 2), obwohl sich die Temperaturverteilungen etwas unterscheiden. Die Temperaturen in Freistadt liegen wegen der größeren Stationshöhe erwartungsgemäß niedriger als in Hörsching oder Lambach. Im Vergleich der drei Stationen des Zentralraumes zeigte die Station Kremsmünster ebenfalls niedrige Temperaturwerte und somit auch weniger Hitzeperioden (Abb. 12).

Tab. 2: Korrelation nach Pearson (alle $p < 0,001$). Tägliche Maximaltemperaturen (1.1.1990 bis 31.7.2006) an den Stationen Kremsmünster, Hörsching, Lambach und Freistadt

	Hörsching	Lambach	Freistadt
Kremsmünster	0,991	0,989	0,977
Hörsching		0,990	0,984
Lambach			0,978

Da die einzelnen Temperaturwerte (maximale und minimale Temperatur, Temperatur um 7, 14 und 19 Uhr) an den einzelnen Stationen hoch miteinander korrelieren und weiters aus Untersuchungen für Wien bekannt ist, dass es kaum Einfluss auf den Effektschätzer hat, welcher Temperaturparameter gewählt wird, wurde lediglich die tägliche Maximaltemperatur für die Analyse des Temperatureinflusses (zusätzlich zum Extremereignis) herangezogen.

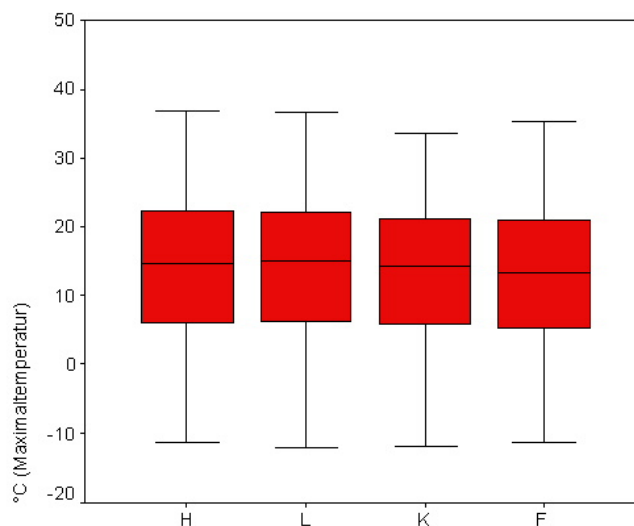


Abb. 12: Boxplot der Maximaltemperaturen (1.1.1990 bis 31.7.2006) an den Stationen Kremsmünster (K), Hörsching (H), Lambach (L) und Freistadt (F)

Da Sterbedaten nur auf Bezirksebene vorliegen, mussten die Untersuchungsräume diesen Einheiten folgen. Als Zentralraum wurden die Bezirke Linz Stadt und Land, Wels Stadt und Land, Grieskirchen und Eferding zusammengefasst. Die Stadt Linz wurde weiters auch einzeln untersucht. Ebenso wurden die Bezirke Linz Stadt und Land zusammengefasst, um, die größere Fallzahl nutzend, Männer und Frauen getrennt auswerten zu können. Als Mühlviertel wurden die Bezirke Rohrbach, Urfahr Umgebung, Freistadt und Perg gemeinsam betrachtet.

Für das Mühlviertel lagen meteorologische Daten nur aus einer Station vor. Für Linz Stadt und Land wurde die Station Hörsching als am repräsentativsten angenommen. Für die restlichen Bezirke des Zentralraums wurde zunächst geprüft, welche der drei Stationen den besten Fit und die genauesten Effektschätzer ergab. Da keine relevanten Unterschiede zwischen den meteorologischen Stationen gefunden wurden, wurde letztlich der gesamte Zentralraum anhand der Station Hörsching untersucht.

Abschätzung zukünftiger Gesundheitseffekte

Jede Prognose ist mit einer Reihe von Unsicherheiten behaftet. Für die Auswirkung häufigerer heißer Tage auf die Sterblichkeit trifft dies in besonderem Maße zu. Einerseits unterliegen die Angaben zur zukünftigen Temperaturverteilung nicht nur den Unsicherheiten der Klimamodelle, sondern hängen auch stark von den zugrunde gelegten Szenarien, also den Annahmen zur Entwicklung der globalen Emission von Treibhausgasen ab, wobei letztere durch nicht mathematisch vorhersehbare menschliche Entscheidungen und Verhaltensweisen geprägt sind. Andererseits ist auch der Zusammenhang zwischen Temperatur und Sterblichkeit alles andere als banal: An historischen Daten wurde ein solcher Zusammenhang in Form eines prozentuellen Anstieges der täglichen Sterblichkeit in Hitzeperioden gezeigt. Um dies in absolute Zahlen (zusätzliche Todesfälle pro Tag) umzurechnen, müssen Annahmen zur durchschnittlichen Sterblichkeit getroffen werden. Diese hängt im Wesentlichen von der Bevölkerungszahl und der Lebenserwartung ab. Eine steigende Lebenserwartung reduziert bei gleichbleibender Bevölkerungszahl die durchschnittlichen täglichen Todesfälle. Andererseits erhöht sie den Anteil älterer und sehr alter Personen, die offenbar gegenüber Temperatureinflüssen deutlich empfindlicher sind als Perso-

nen mittleren Alters. Eine Erhöhung der Lebenserwartung könnte hingegen auch mit einer generell „gesünderen“ und somit weniger gegenüber Stressoren empfindlichen Bevölkerung einhergehen. Letztendlich sind präventive Maßnahmen möglich, die die Auswirkungen der Hitze auf Gesundheit und Lebenserwartung reduzieren, bzw. ist es sogar ein Ziel dieser Arbeit, zu frühzeitigen Maßnahmen in dieser Richtung zu motivieren. Im Gegensatz zu einer „self fulfilling prophecy“ könnte die Vorhersage zukünftiger zusätzlicher Todesfälle diese sogar verhindern helfen.

4. Ergebnisse

Die Analysen ergaben eine Zunahme des Sterberisikos in Oberösterreich während Hitzeperioden (Abb. 13), mit der einzigen Ausnahme bei Männern in Linz (Stadt und Land). Statistisch signifikant waren die Ergebnisse allerdings nur für Frauen in Linz und für die Gesamtbevölkerung im Mühlviertel (Abb. 14), wo auch die größten Risikoerhöhungen (+14,8%) zu verzeichnen waren. Sogar noch etwas stärker stieg das Risiko bei den MühlviertlerInnen, die älter als 65 Jahre waren (+16,3%). Im Zentralraum von Oberösterreich war das Risiko nur minimal (und nicht signifikant) erhöht (+1,9%), was fast ausschließlich auf die Stadt Linz (+3,5%) und hier wiederum insbesondere auf die Frauen (+16,1%) zurückzuführen war.

Teilweise sind die geringeren Effektschätzer für den Zentralraum darauf zurückzuführen, dass gerade dort der Einfluss der Temperatur als kontinuierliche Variable sehr deutlich ausgeprägt war (Abbildung 11), was wohl zu einer Unterschätzung des Hitzeeffektes führt. Das heißt, dass allein durch den Temperaturanstieg die Sterblichkeit bereits deutlich ansteigt, unabhängig davon, ob Hitzeepisoden nach Kysely erreicht werden oder nicht.

Die deutliche Risikoerhöhung im Mühlviertel überrascht auf den ersten Blick, da auch dort die kontinuierlich modellierte Temperatur einen deutlichen Einfluss auf die Sterblichkeit hat. Die optimale Maximaltemperatur (also jene Temperatur, wo die geringsten Sterbefälle auftreten), liegt im Mühlviertel allerdings bei etwa 20°C und somit um ca. 2° niedriger als im Zentralraum. Hitzeperioden nach Kysely sind im Mühlviertel eher selten und daher tatsächlich „extreme“ Ereignisse.

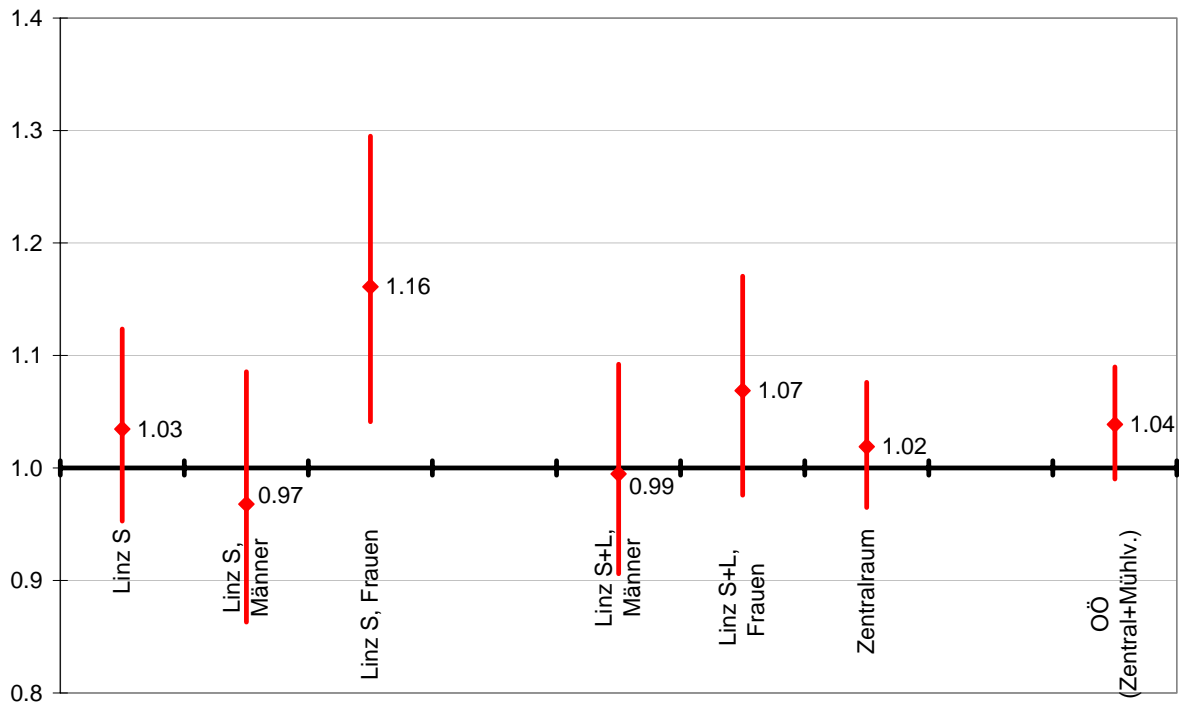


Abb. 13: Relatives Risiko (und 95% Konfidenzintervall) während einer Hitzeperiode zu sterben. Daten für den OÖ Zentralraum sowie für den Zentralraum und das Mühlviertel. Kysely-Episoden gemäß der Station Hörsching, kontrolliert für den Verlauf der täglichen Maximaltemperatur in Hörsching. Das Relative Risiko hat über das gesamte Jahr gemittelt den Wert 1. Werte größer als 1 bedeuten einen Anstieg, Werte kleiner als 1 eine Reduktion des Risikos während Hitzeepisoden.

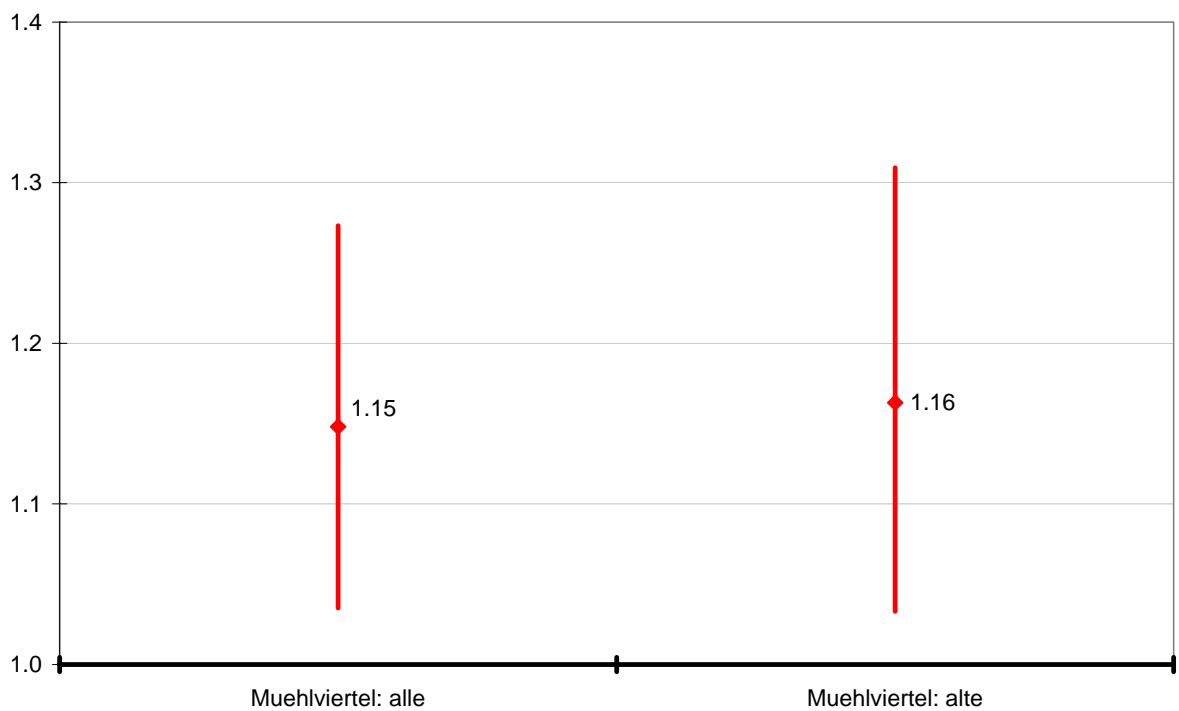


Abb. 14: Relatives Risiko (und 95% Konfidenzintervall) während einer Hitzeperiode zu sterben. (links alle Todesfälle, rechts für Personen über 65 Jahre) Daten für das Mühlviertel. Kysely-Episoden gemäß der Station Freistadt, kontrolliert für den Verlauf der täglichen Maximaltemperatur in Freistadt.

Die unterschiedliche Optimaltemperatur spricht für langfristige Adaptationsvorgänge an das lokale Klima. Untersuchungen dazu liegen (für Österreich) nicht vor, aber wenn es sich tatsächlich um solche handelt, könnte es sein, dass derartige Adaptationsvorgänge nicht nur zwischen räumlich benachbarten Regionen mit unterschiedlichen Temperaturen stattfinden, sondern auch im zeitlichen Verlauf angesichts von Klimawandel auftreten können. Beim aktuellen Klimawandel wäre allerdings zu klären, ob die Erwärmung nicht rascher vor sich geht, als die Anpassung. Gelingt die Anpassung, dann würde dies die Auswirkungen der Erwärmung und der zunehmenden Häufigkeit von Hitzeepisoden dämpfen.

Die kausale Verknüpfung zwischen der als kontinuierlichem Parameter modellierten Maximaltemperatur und dem binären Parameter „Kysely-Episode“ (welche ja über die Maximaltemperatur definiert ist), könnte mit ein Grund sein, dass die Ergebnisse bei geringer Populationsgröße instabil werden und die unabhängigen Einflüsse moderater und extremer Temperaturen nicht unterschieden werden können.

Obwohl die minimalen und maximalen Temperaturen miteinander hoch korrelieren ($r = 0,91$ an der Station Hörsching), wurde untersucht, ob die Ergebnisse stabiler werden, wenn statt der maximalen die minimalen Temperaturen zur Modellierung moderater Temperatureinflüsse herangezogen würden. Tatsächlich zeigten sich etwas engere Konfidenzintervalle, so dass die Schätzungen für die Sterblichkeit für alle Personen im Zentralraum plus dem Mühlviertel signifikant wurden (Abbildung 15).

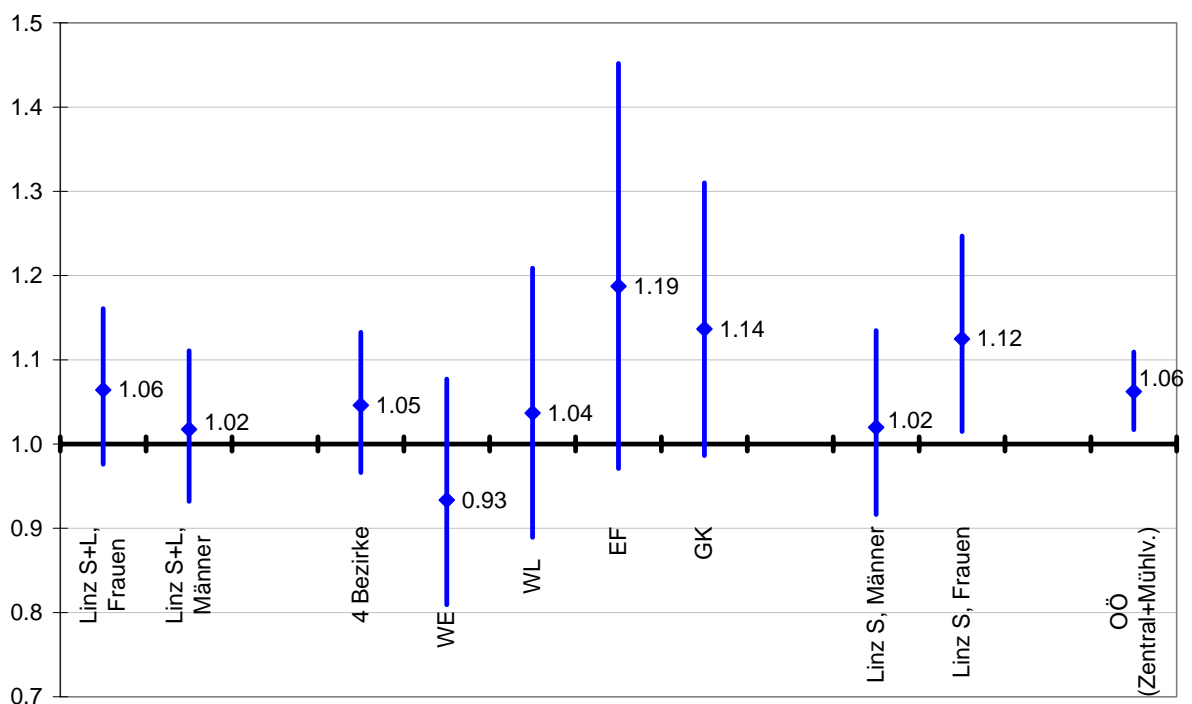


Abb. 15: Relatives Risiko (und 95% Konfidenzintervall) während einer Hitzeperiode zu sterben. Daten für den OÖ Zentralraum sowie für den Zentralraum und das Mühlviertel. Kysely-Episoden gemäß der Station Hörsching, kontrolliert für den Verlauf der täglichen Minimaltemperatur in Hörsching.

Dennoch blieb der Effekt der Hitzewellen im freien Land um Linz (Linz Land und die südlich anschließenden 4 Bezirke) gering bis nicht nachweisbar und in der Stadt Linz waren fast ausschließlich die Frauen vom erhöhten Risiko betroffen.

Wir fanden während der Hitzeperioden eine Zunahme der täglichen Sterblichkeit von (im Mittel über die Bezirke des Zentralraumes und das Mühlviertel) ca. 5%. Während an einem durchschnittlichen Sommertag (Juni – August) im Untersuchungsgebiet

(Zentralraum und Mühlviertel) etwa 17,5 Personen sterben, steigt diese Zahl an Kysely-Tagen um ca. einen zusätzlichen Sterbefall auf 18,5 an (Abbildung 16).

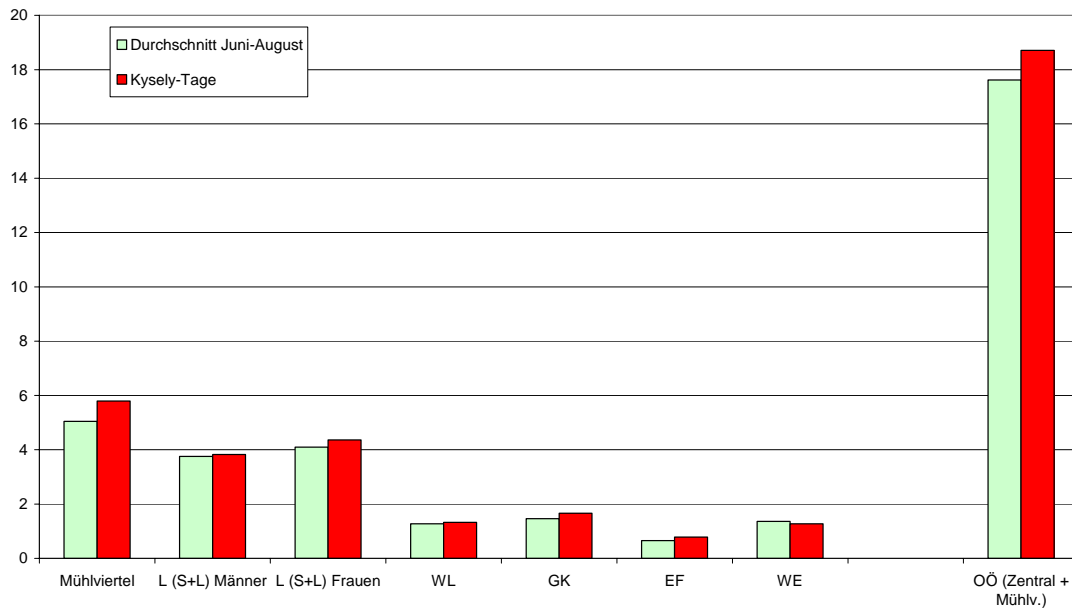


Abb. 16: Tägliche Sterbefälle (Durchschnitt) an Sommertagen (Juni – August) und während einer Hitzeperiode (berechnete Zahlen ohne Einfluss kontinuierlicher Temperaturen). Daten für den OÖ Zentralraum sowie das Mühlviertel.

Im Gegensatz zu den berechneten Werten ist die Übersterblichkeit bei den gezählten Werten etwas größer (von 17,4 auf 19,3), weil hier zusätzlich die erhöhte Sterblichkeit eingerechnet wird, die in der Berechnung dem normalen Temperaturgradienten zugerechnet wird (Abbildung 17).

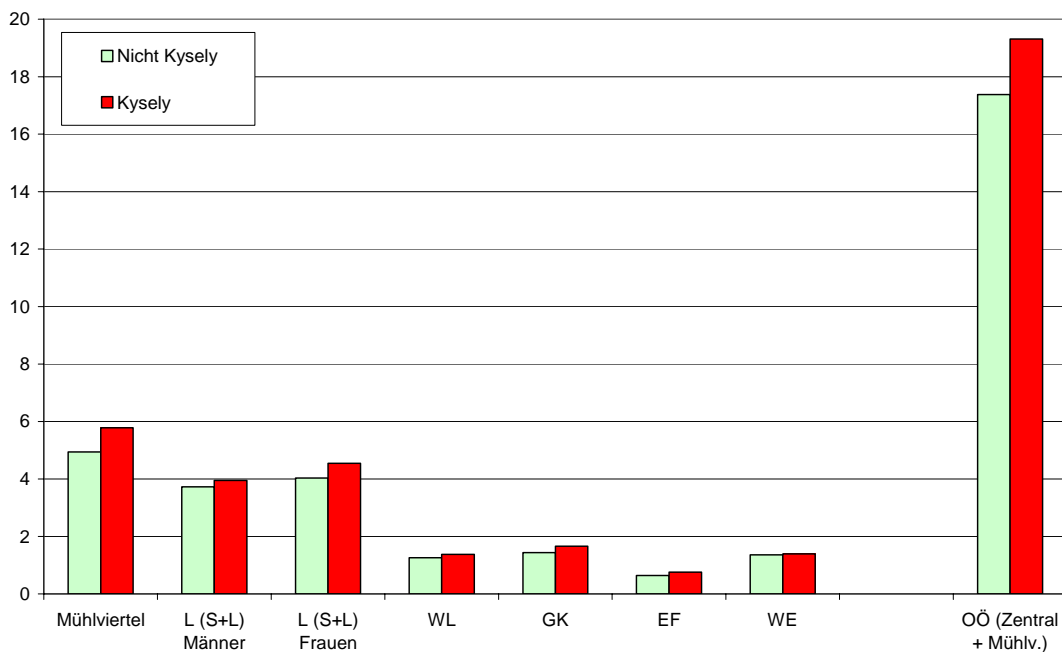


Abb. 17: Tägliche Sterbefälle (Durchschnitt) an Sommertagen (Juni – August) und während einer Hitzeperiode (tatsächliche Zahlen 1990 - 2004). Daten für den OÖ Zentralraum sowie das Mühlviertel.

Im untersuchten Zeitraum (1990 bis 2004) war die prozentuelle Zunahme der Sterbefälle an heißen Tagen im Mühlviertel am höchsten. Da die durchschnittliche Zahl der Todesfälle im Mühlviertel aber geringer als im Zentralraum ist, betrug der gezählte Anstieg dennoch nur 0,84 Fälle pro Tag, während er im Zentralraum 1,22 betrug. Während rechnerisch ein Großteil dieses Anstieges im Mühlviertel (0,75 Fälle) auf Hitzeperioden zurückging, war deren Beitrag im Zentralraum mit 0,61 geringer; den gleichen rechnerischen Einfluss hatte der lineare Einfluss der Temperaturzunahme, der auch die erhöhte Sterblichkeit bei noch moderaten Temperaturerhöhungen einschließt.

Als Vergleich sei darauf hingewiesen, dass in Wien während Hitzeperioden nach Kysely eine Zunahme der täglichen Sterblichkeit um etwa 10% gefunden wurde. Dieses Ergebnis erwies sich als robust gegenüber verschiedenen Adaptierungen in den Modellannahmen und gegenüber der Aufnahme weiterer möglicher Störvariablen wie Luftdruck, Feuchte und Änderung der Temperatur innerhalb eines Tages.

Wenn man für die Zahl zukünftiger Hitzetage die mittlere Erwartung nach dem A1B Zukunftsszenario² einsetzt (Abb. 18) und gleichbleibende durchschnittliche tägliche Todesfälle und prozentuelle Risikozunahme annimmt, erhält man eine steigende Zahl von hitze- bzw. temperaturbedingten Todesfällen, die sich deutlich unterscheiden für die Gesamtveränderung (Kysely-Tage plus mittlere Temperaturerhöhung) und den zusätzlichen Todesfällen allein durch den Beitrag der extremen Temperatur³ (Tabelle 3).

Die in Tabelle 3 angeführten Steigerungen mögen erschreckend aussehen, doch ist anzumerken, dass es sich nicht um exakte Vorhersagen einer unabwendbaren Zukunft handelt. Die Zahlen sollen vielmehr vor Augen führen, welche Folgen eintreten könnten, wenn nicht präventiv eingeschritten wird.

² Die sogenannten SRES-Emissionsszenarien sind in sich konsistente Annahmen möglicher künftiger Entwicklungen. Jedem Klimaszenarium liegen Annahmen über die Bevölkerungs-, Technologie- und Wirtschaftsentwicklung zugrunde, aus denen die zu erwartenden Treibhausgasemissionen ermittelt werden. Aus diesen Emissionen lassen sich Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre errechnen, und diese bestimmen dann das Klima, das mit GCMs errechnet wird. Beim A1B Szenarium handelt es sich um ein mittleres Szenario mit einer CO₂-Konzentration von knapp über 700 ppm bis zum Ende des Jahrhunderts, aber mit sehr hohen Emissionen bis 2050.

³ Genau genommen beziehen sich die Daten der Klimaszenarien dabei auf Hitzetage, weil diese aus den Klimaszenarien ermittelbar sind, während die Risikoschätzer auf Hitzeperiodentagen (nach Kysely-Definition) beruhen. Isolierte Hitzetage zählen nicht zu den Periodentagen, andererseits kommen im Zuge einer Hitzeperiode auch Tage vor, die nicht der Definition der Hitzetage entsprechen. In Summe unterscheidet sich daher die Zahl der Hitze- und der Kysely-Tage nur geringfügig, so dass diese Ungenauigkeit vernachlässigbar ist.

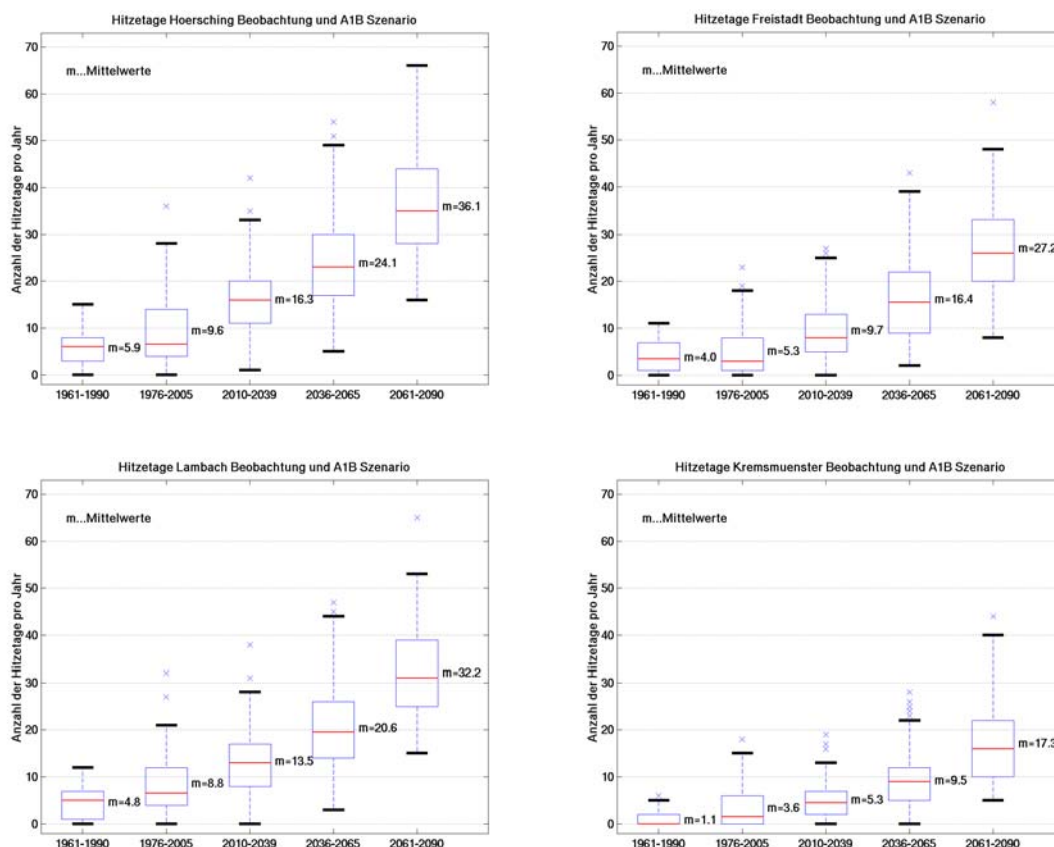


Abb. 18: Anzahl der Hitzetage für die Stationen Hörsching, Freistadt, Lambach und Kremsmünster in den Perioden 1961-1990 und 1976-2005 (Beobachtungen) sowie nach dem A1B Szenario bis zum Ende des Jahrhunderts (für Details zu den Szenarien sei auf Band 1 der Reihe verwiesen).

Tab. 3: Zahl der Hitzetage pro Jahr und zusätzliche Todesfälle an Hitze- bzw. Kysely-Tagen pro Jahr (einschließlich des Beitrages moderater Temperatursteigerung / nur Hitzeepisoden). In Klammern ist die meteorologische Station angegeben, die für die Berechnung der zusätzlichen Todesfälle herangezogen wurde. Für ZR+MV wurde nur Hörsching herangezogen, sodass die Addition der Werte für Zentralraum und Mühlviertel nicht genau dieselben Zahlen ergibt.

	Hörsching	Freistadt	Zentralraum (Hörsching)	Mühlviertel (Freistadt)	ZR+MV (Hörsching)
Zusätzliche Todesfälle pro Hitzetag			1,22 / 0,61	0,84 / 0,75	1,94 / 1,10
	Zahl der Hitzetage/Jahr		Zusätzliche Todesfälle pro Jahr		
1961-1990	5,9	4,0	7,2 / 3,6	3,3 / 3,0	11,4 / 6,5
1976-2005	9,6	5,3	11,7 / 5,8	4,4 / 4,0	18,6 / 10,5
2010-2039	16,3	9,7	19,9 / 9,9	8,1 / 7,2	31,6 / 17,9
2036-2065	24,1	16,4	29,4 / 14,7	13,7 / 12,3	46,7 / 26,4
2061-2090	36,1	27,2	44,1 / 22,0	22,7 / 20,3	69,9 / 39,5

5. Strategien und Maßnahmen

Der Einfluss der moderater Temperaturen wurde getrennt von dem extremer Hitzeperioden untersucht, weil sich der Effekt einer binären Einflussvariablen anschaulicher und einfacher interpretieren lässt als jener einer kontinuierlichen Variablen mit nicht-linearer Dosis-Wirkungsbeziehung. Dafür wurde eine gewisse Instabilität der statistischen Modelle in Kauf genommen, die wohl vor allem bei geringeren Populationszahlen zum Tragen kommt. Vor allem in den ländlichen Regionen des oberösterreichischen Zentralraumes wurde daher praktisch nur der Einfluss moderater Temperaturänderungen und nicht jener extremerer Hitzeepisoden sichtbar.

Die Unterscheidung der beiden Einflüsse basiert jedoch auch auf der Überlegung, dass beide eine andere Vorsorgestrategie erfordern: Graduelle Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung im moderaten Temperaturbereich beobachten wir zwischen Regionen und dürfen wir auch im Zuge des Klimawandels erwarten. Unterschiede zwischen klimatischen Regionen in der optimalen Temperatur weisen auf die Möglichkeit einer längerfristigen natürlichen Adaptation der Bevölkerung hin. Wahrscheinlich spielt hier weniger eine (kurzfristige) Verhaltensadaptation eine Rolle, sondern Unterschiede im Wohnbau sowie der Regional-, Raum- und Stadtplanung, die an das lokale Klima angepasst sind. Entsprechend erfordert auch die vorhergesehene Änderung der Durchschnittstemperaturen langfristige Adaptationsstrategien auf diesen Ebenen.

Anders sieht es bei den Hitzeepisoden aus, die so selten auftreten, dass weniger bauliche Präventionsmaßnahmen, sondern vielmehr kurzfristige Aktionen mit Aufklärung der Bevölkerung und verstärkter Obsorge und Bereitschaft im Gesundheitswesen als sinnvoll anzusehen sind.

Unmittelbar vor bzw. während einer Hitzewelle sind vor allem Verhaltensmodifikationen einzelner Personen gefordert. Diese umfassen die Betreuung und erhöhte Aufmerksamkeit für jene Bevölkerungsgruppen, die einer erhöhten Gefahr durch die Hitze ausgesetzt sind und die sich nicht selber ausreichend schützen können: Kinder, ältere und chronisch kranke Personen. Die Maßnahmen zielen auf ausreichende Kühlung (geändertes Lüftungsregime mit geöffneten Fenstern in der Nacht, geschlossenen Fenstern und Rollläden bei Tag, Auflegen und –hängen kühler feuchter Tücher usw., Aufsuchen kühler und schattiger Räume, Vermeiden unnötiger Anstrengungen) und verstärkte Flüssigkeits- und allenfalls auch Salzzufuhr. Insbesondere chronisch kranke Personen sollten sich hinsichtlich ihrer Medikamenteneinnahme und möglicher Interaktionen mit Flüssigkeitsverlust mit ihrem Arzt beraten. Zu denken ist hier besonders an Diuretika und Blutdrucksenker, aber auch an Psychopharmaka, entzündungshemmende Mittel, und Medikamente gegen Herzrhythmusstörungen, Zuckerkrankheit und andere Stoffwechselkrankheiten.

Um die notwendige Beratung und Hilfestellung im Ereignisfall bereitstellen zu können, bedarf es bereits in der Vorbereitung auf eine Hitzewelle einer ausführlichen Information der Betroffenen selber sowie ihrer Betreuer und Ärzte. Während die Medien in der Zwischenzeit das „Sommerloch“ mit ausführlicher Information und Beratung der Allgemeinbevölkerung zu füllen wissen, ist die zielgruppenorientierte Information durchaus noch verbesserungsfähig: Wie können Minderheiten, alleinstehende ältere Personen und Pflegepersonal gezielt erreicht werden? Wie können Nachbarschaftsringe organisiert oder wenigstens angeregt werden, die sich um ältere, kranke oder alleinstehende Personen mit alltäglichen Hilfestellungen (bis hin zum täglichen Einkauf) bemühen? Hierzu sind durchaus auch organisatorische Anstrengungen vor allem auf kommunaler Ebene erforderlich.

Für Einrichtungen, die besonders empfindlichen Personen gewidmet sind, wie Pensionistenheime, Spitäler, Kindergärten und –krippen, ist aber durchaus auch an bauliche Maßnahmen zu denken, die für die extreme Hitzetage vorsorgen. Dies betrifft vor allem die Abschattungs- und Isolationsmöglichkeiten, die Belüftungsmöglichkeiten und das Belüftungsmanagement, und natürlich auch, wenn anders die notwendige Temperaturabsenkung nicht erreichbar ist, auch Klimaanlageanlagen. Dass gerade Hitzeperioden sich zur Nutzung von Solarenergie anbieten, versteht sich von selbst.

Angesichts der langfristigen Klimaänderung, die in Zukunft längere, intensivere und häufigere Hitzeperioden erwarten lässt, sind jedoch auch langfristige Anpassungsstrategien zu verfolgen. Diese betreffen vor allem die Bauordnung und Wohnbauförderung sowie die Raum- und Stadtplanung (vgl. auch Band 1 dieser Forschungsreihe). In allen diesen Bereichen sollte dazu beigetragen werden, dass in Hinkunft mit geringem Energieaufwand kühle schattige Räume und Wege zumindest wohnraumnahe zur Verfügung stehen, wenn nicht durch entsprechende Bauweise die Wohnungen der Zukunft selbst gegen Hitze ebenso gut wie gegen Kälte geschützt sind. Eine Nachrüstung bestehender Wohnobjekte mit Klima- und Kühlungsanlagen wird sich dabei angesichts des Spiels der freien Marktkräfte nicht verhindern lassen. In Anbetracht des Mehrbedarfs an Energie (und dies zumal zu Zeiten, wo eventuell durch Wassermangel elektrische Energie besonders kostenintensiv ist) und allfälliger unerwünschter Nebenwirkungen bei Wartungsmängeln und unsachgemäßem Betrieb von Klimaanlageanlagen sollte dieser Trend aber nicht von der öffentlichen Hand unterstützt werden. Vielmehr sollten Klimaanlageanlagen nur dort gefördert werden, wo ein tatsächlicher Bedarf gegeben ist (Krankenanstalten und Pflegeheime, bei letzterem zumindest die Bettenstationen) und es sollten für den Ernstfall schwerster Hitzewellen Erholungsräume ausgewiesen werden, die von Betroffenen für kurze Zeit aufgesucht werden können, um ihre Thermoregulation zu unterstützen (z.B. Einkaufszentren, Veranstaltungshallen, Kirchen). Wie oben angeführt, stellt die Kühlung mit Solarenergie gerade in extremen Situationen in der Regel kein Problem dar.

Langfristig ist eine Verschiebung der Optimaltemperatur (bei der die geringste Sterblichkeit beobachtet wird) in Richtung auf höhere Temperaturen zu erwarten. Wie sich dies aber auf das Risiko bei extremen Hitzeperioden auswirken wird, lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, zumal auch politische Entscheidungen, Entwicklungen im Wohnbau und der Stadt- und Landschaftsplanung diese zukünftige Risikoentwicklung mitprägen werden.

Die Ergebnisse der Studie unterstreichen aber neuerlich, dass sowohl in der Prävention der Folgen der Klimaänderung als auch in der Verhinderung einer weiteren Beschleunigung des Klimawandels bzw. in der starken Reduktion der Emission von Treibhausgasen weitere engagierte Maßnahmen dringend geboten sind.

Literaturverzeichnis

- Basu, R. (2001): Characterizing the relationship between temperature and cardio-respiratory mortality among the elderly U.S. population. Baltimore MD, Bloomberg School of Public Health, John Hopkins University. PhD.
- Basu, R. and J. M. Samet (2002): Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews* 24: 190-201.
- Braun-Fahrländer C. and Thommen Dombois, O (2004): Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz., Literaturstudie im Auftrag der Bundesämter für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und für Gesundheit (BAG). Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel.
- Centers for Disease Control and Prevention (2002); United States Department of Health and Human Services, Atlanta. USA
- Conti, S. M., P., G. Minelli, et al. (2005): Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy. *Environmental Research* 98: 390-399.
- Diaz, J., R. Garcia-Herrera, et al. (2006): The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *Int J Biometeorol* 50: 159-166.
- Díaz, J., R. García, et al. (2002): Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *Int J Biometeorol* 46: 145-149.
- Diaz, J., A. Jordan, et al. (2002): Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *Int Arch Occup Environ Health* 75: 163-170.
- Dominici, F., A. McDermott, et al. (2002): On the Use of Generalized Additive Models in Time-Series Studies of Air Pollution and Health. *Am J Epidemiol* (156): 193-203.
- Donoghue, E., M. Graham, et al. (1997): Criteria for the diagnosis of heat-related deaths. *Am J Forensic Med Pathol* 18: 11-14.
- Easterling, D. R., B. Horton, et al. (1997): Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* 277(5324): 364.
- Garssen, J., C. Harmsen, et al. (2005): The effect of the 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance* 10(7-9): 165-167.
- Gerersdorfer T., Formayer H., Moshhammer H., Frank A., Haas P., Leitner B. (2006): Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima. Endbericht von StartClim2005, Projekt A1b. Auftraggeber: BMLFUW, BMGF.
- Grize, L., A. Huss, et al. (2005): Heat wave and mortality in Switzerland. *Swiss Med. Wkly* 135: 200-205.
- Grynszpan, D. (2004): Lessons from the French heatwave. *Lancet* 362: 1169-1170.
- Hajat, S., R. S. Kovats, et al. (2002): Impact of hot temperatures on death in London: A time series approach. *Journal of Epidemiology and Community Health* 56: 367-372.
- Houghton, J. T., Y. Ding, et al. (2001): *Climate Change 2001. The scientific basis*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Hulme, M., G. J. Jenkins, et al. (2002): *Climate change scenarios for the United Kingdom: the UK-CIP02 scientific report*.
- Hutter H.-P., Moshhammer H., Wallner P., Leitner B., Kundi M. (2007): Heatwaves in Vienna: Effects on mortality. *Wiener Klinische Wochenschrift*. Im Druck.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001. Synthesis Report. Summary for Policymakers.*, IPCC.

- IPCC (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Jonson (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 881.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [www.ipcc.ch]
- Johnson, H., R. Kovats, et al. (2005): The impact of the 2003 heat wave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *Euro Surveill* 10(7): 168-171.
- Kirch, W., B. Menne, et al. (2005): Extreme Weather Events and Public Health Responses, WHO, Springer.
- Klein Tank, A. M. G., J. B. Wijngaard, et al. (2002): Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology* 22(12): 1441.
- Koppe, C. & Jendritzky, G. (2004): Die Auswirkungen der Hitzewellen 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg. Stuttgart: Sozialministerium Baden-Württemberg.
- Kovats, R. S., T. Wolf, et al. (2004): Heatwave of August 2003 in Europe: provisional estimates of the impact on mortality. *Eurosurveillance Weekly* 8(11).
- Kysely, J. (2004): Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int J Biometeorol* (49): 91-97.
- Larsen J. (2006): Setting the Record Straight: More than 52,000 Europeans Died from Heat in Summer 2003.
- Le Tertre, A., A. Lefranc, et al. (2006): Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology*(17): 75-79.
- Maarouf, A. (2001): Emerging and Re-Emerging Health Issues, Institute for Environmental Studies, University of Toronto.
- Moshhammer H, Hutter HP (2005): Temperature related daily mortality in Vienna. Invited lecture at the International Conference Climate Change: Impacts and Responses in Central and Eastern European Countries. Pecs, Hungary, 5-8 Nov 2005
- Moshhammer H., Hutter H.-P., Frank A., Gerersdorfer T., Hlava A., Sprinzl G., Leitner B. (2006): Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien. Endbericht von StartClim2005, Projekt A1a. Auftraggeber: BMLFUW, BMGF.
- Moshhammer H, Hutter H-P, Wallner P (2006): Modeling the time course of temperature effects on daily mortality. International Conference on Environmental Epidemiology and Exposure (ISEE/ISEA). Paris, 2.-6.9.2006
- Nogueira, P. (2005): Modelling heat related excess mortality: New insights given by 2003s Heat wave. International Conference Climate Change: Impacts and Responses in CEE Countries., Pecs, Hungary.
- Poumadere, M., C. Mays, et al. (2005): The 2003 HeatWave in France: Dangerous Climate Change Here and Now. *Risk Analysis*(25): 1483-1494.
- Robert-Koch-Institut (2004): Hitzewellen und extreme Klimaereignisse. Herausforderungen für das Gesundheitswesen. *Epidemiologisches Bulletin* (25): 200-201.
- Rooney, C., A. McMichael, et al. (1998): Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heat wave. *J Epidemiol Community Health* 52: 482-486.

- Simon, F., G. Lopez-Abente, et al. (2005): Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003. *Euro Surveill* 10(7-9).
- StartClim2004: Analyse von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich. Endbericht, Auftraggeber: BMLFUW, BMBWK, BMWA, Österreichische Hagelversicherung, Österreichische Nationalbank, Umweltbundesamt, Verbund AHP.
<http://www.austroclim.at/index.php?id=startclim2004>
- Trigo, R. M., R. García-Herrera, et al. (2005): How exceptional was the early August 2003 heatwave in France? *Geophysical Research Letters* 32(L10701): 4.
- Vandentorren, S., F. Suzan, et al. (2004): Mortality in 13 French Cities During the August 2003 Heat Wave. *Am J Public Health*(94): 1518-1520.
- WHO (2004): Extreme weather and climate events and public health responses. WHO meeting. R. WHO. Bratislava, Slovakia.
- WHO (2006): Climate Change and Adaption Strategies for Human Helath - Heat and Cold. WHO.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Gemittelte jährliche Rate von hitzebedingten Todesfällen pro 1 Million Einwohner in den USA nach Altersgruppen, 1979-1997 (Centers for Disease Control and Prevention, 2002).....	6
Abb. 2: Änderungen der Wahrscheinlichkeit extremer Wetterereignisse bei Annahme unveränderter Varianz (Houghton et al. 2001).....	7
Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der täglichen Tagesmaxima der Sommermonate in Wien (StartClim2004). Die Abbildung zeigt die Verschiebung der häufigsten Temperaturen von 23°C auf 25°C, die starke Zunahme hoher Temperaturen (Maximaltemperaturen von 30°C kamen etwa in der ersten Hälfte des Jahrhunderts etwa an 5% der Tagen vor, in der zweiten aber schon an 10%) und das Auftreten früher nicht beobachteter Maxima. Zahl und Ausmaß der kalten Extreme hat sich jedoch in Wien in diesem Zeitraum praktisch nicht verändert.	8
Abb. 4: Zahl der tage mit Temperaturen über 30°C (Linie, rechte Skala) und Zahl und Andauer von Hitzeepisoden nach Kysely (Balken, linke Skala) pro Dekade in Wien: Bis 1983 traten pro Jahr bis zu 13 Hitzeperioden auf, von denen keine länger als 8 Tage anhielt. Zwischen 1994 und 2004 waren es 22, von denen ein Viertel sich über 9 Tage und mehr erstreckte. (nach StartClim2004.A)	9
Abb. 5: Temperaturabweichung in Kremsmünster von der Klimanormalperiode (1961-1990), je 30 jährige Mittel für Sommer (Juni, Juli, August) und Winter (Dezember, Jänner, Februar).....	10
Abb. 6: Tage mit Temperaturmaximum über 25 °C (schwarz, linke Skala) und Anteil der Hitzetage daran (rot, rechte Skala), jeweils 10 jährige Mittel.....	10
Abb. 7: Analogscenario für die Änderung der Jahresmitteltemperatur in der Periode 2020-2050 im Vergleich zur Periode 1961-1990.....	11
Abb. 8: Hitzetage an österreichischen Stationen, Beobachtung (1961-1990) und Szenario (2020-2050).....	11
Abb. 9: Jahresmitteltemperatur für Oberösterreich, Szenario (2020-2050) und Beobachtung (1961-1990).....	12
Abb. 10: Geglätteter Verlauf der täglichen Sterblichkeit vom 1.1.1990 bis 31.12.2004 im Zentralraum von Oberösterreich (Bezirke Linz Stadt und Linz Land, Wels Stadt und Land, Grieskirchen und Eferding).....	14
Abb. 11: Modellierung des Temperatureinflusses auf die tägliche Sterblichkeit im Oberösterreichischen Zentralraum. Tägliche Maximaltemperaturen an der Station Hörsching jeweils einen Tag zuvor. (Vertikale Achse: log des relativen Risikos)	15
Abb. 12: Boxplot der Maximaltemperaturen (1.1.1990 bis 31.7.2006) an den Stationen Kremsmünster (K), Hörsching (H), Lambach (L) und Freistadt (F)....	17

Abb. 13: Relatives Risiko (und 95% Konfidenzintervall) während einer Hitzeperiode zu sterben. Daten für den OÖ Zentralraum sowie für den Zentralraum und das Mühlviertel. Kysely-Episoden gemäß der Station Hörsching, kontrolliert für den Verlauf der täglichen Maximaltemperatur in Hörsching. Das Relative Risiko hat über das gesamte Jahr gemittelt den Wert 1. Werte größer als 1 bedeuten einen Anstieg, Werte kleiner als 1 eine Reduktion des Risikos während Hitzeepisoden.....	19
Abb. 14: Relatives Risiko (und 95% Konfidenzintervall) während einer Hitzeperiode zu sterben. (links alle Todesfälle, rechts für Personen über 65 Jahre) Daten für das Mühlviertel. Kysely-Episoden gemäß der Station Freistadt, kontrolliert für den Verlauf der täglichen Maximaltemperatur in Freistadt.	19
Abb. 15: Relatives Risiko (und 95% Konfidenzintervall) während einer Hitzeperiode zu sterben. Daten für den OÖ Zentralraum sowie für den Zentralraum und das Mühlviertel. Kysely-Episoden gemäß der Station Hörsching, kontrolliert für den Verlauf der täglichen Minimaltemperatur in Hörsching.	20
Abb. 16: Tägliche Sterbefälle (Durchschnitt) an Sommertagen (Juni – August) und während einer Hitzeperiode (berechnete Zahlen ohne Einfluss kontinuierlicher Temperaturen). Daten für den OÖ Zentralraum sowie das Mühlviertel.	21
Abb. 17: Tägliche Sterbefälle (Durchschnitt) an Sommertagen (Juni – August) und während einer Hitzeperiode (tatsächliche Zahlen 1990 - 2004). Daten für den OÖ Zentralraum sowie das Mühlviertel.	21
Abb. 18: Anzahl der Hitzetage für die Stationen Hörsching, Freistadt, Lambach und Kremsmünster in den Perioden 1961-1990 und 1976-2005 (Beobachtungen) sowie nach dem A1B Szenario bis zum Ende des Jahrhunderts (für Details zu den Szenarien sei auf Band 1 der Reihe verwiesen).	23
Tab. 1: Erwartete Änderungen im 21. Jahrhundert (WHO 2004).....	8
Tab. 2: Korrelation nach Pearson (alle $p < 0,001$). Tägliche Maximaltemperaturen (1.1.1990 bis 31.7.2006) an den Stationen Kremsmünster (K), Hörsching (H), Lambach (L) und Freistadt (F)	16
Tab. 3: Zahl der Hitzetage pro Jahr und zusätzliche Todesfälle an Hitze- bzw. Kysely-Tagen pro Jahr (einschließlich des Beitrages moderater Temperatursteigerung / nur Hitzeepisoden)	23

Anhang

StartClim ist ein Forschungsprogramm, in dem sich seit Anfang 2003 österreichische Forscher und Forscherinnen aus zahlreichen österreichischen Institutionen interdisziplinär mit dem Klimawandel und seinen Auswirkungen - insbesondere auf Österreich - auseinandersetzen. Die Themen spannen sich von „Meteorologischen Extremereignisse und ihre Auswirkungen und wirtschaftlichen Dimensionen in Österreich“ nach den Hochwasserereignissen 2002 zu „Analyse von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich nach dem Hitzesommer 2003 und wurden 2005 unter dem Schwerpunkt „Klimawandel und Gesundheit“ fortgesetzt.

StartClim versteht sich als Forschungsprogramm, das hilft, Anfänge zu setzen. In zahlreichen Teilprojekten wurden und werden thematisch neue Fragestellungen aufgegriffen und soweit geführt, dass darauf aufbauend weiterführende Anträge bei geeigneten Forschungsförderungseinrichtungen gestellt werden können bzw. Aufträge von interessierten Nutzern vergeben werden können.

StartClim2003:

Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen auf Österreich

StartClim2004:

Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen auf Österreich

StartClim2005:

Klimawandel und Gesundheit

StartClim2006:

Klimawandel und Gesundheit, Tourismus, Energie

StartClim2007:

Ausweitung der meteorologischen Grundlagendaten; Gesundheitliche Aspekte des Klimawandels; Biodiversität im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel; Klimawandel und Energieversorgung

Die Arbeiten, die im Rahmen von StartClim erstellt wurden, sind unter <http://www.austroclim.at/index.php?id=45> zu finden.