

StartClim2005.A1a

Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien

Medizinische Universität Wien, ZPH
Institut für Umwelthygiene



Institut für Meteorologie
Universität für Bodenkultur



Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidity in Wien

Impacts of Temperature on Mortality and Morbidity in Vienna

Projektleitung:

Dr. Hanns Moshhammer, MUW, Institut für Umwelthygiene

Projektmitarbeiter

DI Dr. Hans-Peter Hutter, MUW, Institut für Umwelthygiene

Mag. Andreas Frank, BOKU, Institut für Meteorologie

Dipl.-Ing. Thomas Gerersdorfer, BOKU, Institut für Meteorologie

DI Anton Hlava, ÖBIG (Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen)

Ing. Günter Sprinzl, ÖBIG (Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen)

Mag. Barbara Leitner, Statistik Austria

Wien, im November 2006

StartClim2005.A1a

Teilprojekt von StartClim2005 „Klimawandel und Gesundheit!“

Gesamtprojektleitung von StartClim2005:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

StartClim2005 wurde aus Mitteln des BMLFUW und des BMGF gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	4
English Abstract	5
A1-a-1 Einleitung	6
A1-a-2 Material und Methoden	7
A1-a-2.1 Verwendete Daten	7
A1-a-2.2 Definition der Hitzewelle	7
A1-a-2.3 Erste Datenanalyse und Planung der Untersuchung (statistisches Modell und Hypothese)	8
A1-a-3 Ergebnis der Klimaszenarien: Zahl der Kyselytage	11
A1-a-3.1 Daten und Methodik	11
A1-a-3.2 Klimaszenarien	12
A1-a-3.3 Validierung des Regressionsmodells	13
A1-a-3.4 Zukunftsprojektion	13
A1-a-4 Historische Ergebnisse tägliche Todesfälle	16
A1-a-4.1 Gesamtmortalität	16
A1-a-4.2 Optimierung des Modells	23
A1-a-4.3 Sterblichkeit nach Subgruppen	26
A1-a-4.4 Alternative Modelle	27
A1-a-4.5 Hinweise auf Adaptation?	31
A1-a-4.6 Auswirkungen der Klimaprognosen auf die Gesamtsterblichkeit	32
A1-a-5 Ergebnisse Krankenhauseinweisungen	35
A1-a-6 Ergebnisse Notarzteinsätze	38
A1-a-7 Schlussfolgerung	40
A1-a-7.1 Zur Wahl der Methode	40
A1-a-7.2 Übersterblichkeit in Zahlen	40
A1-a-7.3 Prognostizierte Zunahme der jährlichen Sterbefälle als Folge des Klimawandels	41
A1-a-7.4 Andere untersuchte Gesundheitsendpunkte	42
Literaturverzeichnis	44
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	46

Kurzfassung

Im heißen Sommer 2003 kam es in weiten Teilen West- und Südeuropas zu einer erhöhten Sterblichkeit. Die Auswirkung dieser Wetterphase auf eine Bevölkerung im alpinen Raum bzw. in Ost-Mitteuropa wurde bisher noch nicht ausreichend untersucht. In Hinblick darauf, dass ähnliche Sommertemperaturen voraussichtlich häufiger werden (starker Anstieg der Tropentage in Zukunftsszenarien), wird eine Analyse der zu erwartenden Änderungen der Mortalität für Wien durchgeführt. Als für Mitteleuropa meteorologisch relevante Definition der Hitzetage wird die nach Kysely verwendet.

Mittels Zeitreihenanalysen werden die Einflüsse relevanter meteorologischer Parameter an mehreren Wiener Stationen auf die tägliche Sterblichkeit der Wiener Bevölkerung von 1990 bis 2004 untersucht.

Die Aufnahme der Luftschadstoffe (insbesondere hohe Ozon-Konzentrationen für die heißen Tage) ins Modell änderte nicht den Risikoschätzer für „Kysely-Tage“. An diesen ist die Gesamtsterblichkeit um etwa 10% erhöht (7,8 bis 15,8% je nach verwendetem Modell). Diese Zunahme ist in der gleichen Größenordnung wie die an epidemischen Grippetagen.

Zur Ableitung der täglichen Maximaltemperatur aus den Feldern globaler Klimamodelle wird der im Projekt Startclim 2004-B entwickelte Ansatz des Synoptischen Downscalings verwendet. Als Prädiktorgröße wird einzig die Temperatur in 850 hPa verwendet, da dieser Parameter bereits 90 Prozent der Varianz des Regressionsmodells erklärt.

Basierend auf den Klimaprojektionen des ECHAM5 Modells werden für drei unterschiedliche Emissionsszenarien und für drei verschiedene Zeitscheiben Temperaturszenarien abgeleitet. Anschließend werden für je dreißig Jahre sowohl die Hitzetage pro Jahr, als auch die Anzahl an Tagen innerhalb von Hitzeperioden pro Jahr berechnet. Es zeigt sich, dass derzeit im Mittel etwa 12 Hitzetage pro Jahr auftreten und diese Anzahl bereits in den Jahren 2011-2040 im Mittel auf 18 Tage ansteigt. Bis zum Ende des Jahrhunderts sind je nach Szenario 26 bis 38 Hitzetage pro Jahr zu erwarten. In der Innenstadt liegen diese Werte noch höher.

Alle Modelle und alle Klimaszenarien lassen somit einen Anstieg der hitzebedingten Sterblichkeit erwarten. Die Schätzungen stehen mit den Beobachtungen zur Hitzewelle im Jahr 2003 im Einklang. Damals war eine Übersterblichkeit von etwa 5 Todesfällen pro Tag im Vergleich zum Vorjahr in Wien zu beobachten.

English Abstract

The hot summer in 2003 brought about an increased mortality in many parts of Western and Southern Europe. The impact of this extreme weather event on the population in the alpine area respectively in East-Middle-Europe has not been studied so far sufficiently. In the light of the expectation that such events will be more prevalent in the near future the changes in the daily mortality in Vienna will be estimated. As a definition of heat waves that is relevant for the meteorological situation of Middle Europe the one by Kysely is applied.

Time-series analyses are applied to calculate the impact of relevant meteorological parameters from various Viennese monitoring sites on daily mortality in the years 1990-2004. Possible confounder (especially ozone levels for hot days) do not influence the estimates for "Kysely-days". On these days there is an increase in daily mortality by approximately 10% (7.8 – 15.8 depending on the model used). This is comparable to the mortality increase during epidemic influenza days.

Synoptic downscaling (as developed in the project StartClim 2004-B) is applied to estimate local maximal temperatures from the global meteorological models. The temperature at 850 hPa is solemnly used as it was found to be sufficiently predictive ($R^2 = 0.9$).

Based on the projections of the ECHAM5 model the annual numbers of hot days and of days during Kysely episodes are estimated for 3 emission scenarios and for 3 30-year periods. While currently approximately 12 hot days per year are observed this number will increase by the years 2011-2040 to approximately 18. Until the end of this century depending on the scenario 26 to 38 hot days are to be expected at Hohe Warte while in the Inner City the figures will be even higher.

All models and all emission scenarios predict an increase in the number of heat caused deaths. The estimates are in accordance with the observations from the 2003 heat wave. Then per day approximately 5 more deaths occurred than in the previous year.

A1-a-1 Einleitung

Im heißen Sommer 2003 sind in Europa rund 35.000 Menschen mehr gestorben als im langjährigen Mittel. Anders als in anderen Ländern (Grize et al. 2005, Johnson 2005, Kovats et al. 2004, Vandentorren et al. 2004, Thommen Dombois und 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) gibt es dazu in Österreich keine publizierten Untersuchungen. Dabei wurde das Phänomen der Temperaturabhängigkeit der Sterblichkeit bereits vor 2003 international mittels verschiedener Methoden erforscht. Eine hervorragende Übersicht über den Wissensstand bis zum Jahr 2002 geben Basu und Samet (2002). Erste österreichische Analysen mit dem Vergleich der täglichen Sterbefälle während der Hitzewelle 2003 mit denen im korrespondierenden Vergleichszeitraum des Vorjahres (2004) zeigen jedoch einen Anstieg der Sterblichkeit um ca. 10%. Mengenmäßig betrifft dieser Anstieg vor allem ältere Personen (ab etwa 65 Jahre). Der prozentuelle Anstieg ist aber auch bei (männlichen) Kleinkindern deutlich (Hutter et al., 2006).

In Hinblick darauf, dass ähnliche Sommertemperaturen voraussichtlich häufiger werden (starker Anstieg von Tropentagen, $T_x > 30^\circ\text{C}$, in Wien innerhalb der nächsten 20 Jahre) wäre eine Analyse der zu erwartenden Änderungen von Morbidität und Mortalität dringend erforderlich.

Allein für die Hitzewelle 2003 berichtet die WHO (2004) folgende Zahlen zur Übersterblichkeit: Frankreich: 14.802 Personen; UK: 2045; Portugal: 2099. In einem eben 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. Dabei sind in Europa von 1976 bis 1999 die Minima (Nachttemperaturen) stärker gestiegen als die Tagesmaxima. Auch die Häufigkeit von Hitzetagen ist gestiegen, ebenso die von Hitzepetoden, v.a. im Mai und Juli.

Tab. A1-a-1: Klimawandel – Beobachtungen und Schätzungen (Houghton et al. 2001).

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

A1-a-2 Material und Methoden

A1-a-2.1 Verwendete Daten

a) Klimadaten zur Verfügung gestellt vom Institut für Meteorologie der BOKU (1.1.1970 – 30.6.2005), Daten der Station „Hohe Warte“, in einem späteren Projektstadium auch der Station „Innere Stadt“ (ab 1990):

- Temperatur (tägliches Maximum, tägliches Minimum, Temperatur um 7:00 Uhr, 14:00 Uhr und 19:00 Uhr)
- Relative Feuchte (%) um 7:00 Uhr, 14:00 Uhr und 19:00 Uhr
- Luftdruck
- Kysely-Episoden

b) Mortalitätsdaten (tägliche Sterblichkeit) zur Verfügung gestellt von STAT-AT (1.1.1990 – 31.12.2004). Jeder Todesfall mit folgenden Angaben:

- Datum
- Alter (vollendetes Lebensjahr) und Geschlecht
- 3-stelliger Diagnoseschlüssel (ICD10 oder ICD9) der Haupttodesursache
- Wohnbezirk

Aus einer früheren Untersuchung auch Daten zur täglichen Sterblichkeit (nur nicht gewaltsame Todesfälle) in Wien in den Jahren 1975-1979 nach Geschlecht und 5-Jahres-Altersgruppen.

c) Krankenhausaufnahmen zur Verfügung gestellt von ÖBIG (1.1.1992 – 30.6.2005). Jede Aufnahme eines Wieners (Wohnadresse) in einem Spital in Wien oder im näheren Umland. Jede Aufnahme mit folgenden Daten:

- Aufnahme-Datum
- Alter (5-Jahres-Gruppen) und Geschlecht
- 3-stelliger Diagnoseschlüssel (ICD10 oder ICD9) der ersten Entlassungsdiagnose
- Wohnbezirk

d) Grippeepisoden (von 1970 bis Winter 2004/05). Entnommen dem Grippemeldesystem des Gesundheitsamtes der Gemeinde Wien.

e) Luftschadstoffe (Tagesmittelwerte von O₃, NO₂, NO und Staub, 1990-2004 bzw. so weit vorhanden, verschiedene Messstationen).

f) Notarztefahrten (tägliche Frequenz). Bereitgestellt von Wiener Rettung für die Jahre 2002 bis 2005.

A1-a-2.2 Definition der Hitzewelle

Eine einheitliche Definition scheint schwierig, auch die WMO hat den Begriff Hitzeperiode noch nicht definiert. 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. Bisherige Definitionen betrachten absolute oder relative Schwellenwerte von Witterungsparametern bzw. Kombinationen von beidem. Die meist verwendeten Definitionen von Hitzeperioden basieren auf

- einem Schwellenwert der Lufttemperatur oder auf
- einem Schwellenwert der Lufttemperatur und einer Mindestdauer, oder auf
- Indices, die aus einer Kombination von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte errechnet werden.

Die in Europa verwendeten Temperaturschwellwerte haben einen Nord-Süd und einen West-Ost Gradienten, je weiter im Südosten gelegen, desto höher der Schwellwert. Die Sommer sind in Südeuropa wärmer als in den vom Atlantik beeinflussten Teilen Europas.

Zusätzlich kann auch die Länge des Sommers und die Größe der Temperaturänderung in die Definition der Hitzeperiode eingebunden werden, um den Effekt der Kurzzeit-Akklimatisation über den Sommer zu berücksichtigen. Es gibt Indizien, dass Hitzeperioden größere Auswirkungen auf Mortalität und Morbidität haben, wenn sie früh im Sommer auftreten (Nogueira 2005, Hajat et al. 2002, Basu und Samet 2002).

Für den Zweck unseres Projektes haben wir uns für die Definition nach Kysely (2004) entschieden: Eine „Hitzeperiode“ wird festgestellt, sobald an mindestens 3 Tagen in Folge die Maximaltemperatur 30°C überschreitet und hält so lange an, als die mittlere Maximaltemperatur über die gesamte Periode über 30°C bleibt und an keinem Tag eine Maximaltemperatur von 25°C unterschritten wird.

A1-a-2.3 Erste Datenanalyse und Planung der Untersuchung (statistisches Modell und Hypothese)

Es wurde beschlossen, zuerst die Mortalitätsdaten mit den Klimadaten in Beziehung zu setzen. Bereits eine erste grafische Darstellung des Zeitverlaufes der täglichen Sterblichkeit zeigte (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 nahezu linear abnehmender Trend in der täglichen Sterblichkeit (Abb. A1-a-8). Der lineare Trend spiegelt prinzipiell Änderungen in der Bevölkerungszahl und -zusammensetzung sowie die steigende Lebenserwartung wider. In diesem speziellen Fall wird er wohl von der steigenden Lebenserwartung dominiert, da sowohl die Bevölkerungszahl (Abb. A1-a-1) als auch der Anteil alter Personen zunahm. Auch die saisonale Schwankung hat mit Sicherheit mehrere Ursachen, wobei klimatische Faktoren im engeren Sinn nicht allein das Phänomen erklären können.

In Zeitreihenanalysen zur Auswirkung von Luftschadstoffen auf die Gesundheit (z.B. Sterblichkeit) haben sich „General Additive Models“ (GAMs) bewährt. Es wurde daher beschlossen, diese Modelle auch für diese Untersuchung einzusetzen. Das Prinzip eines GAM soll im Folgenden kurz dargelegt werden:

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.

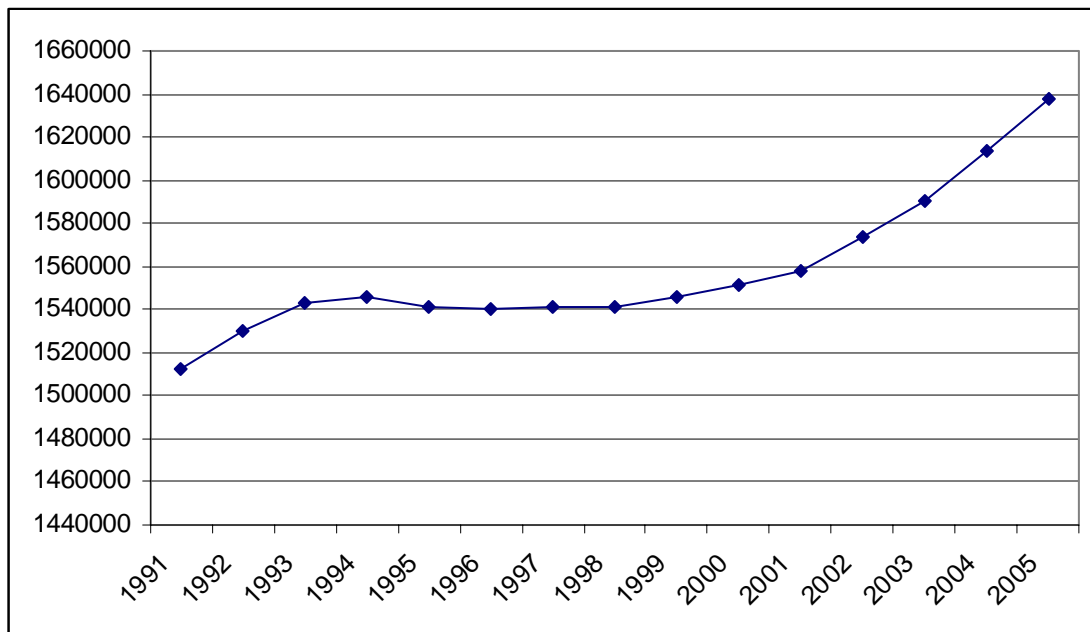


Abb. A1-a-1: Bevölkerungsentwicklung in Wien (Quelle: Statistik Austria 2005).

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. Einige Aufregung hat in der Epidemiologenzunft die Beobachtung von Dominici et al. (2002) ausgelöst, dass die Prozedur im sehr gebräuchlichen Statistik-Programm S-Plus ungenaue Konfidenzschätzer liefert. Eine Korrektur (GAM-exakt) wurde vorgeschlagen und diese wird in unserer Arbeit auch angewandt.

Die Analyse der Einflüsse der Klimafaktoren auf die tägliche Sterblichkeit erfordert einen sukzessiven Aufbau des adäquaten Modells. Dieser Aufbau hat für jeden Gesundheitsendpunkt gesondert zu erfolgen und ist daher relativ zeitintensiv. Solche Endpunkte könnten z.B. sein: Gesamtsterblichkeit, Sterblichkeit eines Geschlechts oder einer Altersgruppe, Sterblichkeit in einer Gruppe von Bezirken oder an bestimmten Krankheitsgruppen. Dabei wurde nach der gleichen Methode vorgegangen, die im bekannten APHEA-Projekt (Air Pollution and Health Effects Analysis, Katsouyanni et al., 1995, 1997) angewandt wurde:

Im ersten Schritt werden lediglich das Datum und die Anzahl der täglichen interessierenden Todesfälle ins Modell aufgenommen. Hier soll die optimale Anzahl von Stützpunkten für die kubischen Splines bzw. der benötigten Freiheitsgrade gesucht werden, um einerseits saisonale Schwankungen weitgehend herauszufiltern, aber eine Überadjustierung nach Möglichkeit zu vermeiden. Als „optimal“ wird dabei jene Anzahl von Freiheitsgraden angesehen, für die der Absolutwert der Summe der Autokorrelationen minimal ist. Erfahrungsgemäß liegt diese Anzahl etwa zwischen 3 und 5 Freiheitsgraden je Jahr.

In weiteren Schritten werden sukzessive weitere Einflussfaktoren zum Modell hinzugefügt. Auch für Temperatur, Feuchte und Luftdruck gilt unter anderem, dass die optimale Anzahl an Freiheitsgraden gesucht werden sollte. Weiters berücksichtigte das APHEA-Projekt die Möglichkeit, dass auch die Wetterdaten der Vortage (Lag 1 und Lag 2) einen Einfluss auf die Sterblichkeit haben könnten. Wegen der hohen Korrelation zwischen den Werten des selben Parameters an aufeinanderfolgenden Tagen kann aber jeweils nur der Wert eines Tages ins entgeltige Modell aufgenommen werden. Es gilt also schrittweise (für Temperatur, Feuchte und Druck getrennt) zu prüfen, welcher Wert die

beste prädiktive Aussage erlaubt. Ebenso wäre denkbar, dass auch die Änderung eines Wertes (Differenz zum Vortag) für die Gesundheit bedeutsam ist. Auch für diesen Differenzbetrag wurde jeweils die optimale Anzahl von Freiheitsgraden und der optimale Bezug zum Untersuchungstag (Lag 0 – Lag 2) gesucht. Zur Beurteilung des besten Modells dient das Akaike-Informationskriterium (AIC, Akaike, 1973). Das Modell mit dem kleinsten AIC indiziert das beste Modell, welches für die nächste Stufe als Ausgangsmodell zugrunde gelegt wird.

Der Wochentag, der auch einen Einfluss auf Gesundheitsendpunkte haben kann, geht als Faktor (bzw. als Dummy) ins Modell ein. Hierbei wurden die Wochentage von Montag = 0 bis Sonntag = 6 kodiert.

Die Aufnahme der Temperatur (Einfluss modelliert als Spline) bewirkt, dass der Effekt von Hitzeperioden (Kysely-Tage) eher unterschätzt wird, da ein Teil des Effektes der Hitze bereits durch den „normalen“ Einfluss der (warmen) Temperatur abgebildet wird. In einem alternativen Modell wurde daher auch der Effektschätzer der Kysely-Tage ohne Berücksichtigung des allgemeinen Temperatureinflusses erhoben sowie in einem Modell, in welches die Temperatur linear eingeht.

In Ergänzung zum APHEA-Modell untersuchen wir auch die Temperaturänderung am Tage (also die Differenz zwischen minimaler und maximaler Temperatur am selben Tag). Bezüglich der Temperatur (Lag 0 bis 2 bzw. Differenz zwischen den Tagen) zeigte eine erste Grobanalyse, dass zwischen der Verwendung von minimaler und maximaler Temperatur kein wesentlicher Unterschied besteht (was das Aussehen der Splines und den Einfluss auf das relative Risiko von Kysely- und Grippetagen anbelangt). Im Folgenden wurde die tägliche Maximaltemperatur als Maß für die Tagestemperatur herangezogen.

Wenn das Modell so weit fertiggestellt ist, werden noch die binären Variablen „Grippe-tag“ und „Kysely-Tag“ ergänzt und die einzelnen Kurven (Splines für das Datum und die einzelnen Klimafaktoren) mittels „plot“-Befehls dargestellt. Wenn eine Kurve einen angenähert linearen Verlauf aufweist, wird dieser Parameter im nächsten Modell linear (parametrisch) modelliert. Zuletzt werden (Klima-)Parameter, die keinen signifikanten Einfluss auf den Gesundheitsendpunkt haben, wieder entfernt. Am Beispiel der Gesamtmortalität soll dieses Vorgehen genauer dargestellt werden (Kapitel A1-a-4).

A1-a-3 Ergebnis der Klimaszenarien: Zahl der Kyselytage

A1-a-3.1 Daten und Methodik

Um mit Hilfe von großräumigen meteorologischen Feldern Aussagen über die Temperatur an der Erdoberfläche machen zu können, wird der im Projekt Startclim-2004-B entwickelte Ansatz des synoptischen Downscalings verwendet. Dabei wird ein funktionaler Zusammenhang zwischen großräumigen meteorologischen Feldern und der gemessenen Temperatur am Boden hergestellt. Zur Ableitung des geeigneten Zusammenhangs werden Reanalysedaten des europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage verwendet. Diese sogenannten ERA 40 Daten liegen in etwa in der gleichen horizontalen Auflösung vor, wie die Ergebnisfelder gängiger globaler Klimamodelle. Mit Hilfe diverser meteorologischer Parameter an den vier um die gesuchte Beobachtungsstation liegenden Gitterpunkten wird eine multiple Regression zwischen ausgewählten Parametern und der täglichen beobachteten Maximaltemperatur als Zielgröße berechnet. Um einen schärferen Zusammenhang zu erzielen wird nur das Sommerhalbjahr (April bis September) verwendet. Die Tatsache, dass es in der inneren Stadt in Wien keine lang zurückreichende Klimabeobachtung gibt, hat uns bewogen, die stündlichen Temperaturbeobachtungen der beiden Stationen Schottenstift und Innere Stadt zu nehmen und aus den 24 Werten eines Tages jeweils das nach Klimadefinition festgelegte Maximum zu berechnen. Es wird also der höchste beobachtete Wert zwischen 7 und 19 Uhr für das Maximum herangezogen. Da es sich um stündliche Messwerte handelt, liegt dieses Maximum einige zehntel Grad unter jenem eines echten Maximumthermometers, da es unwahrscheinlich ist, dass die Tageshöchsttemperatur genau zu einer vollen Stunde erreicht wird. Um konsistent zu bleiben und die beiden Stationen Innere Stadt und Hohe Warte vergleichbar zu machen, wurde diese Methode auch für die Station Wien-Hohe Warte angewandt.

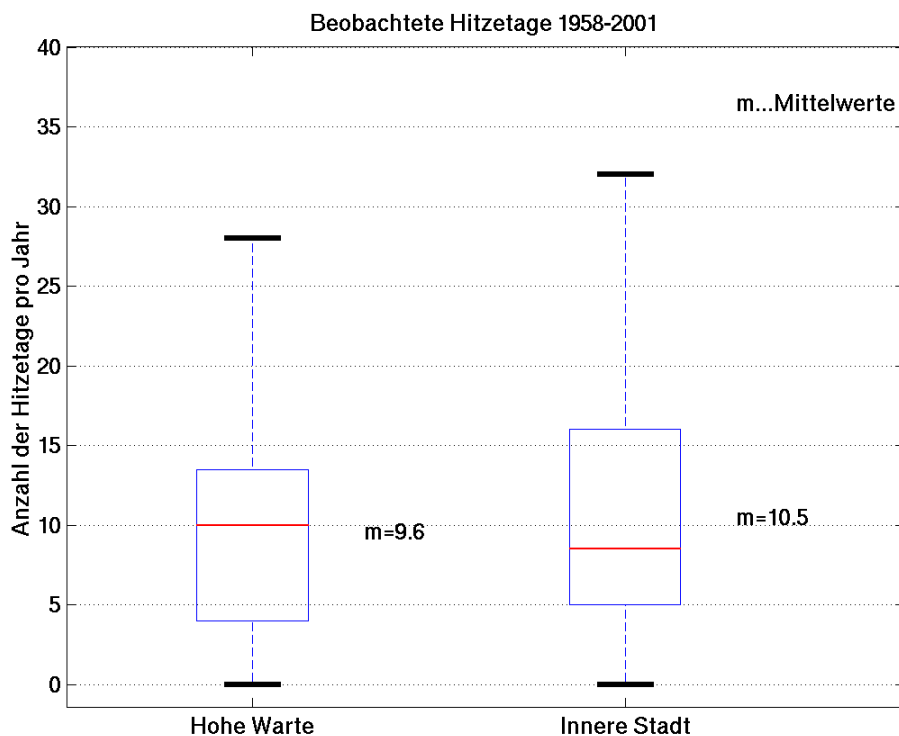


Abb. A1-a-2: Vergleich der beiden Stationen Innere Stadt und Wien Hohe Warte.

In Abb. A1-a-2 sind für beide Stationen die Anzahl der Hitzetage pro Jahr in Box-Whiskerplots dargestellt. Leicht zu erkennen ist die größere Streuweite in der Inneren Stadt und auch das etwas höhere Niveau der Box. Dies spiegelt sich auch im höheren Mittelwert der Station Innere Stadt wider, wo pro Jahr im Durchschnitt 10,5 Hitzetage auftreten.

A1-a-3.2 Klimaszenarien

Um Aussagen über das zukünftige Klima machen zu können, werden Klimasimulationen durchgespielt. Dabei werden Szenarien angesetzt, wie sich beispielsweise die globale Wirtschaft weiter entwickelt und daraus resultierend der CO_2 Gehalt in der Atmosphäre simuliert. Mit diesem Hintergrund wird ein komplexes Klimamodell betrieben und liefert meteorologische Feldverteilungen für die nächsten Jahre. In unserem Fall wird das ECHAM5 Modell mit den Szenarien B1, A2 und A1B verwendet. Das B1 Szenario ist ein sehr optimistisches, bei dem der CO_2 Gehalt bis zum Ende des Jahrhunderts wieder leicht abnimmt. Das A1B Szenario spiegelt eine nahezu lineare Zunahme der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre wieder und das A2 Szenario lässt die Konzentration gegen Ende des 21. Jahrhunderts deutlich ansteigen. Für die aus dem Klimamodell resultierende Temperatur (Abb. A1-a-3) ist nicht alleine der CO_2 Gehalt in der Atmosphäre entscheidend, sondern auch deren chemische Zusammensetzung.

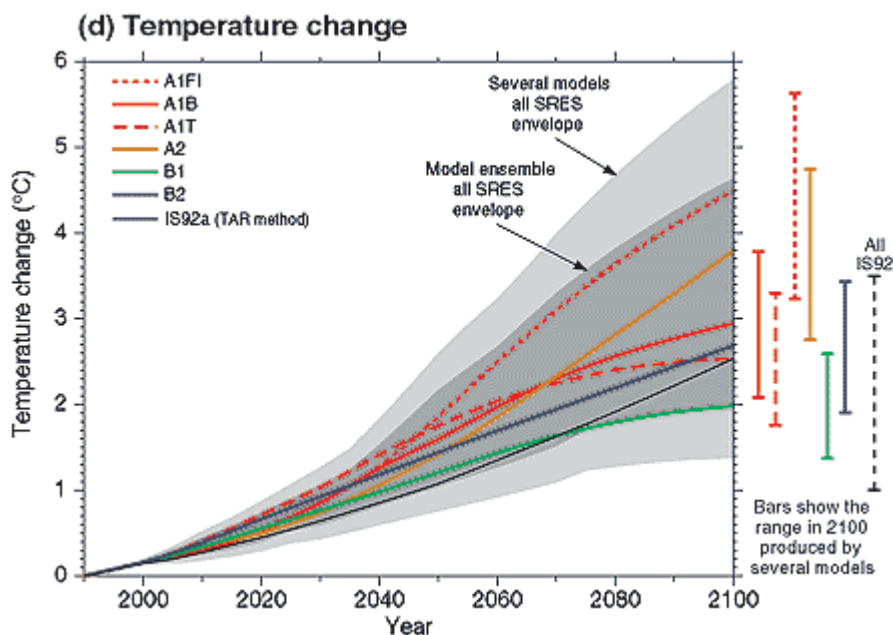


Abb. A1-a-3: Änderung der globalen Mitteltemperatur aufgrund verschiedener Emissionsszenarien (IPCC 2001).

Für jedes einzelne dieser drei unterschiedlichen Szenarien werden immer 30 Jahre als Block betrachtet, um erstens einen kontinuierlichen Verlauf zu erzielen und zweitens statistisch repräsentativ zu sein. Somit werden die Zeiträume von 1961-1990, 1976-2005, 2011-2040, 2036-2065 und 2061-2090 betrachtet. Für jede einzelne der 30-jährigen Episoden werden die Hitzetage pro Jahr und auch die Anzahl der Kyselytage pro Jahr ermittelt, dies sind all jene Tage im Jahr, die in eine Kyselyepisode fallen.

Da es sich bei den meteorologischen Feldern der Klimaszenarien um sehr große Datenmengen handelt und zusätzlich drei unterschiedliche Szenarien verwendet werden, um die Unsicherheiten ein wenig abschätzen zu können, wird für die Berechnung der Maximaltemperatur am Boden nur der Parameter Temperatur in 850 hPa am nächstgelegenen Gitterpunkt des Klimamodells verwendet. Diese sehr einfache funktionale Be-

ziehung erklärt bereits nahezu 90 Prozent der Varianz des Regressionsmodells (Formayer et al., 2005).

A1-a-3.3 Validierung des Regressionsmodells

Um zu überprüfen, wie gut die mittels Regression ermittelte Maximaltemperatur am Boden mit der tatsächlich beobachteten übereinstimmt, werden die Hitzetage pro Jahr unter Verwendung der ERA 40 Daten und des GCM - Kontrolllaufs berechnet und in Box-Plots dargestellt (Abb. A1-a-4). Dabei erkennt man, wie dies auch schon im vorjährigen Projekt festgestellt wurde, dass bei der Regression mit ERA 40 - Daten eine leichte Unterschätzung der tatsächlich beobachteten Werte auftritt. Die Ableitung der Maximaltemperatur aus dem GCM – Kontrolllauf stimmt an beiden Stationen recht gut mit den beobachteten Werten überein. An der Station Hohe Warte werden im Mittel 9,6 Hitzetage pro Jahr beobachtet und im Modell werden bei Verwendung der ERA40 Daten 7,0 Tage, bei Verwendung der ECHAM5 - Daten 9,6 Tage ermittelt. An der Station Innere Stadt stimmt die Modellierung nicht ganz so perfekt mit der Beobachtung überein, was aber auch an der in Kapitel A1-a-3.1 erwähnten künstlichen Verknüpfung der beiden nahe gelegenen Beobachtungsstationen in der Innenstadt liegen kann. Die doch recht gute Abbildung des historischen Klimas im Modell stellt einen optimalen Ausgangspunkt zur Ableitung zukünftiger Temperaturen aus den Szenarien dar.

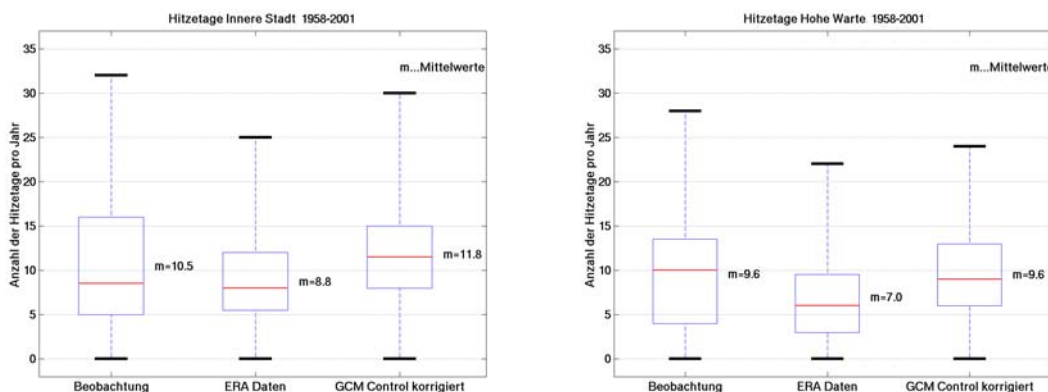


Abb. A1-a-4: Vergleich zwischen beobachteten und aus der Regression ermittelten Hitzetagen pro Jahr. Links für die Station Innere Stadt, rechts für die Station Wien-Hohe Warte.

A1-a-3.4 Zukunftsprojektion

Basierend auf dem funktionalen Zusammenhang zwischen der Temperatur in 850 hPa des Kontrolllaufs im Klimamodell und der beobachteten Maximaltemperatur wird für die prognostizierten Felder die Bodentemperatur abgeleitet. Wieder wird die Anzahl der Hitzetage pro Jahr ermittelt und jeweils eine 30 jährige Statistik gebildet. In Abb. A1-a-5 ist dies für das A1B-Szenario dargestellt. An beiden Stationen erkennt man eine deutliche Zunahme der Hitzetage pro Jahr. In der Innenstadt nimmt die Zahl der Hitzetage etwas mehr zu als am Stadtrand. Treten in der Klimanormalperiode (1961-90) im Mittel noch 8 Hitzetage pro Jahr auf, so steigt diese Zahl für die letzten 30 Jahre (1976-2005) im Mittel bereits auf 11 bis 13 Tage an. Für die 30 Jahre von 2010 bis 2039 sind aufgrund des gewählten Klimaszenarios im Mittel 17 bis 20 Hitzetage pro Jahr zu erwarten. Zur Mitte des Jahrhunderts muss man demzufolge bereits mit 26 bis 29 Hitzetagen pro Jahr rechnen, was mehr als eine Verdopplung der gegenwärtigen Situation bedeutet. In den letzten untersuchten 30 Jahren setzt sich dieser Trend fort und im Mittel kann mit 37 bis 40 Hitzetagen pro Jahr gerechnet werden. Wie schon erwähnt basiert diese Auswertung auf dem A1B-Klimaszenario, welches einen stetigen Temperaturanstieg annimmt, wie in Abb. A1-a-3 zu sehen ist.

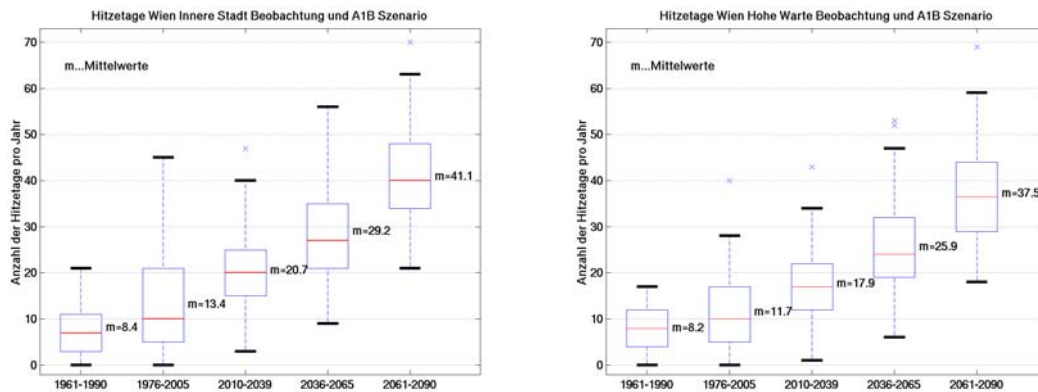


Abb. A1-a-5: Anzahl der Hitzetage pro Jahr ermittelt aus Daten des A1B-Szenarios für unterschiedliche Zeiträume. Links für die Station Innere Stadt, rechts für die Station Wien-Hohe Warte.

Um eine gewisse Abschätzung über die Unsicherheit zu erlangen, die in der projizierten Temperatur und in der Folge in den Hitzetagen pro Jahr steckt, wird dieselbe Auswertung auch für die beiden anderen untersuchten Klimaszenarien durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. A1-a-6 dargestellt. Auf den ersten Blick erkennt man, dass die Zahl der Hitzetage in allen drei untersuchten Szenarien in den nächsten Jahren ansteigen wird. Weiters wird deutlich, dass das näher untersuchte und durchaus realistische A1B-Szenario die extremsten Temperaturänderungen beinhaltet. Betrachtet man das optimistische B1-Szenario, bei dem der CO₂-Gehalt in der Luft allmählich wieder abnimmt, so steigt die Zahl der Hitzetage pro Jahr zwar deutlich langsamer, aber dennoch merkbar an. In den Jahren 2010-2039 treten dann im Mittel 15 Hitzetage pro Jahr auf, in der Mitte des Jahrhunderts bereits 19 und gegen Ende des Jahrhunderts schon 26, wenn man die Werte der Station Wien-Hohe Warte betrachtet. Die Werte des A2-Szenarios liegen ziemlich nahe an jenen des A1B-Szenarios.

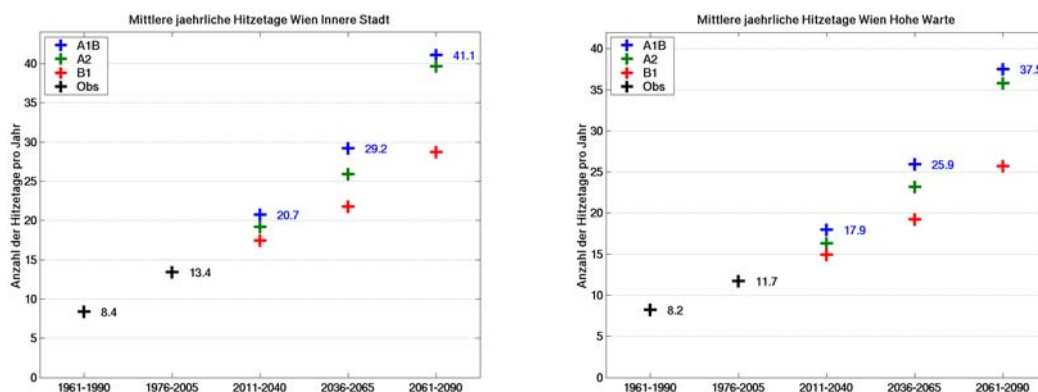


Abb. A1-a-6: Anzahl der Hitzetage pro Jahr für verschiedene Zeiträume und drei unterschiedliche Klimaszenarien. Links: Station Innere Stadt; Recht: Station Wien-Hohe Warte.

Da für die Mortalität nicht die Anzahl der Hitzetage alleine relevant ist, sondern viel mehr die Tatsache, ob es sich um eine Kyselyepisode handelt oder nicht, wird eine diesbezügliche Auswertung der projizierten Temperaturen durchgeführt. Zur statistischen Auswertung derselben wird die Anzahl an Tagen innerhalb solcher Episoden pro Jahr verwendet. Das heißt eine dreitägige Episode liefert drei Kyselytage im Jahr und eine vierzehntägige 14 solcher Tage. Die Länge der Kyselyepisode wird dabei als solches nicht berücksichtigt, eine 30-tägige Episode hat gleiches Gewicht, wie zehn dreitägige. Es werden also alle Tage innerhalb von Kysely-Episoden in den untersuchten 30 Jahren

aufsummiert und anschließend durch die 30 Jahre geteilt, um ein Mittel zu bekommen. Dieser Mittelwert ist dann aber nicht mehr als Einzelepisodenlänge zu interpretieren, da wir ja auf die Information der Episodenlänge verzichtet haben. In Abb. A1-a-7 ist dieser Mittelwert für die drei verschiedenen Szenarien dargestellt. Man erkennt, dass es in der Klimanormalperiode noch durchschnittlich 5,1 Kyselytage pro Jahr gab, in den Jahren 1976-2005 wurden schon 9,1 solcher Tage an der Station Wien-Hohe Warte pro Jahr beobachtet. In den zukünftigen Jahren nimmt auch die Anzahl der Kyselytage deutlich zu, woraus man schließen kann, dass nicht nur immer mehr Hitzetage auftreten werden, sondern diese auch gehäuft vorkommen werden.

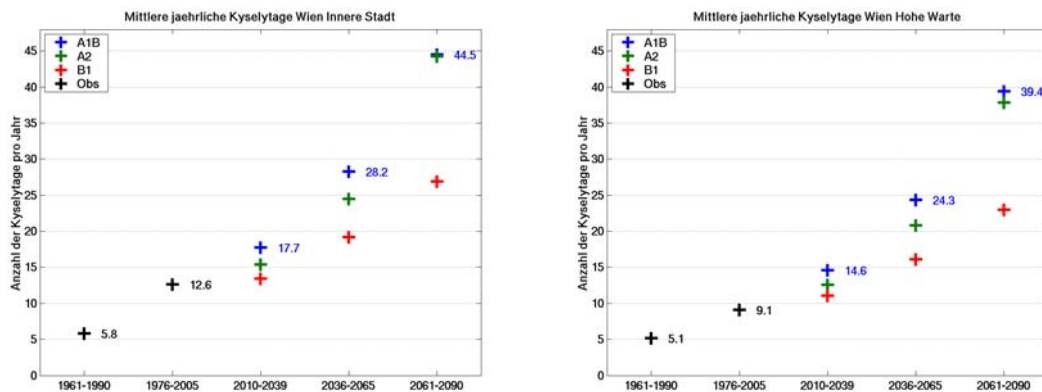


Abb. A1-a-7: Mittlere Anzahl an Tagen innerhalb von Kyselyepisoden in den projizierten Klimaszenarien. Links für die Station Innere Stadt, rechts für die Station Wien-Hohe Warte.

A1-a-4 Historische Ergebnisse tägliche Todesfälle

A1-a-4.1 Gesamtmortalität

Die Ergebnisse der Zeitreihenanalyse (1990 bis 2004) über die tägliche Sterblichkeit werden anhand der Gesamtsterblichkeit ausführlicher dargestellt, um den Rechengang zu veranschaulichen.

Für die Gesamtmortalität 1990 bis 2004 erwiesen sich 72 Freiheitsgrade als optimal für die Modellierung des Zeitverlaufs (Abb. A1-a-8). Dargestellt ist ein einfaches Modell ohne weitere Klimaparameter. An den meisten Wochentagen (mit Ausnahme von Mittwoch) finden sich weniger Sterbefälle als am Montag. Der Unterschied ist aber nur für Samstag und Sonntag signifikant (Tab. A1-a-2 und Abb. A1-a-9). Unter der Modellannahme, dass die Maximaltemperatur linear die Sterblichkeit beeinflusst, ist die Risikoerhöhung an Kysely-Tagen mit ca. 14% deutlich ausgeprägter als jene an Grippetagen (ca. 8%). Lässt man die Maximaltemperatur als Spline ins Modell eingehen, bleibt für Kysely-Tage eine etwa gleich hohe Risikoerhöhung wie an Grippetagen bestehen.

Tab. A1-a-2: Resultat des folgenden GAM-Befehls samt Varianten (Modellierung d. Temperatur.)
Wegen des log-links lässt sich das relative Risiko (RR) aus $RR = \exp(\text{Value})$ berechnen.

```
gam(formula = all.mort ~ s(time,72) + as.factor(dow) + grippe + Tmax + Kysely,
     family = poisson(link = log), na.action = na.omit)
```

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.86413309808	4.263000e-002	137.558844	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005520479	1.199688e-006	-46.015959	NA	NA
Tmax	0.00133780768	2.215399e-004	6.038676	0.0003971887	3.368799
as.factor(dow)1	-0.00431456516	3.516020e-003	-1.227116	0.0035782477	-1.205787
as.factor(dow)2	0.00217701100	2.026253e-003	1.074402	0.0020665228	1.053455
as.factor(dow)3	-0.00170017006	1.438315e-003	-1.182056	0.0014629007	-1.162210
as.factor(dow)4	-0.00135083651	1.115350e-003	-1.211133	0.0011354475	-1.189701
as.factor(dow)5	-0.00241090047	9.149725e-004	-2.634943	0.0009248971	-2.606666
as.factor(dow)6	-0.00508329193	7.814100e-004	-6.505281	0.0007816543	-6.503236
grippe	0.08315090335	5.623761e-003	14.785639	0.0073517372	11.309801
Kysely	0.13524785850	1.034280e-002	13.076517	0.0114160337	11.846504

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.87575245744	4.257743e-002	138.001584	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005521069	1.200194e-006	-46.001475	NA	NA
Tmin	0.00118974998	2.926591e-004	4.065310	0.0005137907	2.316802
as.factor(dow)1	-0.00436805077	3.515968e-003	-1.242347	0.0035777314	-1.220919
as.factor(dow)2	0.00213397490	2.026260e-003	1.053160	0.0020668111	1.032469
as.factor(dow)3	-0.00169697489	1.438330e-003	-1.179823	0.0014632822	-1.159734
as.factor(dow)4	-0.00134956843	1.115350e-003	-1.209996	0.0011354793	-1.188551
as.factor(dow)5	-0.00241373063	9.149769e-004	-2.638024	0.0009247929	-2.610014
as.factor(dow)6	-0.00508760874	7.814294e-004	-6.510644	0.0007816323	-6.508928
grippe	0.08347226594	5.695040e-003	14.657010	0.0073567579	11.345427
Kysely	0.13973571959	1.022542e-002	13.665517	0.0112385119	12.433305

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.87770218825	4.262860e-002	137.881652	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005565236	1.199698e-006	-46.388645	NA	NA
s(Tmax)	0.00167385866	2.203182e-004	7.597461	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00363686770	3.516016e-003	-1.034372	0.0035781411	-1.016357
as.factor(dow)2	0.00239252182	2.026248e-003	1.180765	0.0020666243	1.157715
as.factor(dow)3	-0.00163642016	1.438312e-003	-1.137737	0.0014630174	-1.118475
as.factor(dow)4	-0.00126901726	1.115354e-003	-1.137771	0.0011320434	-1.120992
as.factor(dow)5	-0.00250106166	9.149726e-004	-2.733483	0.0009248211	-2.704430
as.factor(dow)6	-0.00516860251	7.814081e-004	-6.614472	0.0007823387	-6.606681
grippe	0.08215319130	5.623991e-003	14.607633	0.0074013465	11.099826
Kysely	0.07691138776	1.034011e-002	7.438158	0.0127310353	6.039189

In diesem einfachen Modell nimmt die Sterblichkeit an „Kysely-Tagen“ um 13-14% zu, wenn die Temperatur (gleich ob maximal oder minimal) zusätzlich linear modelliert wird. Wenn die Temperatur als kontinuierlicher Wert als Spline modelliert wird (3. Variante), verbleibt für „Kysely-Tage“ noch eine Mortalitätssteigerung von 7,7%.

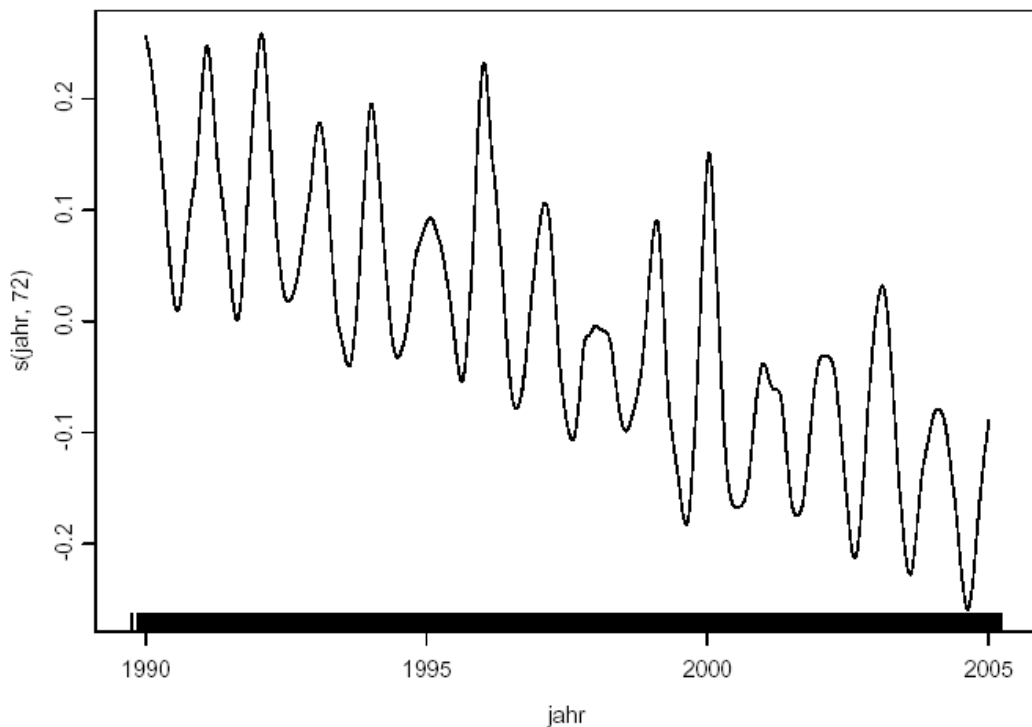


Abb. A1-a-8: Modellierung des Einflusses des Datums auf die tägliche Gesamtsterblichkeit in Wien. 72 Freiheitsgrade, Plot des entgültigen Modells (siehe Text).

Nach Einfügen weiterer Klimaparameter (mit optimierter Lagstruktur) ergibt sich folgendes Ergebnis (Tab. A1-a-3):

Tab. A1-a-3: Resultat des folgenden GAM-Befehls (alle Klimafaktoren als Splines modelliert).

```
gam(formula = all.mort ~ s(time, 72) + as.factor(dow) + s(Tmax, 5) +
s(d.temp.1, 2) + s(Rh7h, 2) + s(d.rh, 2) + s(Pressure, 2) + s(d.pres.1, 2) +
s(dd.temp, 3)+grippe+Kysely, family = quasi(var = "mu", link = "log"), ma-
xit = 1000, bf.maxit = 1000, na.action = na.omit)
```

	Value	Std. Error	t value	A-exact	SE	A-exact	t
(Intercept)	7.27028821550	2.985670e-001	24.3506050	NA	NA	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005600742	1.255873e-006	-44.5964050	NA	NA	NA	NA
s(Tmax, 5)	0.00106918808	3.458191e-004	3.0917558	NA	NA	NA	NA
s(d.temp.1, 2)	0.00331893224	6.881986e-004	4.8226370	NA	NA	NA	NA
s(Rh7h, 2)	0.00048524407	2.111578e-004	2.2980163	NA	NA	NA	NA
s(d.rh, 2)	-0.00014473636	1.883690e-004	-0.7683663	NA	NA	NA	NA
s(Pressure, 2)	-0.00141600643	2.914414e-004	-4.8586315	NA	NA	NA	NA
s(d.pres.1, 2)	-0.00069392640	5.072450e-004	-1.3680300	NA	NA	NA	NA
s(dd.temp, 3)	-0.00065067187	7.771282e-004	-0.8372774	NA	NA	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00421480971	3.665051e-003	-1.1500003	0.0037363200	-1.128152		
as.factor(dow)2	0.00258250755	2.109861e-003	1.2240181	0.0021534257	1.199213		
as.factor(dow)3	-0.00173092302	1.497866e-003	-1.1555927	0.0015244811	-1.135526		
as.factor(dow)4	-0.00142835309	1.160798e-003	-1.2304920	0.0011794442	-1.211057		
as.factor(dow)5	-0.00239389061	9.522218e-004	-2.5140053	0.0009639505	-2.483343		
as.factor(dow)6	-0.00520351829	8.142686e-004	-6.3904200	0.0008155041	-6.380610		
grippe	0.08267792524	5.986159e-003	13.8115143	0.0077663969	10.645255		
Kysely	0.07202988456	1.081798e-002	6.6583468	0.0138171752	5.214767		

Einzelne Plots von Klimaparametern (Abbildung Abb. A1-a-10 bis Abb. A1-a-16) zeigten jedoch einen angenähert linearen Verlauf: Die Temperaturänderung von vorgestern auf gestern (Abb. A1-a-11), die relative Feuchte (Rh) am selben Tag, wobei als Maß der Wert um 7:00 Uhr herangezogen wurde (Abb. A1-a-12), der Luftdruck am gleichen Tag (Abb. A1-a-14) und die Luftdruckänderung an den Vortagen (Abb. A1-a-15). In einem weiteren Modell gingen diese Parameter daher linear ein (Tab. A1-a-4).

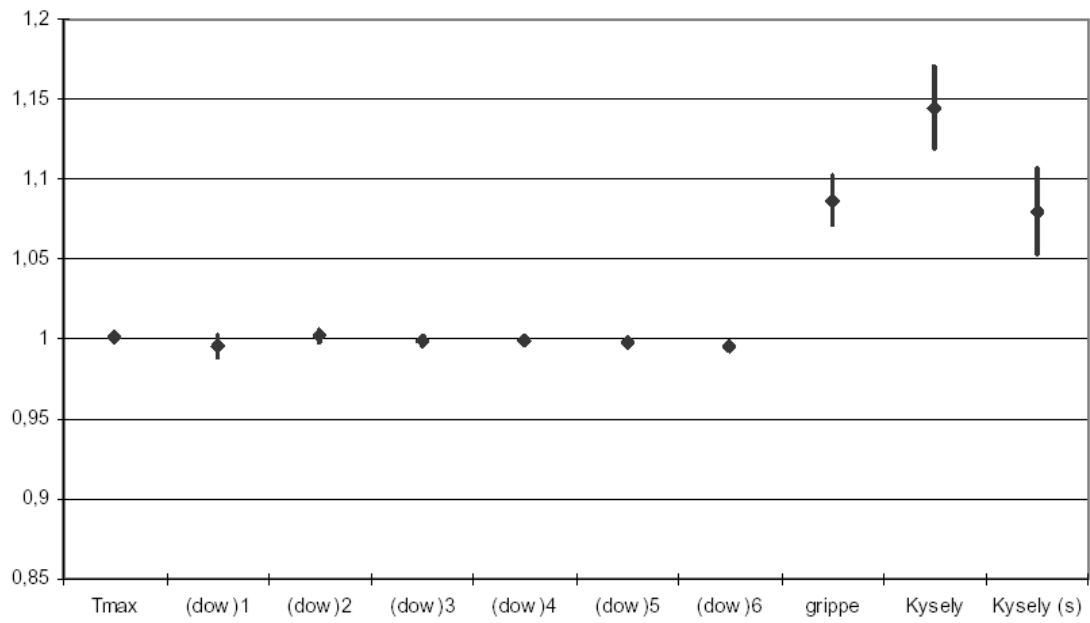


Abb. A1-a-9: Relatives Risiko und 95%-Konfidenzintervall für die Gesamtsterblichkeit in Wien. Der Effekt von Kysely-Episoden wurde in 2 Modellen erfasst: Im ersten ging Tmax linear ein, im zweiten – „Kysely (s)“ – wurde Tmax als Spline modelliert.

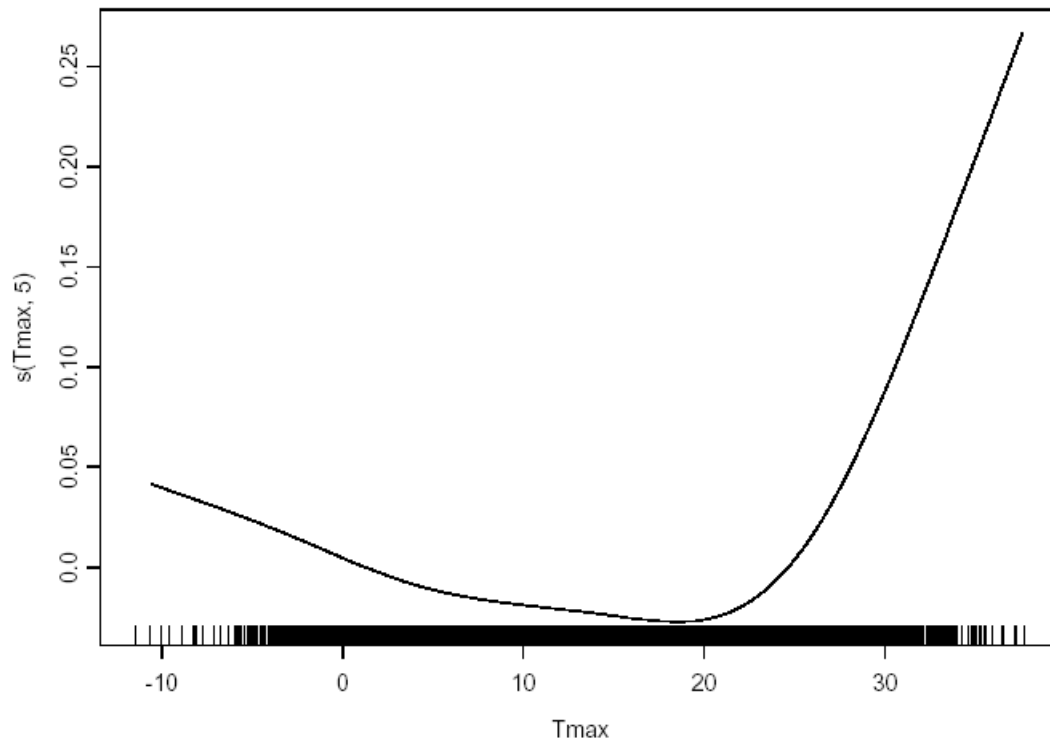


Abb. A1-a-10: Maximale Temperatur am gleichen Tag (im Vergleich zu Lag 1 und Lag 2 bevorzugt).

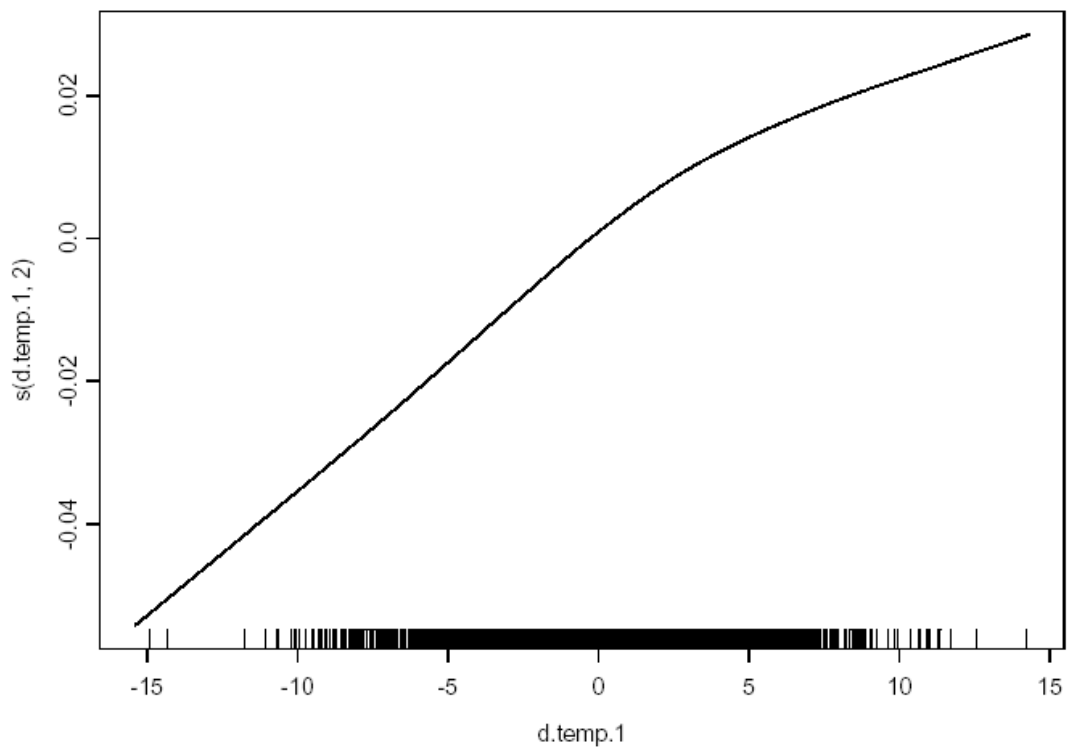


Abb. A1-a-11: T_max gestern – T_max vorgestern.

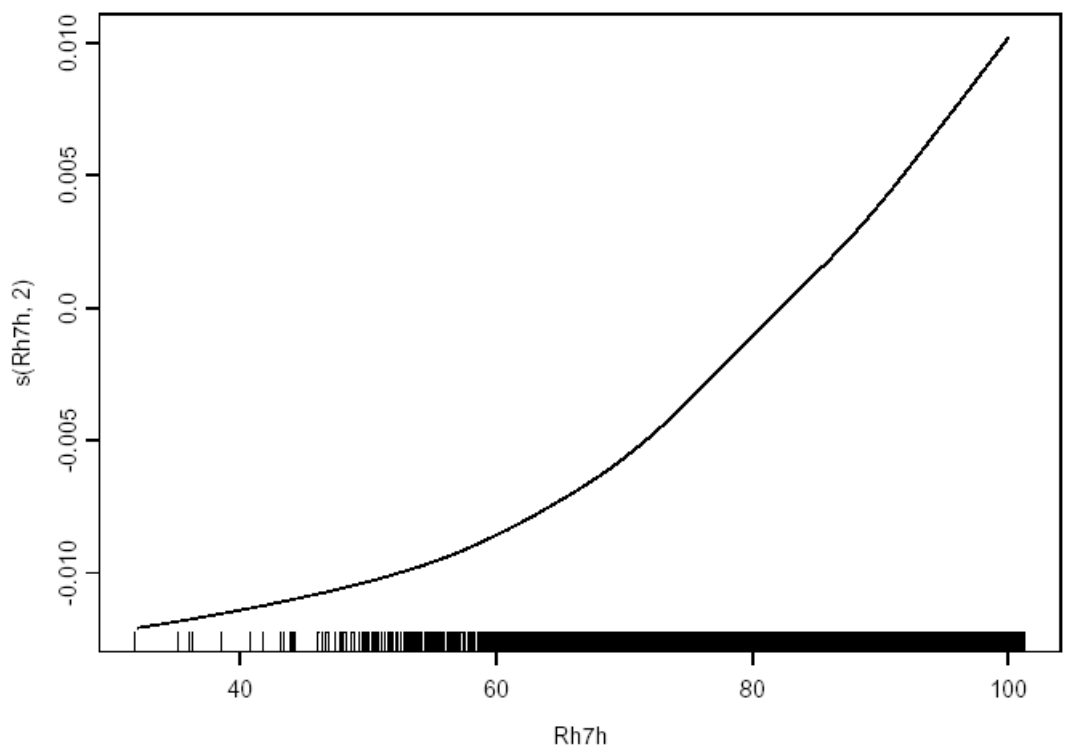


Abb. A1-a-12: Relative Feuchte um 7:00 (dieser Messpunkt wurde a priori gewählt) am gleichen Tag (optimale Anzahl von Stützpunkten).

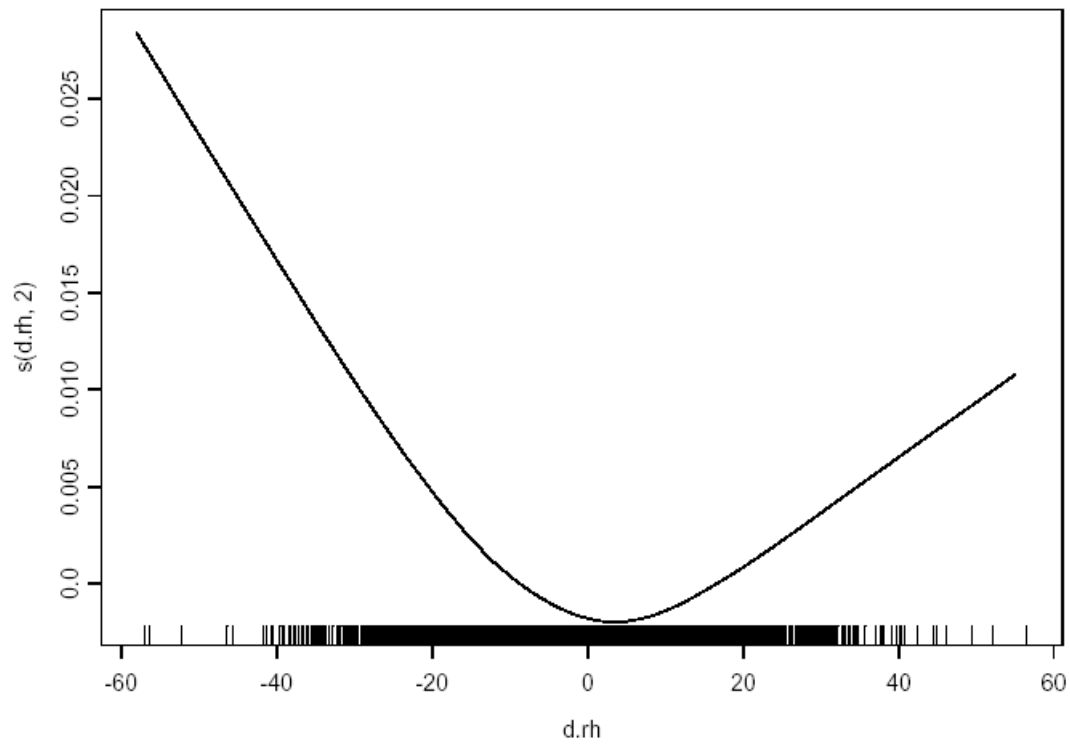


Abb. A1-a-13: Relative Feuchte heute – gestern.

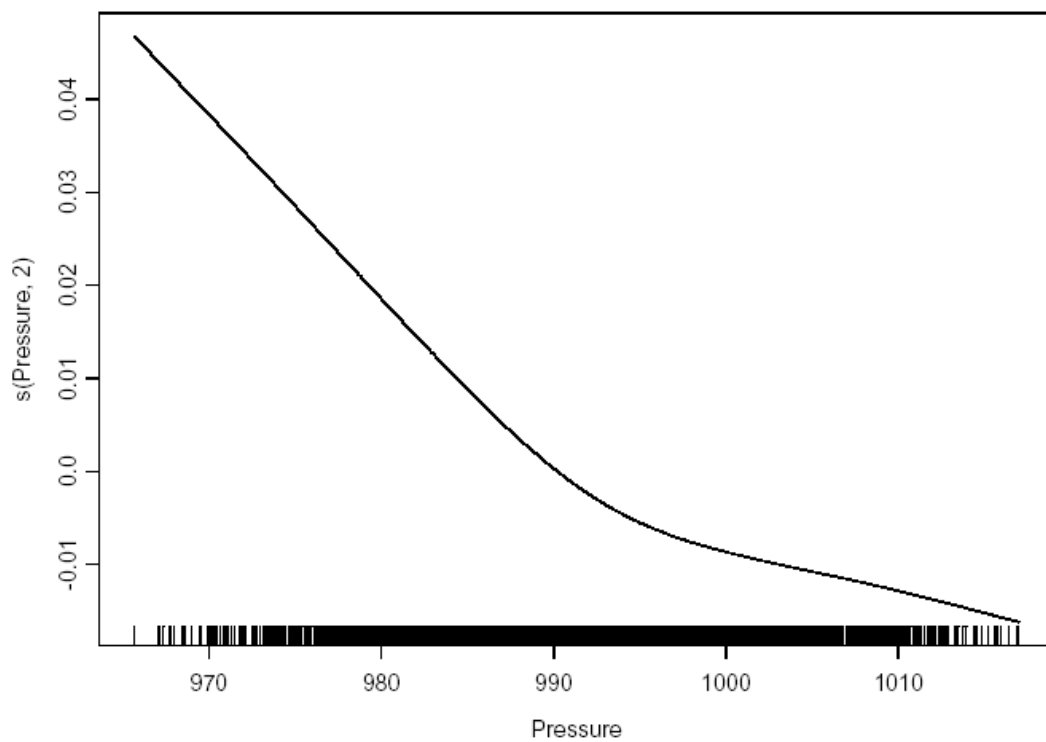


Abb. A1-a-14: Luftdruck heute (gegenüber den Vortagen im Modell mittels ANOVA bevorzugt).

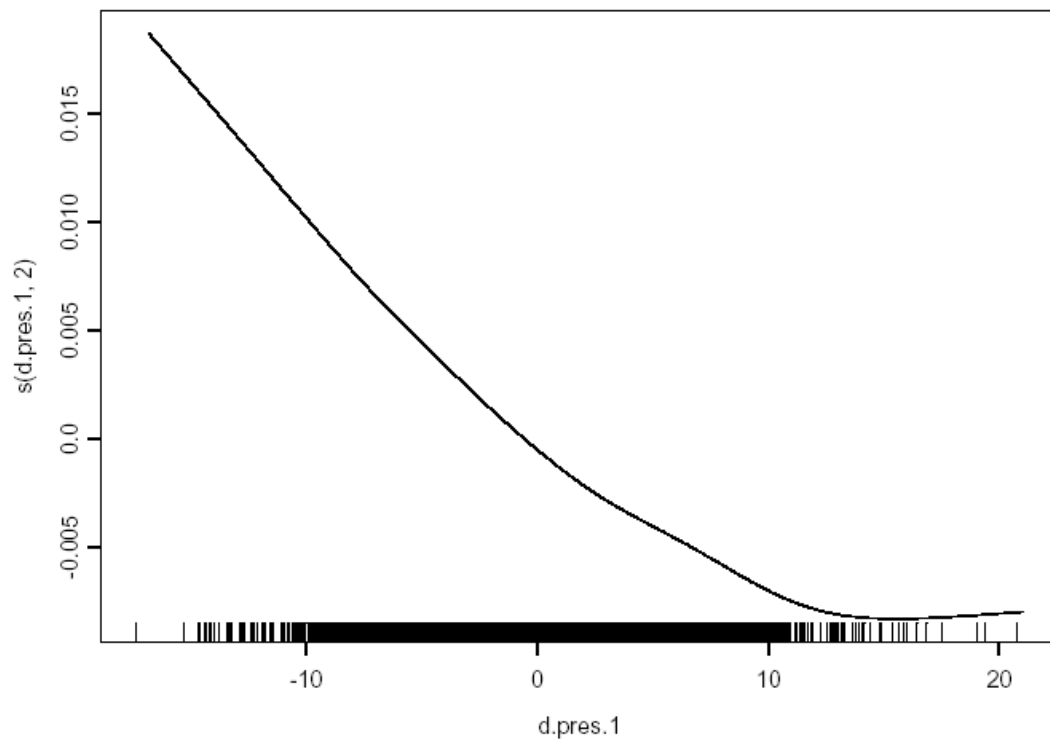


Abb. A1-a-15: Luftdruck gestern – vorgestern.

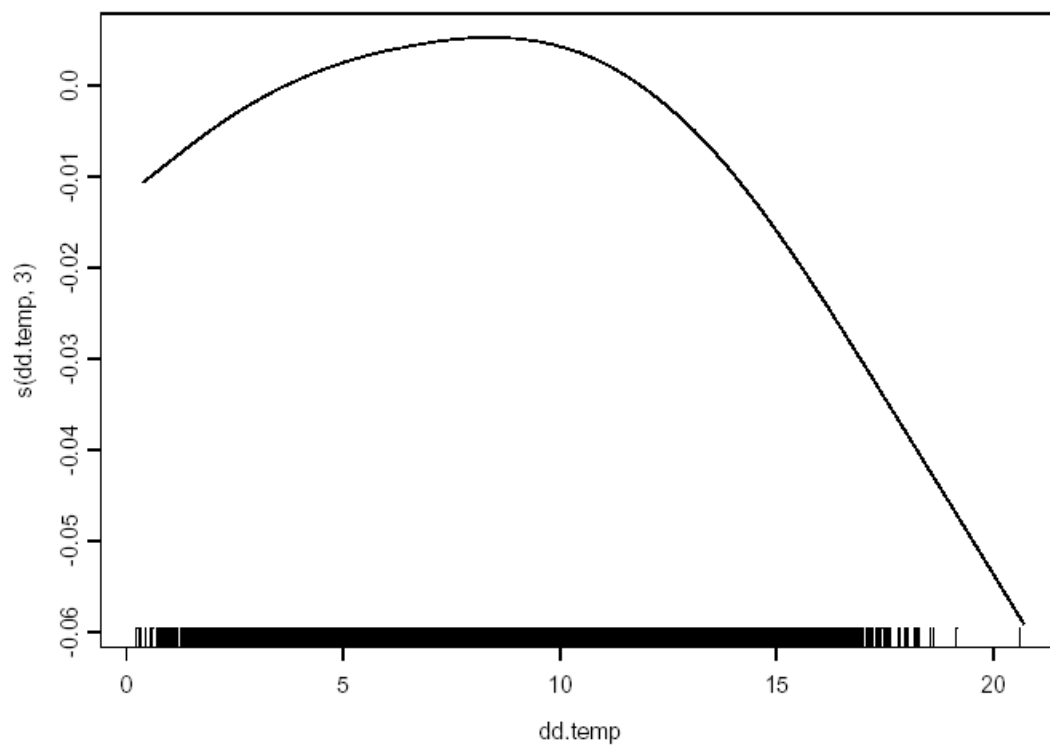


Abb. A1-a-16: Differenz zwischen maximaler und minimaler Temperatur (nur am aktuellen Tag, keine ANOVA).

Tab. A1-a-4: Resultat des folgenden GAM-Befehls (Klimafaktoren als Splines oder je nach Form des Splinemodells linear modelliert).

```
gam(formula = all.mort ~ s(time, 72) + as.factor(dow) + s(Tmax, 5) + d.temp.1 +
  Rh7h + s(d.rh, 2) + Pressure + d.pres.1 + s(dd.temp, 3)+grippe+Kysely, family =
  quasi(var = "mu", link = "log"), maxit = 1000, bf.maxit = 1000,
  na.action = na.omit)
```

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	7.31217707051	2.988481e-001	24.4678699	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005615405	1.256011e-006	-44.7082484	NA	NA
s(Tmax, 5)	0.00098969213	3.458691e-004	2.8614647	NA	NA
d.temp.1	0.00330838133	6.876972e-004	4.8108114	0.0007126318	4.642280
Rh7h	0.00047730374	2.112299e-004	2.2596405	0.0002402661	1.986776
s(d.rh, 2)	-0.00013441089	1.883779e-004	-0.7135172	NA	NA
Pressure	-0.00145194810	2.917317e-004	-4.9769974	0.0003240654	-4.480111
d.pres.1	-0.00073977911	5.074381e-004	-1.4578705	0.0005286693	-1.399242
s(dd.temp, 3)	-0.00056414983	7.772884e-004	-0.7257922	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00410726260	3.665482e-003	-1.1205245	0.0037452094	-1.096763
as.factor(dow)2	0.00257902511	2.110111e-003	1.2222223	0.0021557941	1.196275
as.factor(dow)3	-0.00170524570	1.498049e-003	-1.1383107	0.0015279937	-1.116118
as.factor(dow)4	-0.00141882834	1.160937e-003	-1.2221412	0.0011798433	-1.202574
as.factor(dow)5	-0.00239015621	9.523345e-004	-2.5097865	0.0009647809	-2.477330
as.factor(dow)6	-0.00520255372	8.143662e-004	-6.3884700	0.0008169830	-6.367869
grippe	0.08333256310	5.987070e-003	13.9187554	0.0077565906	10.743315
Kysely	0.07183740699	1.081921e-002	6.6398036	0.0140229389	5.124429

In einem letzten Schritt wurden jene Parameter entfernt, die keinen signifikanten ($abs(t)$ kleiner 1,5) Einfluss auf die Gesamtmortalität haben. Es ergab sich Tab. A1-a-5, wobei sich für den Einfluss von Kysely- und Grippe-Episoden kaum ein Unterschied zu den früheren Modellen zeigte.

Tab. A1-a-5: Resultat des folgenden GAM-Befehls (entgültiges Modell, nur mit signifikanten Klimafaktoren).

```
gam(formula = all.mort ~ s(time, 72) + as.factor(dow) + s(Tmax, 5) + d.temp.1 +
  Pressure + grippe+Kysely, family = quasi(var = "mu", link = "log"), maxit =
  1000, bf.maxit = 1000, na.action = na.omit)
```

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	7.66703480655	0.26464768964	28.970723	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005635471	0.00000125535	-44.891623	NA	NA
s(Tmax, 5)	0.00053065868	0.00023824694	2.227347	NA	NA
d.temp.1	0.00350939855	0.00066368308	5.287763	0.0006941904	5.054595
Pressure	-0.00176137758	0.00025837808	-6.817055	0.0002843604	-6.194003
as.factor(dow)1	-0.00416229623	0.00366831115	-1.134663	0.0037460028	-1.111037
as.factor(dow)2	0.00245628299	0.00211213851	1.162937	0.0021565290	1.138999
as.factor(dow)3	-0.00171147035	0.00149889949	-1.141818	0.0015259428	-1.121539
as.factor(dow)4	-0.00137000887	0.00116232217	-1.178683	0.0011820127	-1.159037
as.factor(dow)5	-0.00246430100	0.00095352426	-2.584414	0.0009659525	-2.551238
as.factor(dow)6	-0.00516151726	0.00081428436	-6.338716	0.0008177273	-6.312108
grippe	0.08470792325	0.00588540940	14.392868	0.0077262082	10.962940
Kysely	0.07412120558	0.01080689831	6.858694	0.0138999907	5.330223

Die Gesamtsterblichkeit nahm somit von 1990 bis 2004 in Wien ab und zeigte eine jährliche Schwankung (mit höheren Zahlen im Winter). An Wochenenden ereignen sich etwas weniger Sterbefälle. Dieser Unterschied ist gering, aber signifikant. Der Einfluss der Temperatur am gleichen Tag zeigt einen nicht linearen Verlauf mit der geringsten Sterblichkeit bei „mittleren Temperaturen“ (T-max zwischen 15 und 20°C). Je höher die Temperatur am gleichen Tag im Vergleich zum Vortag ist, und je niedriger der Luftdruck ist, desto höher ist die Sterblichkeit. Alle soeben genannten Einflüsse sind zwar signifikant, aber gering ausgeprägt. Weitaus kräftiger stellt sich der Einfluss von Grippetagen und von Kysely-Episoden dar, die jeweils eine mehr als 5-prozentige (fast 10%) Zunahme der Sterblichkeit bewirken.

Vergleichbare Modelle wurden für unterschiedliche Diagnosegruppen (Herz-Kreislaufkrankungen), Altersgruppen (über 65 Jahre, unter 5 Jahre) und Geschlecht gerechnet.

Mit Ausnahme der Sterblichkeit der Kleinkinder, welche keine so ausgeprägten saisonalen Schwankungen aufweist und für die der Temperatureinfluss nicht einheitlich zu sein scheint, fanden sich keine wesentlichen Unterschiede zu den Ergebnissen bei der Gesamtsterblichkeit. Das ist einerseits ermutigend, weil es das ursprüngliche Ergebnis stützt, andererseits aber auch enttäuschend, weil die Hoffnung bestand, Risikogruppen oder bestimmte Diagnosegruppen herauszuarbeiten, die besonders von Hitzewellen betroffen sein könnten. Diese Ergebnisse werden im Detail weiter unten (Kapitel A1-a-4.3) ausgeführt.

In einem anderen Ansatz gruppieren wir die Bezirke Wiens nach der Bevölkerungsdichte (in zwei Gruppen getrennt nach der durchschnittlichen Bevölkerungsdichte in Wien, Bachinger et al. 2003). Erste Analysen zeigen, dass das relative Risiko bei Hitzewellen zu sterben, in den dichter bewohnten Bezirken höher ist. (Das gleiche gilt erwartungsgemäß für Grippetage.) Auch die Ergebnisse dieser Detailanalysen werden ausführlicher im Kapitel A1-a-4.3 dargestellt.

A1-a-4.2 Optimierung des Modells

In Kapitel A1-a-4.1 wurde gezeigt, dass die tägliche Sterblichkeit von der Temperatur in Wien abhängt: Dabei wurden die saisonalen und langjährigen Schwankungen und Trends modelliert, indem jenes Spline-Modell mit der Anzahl von Stützpunkten gesucht wurde, bei dem die Autokorrelation minimal ist. Für die Gesamtsterblichkeit entsprach dies 72 Freiheitsgraden.

Im nächsten Schritt wurde der beste Fit für den Einfluss der Temperatur gesucht. Da ja auch die Hitzeperioden („Kysely“) über die Maximaltemperatur definiert sind, wurde ad hoc die Maximaltemperatur als Maß gewählt, wobei ursprünglich nur die Daten der Station „Hohe Warte“ zur Verfügung standen. Verglichen wurde der Einfluss dieses Temperaturparameters unter Auswahl von 3 Lags (Lag 0, 1, und 2) und jeweils 3 verschiedenen Spline-Formen (3 bis 5 Freiheitsgrade).

Das Aikike Informationskriterium (AIC) optimiert ein Modell dahingehend, dass gleichzeitig die Varianz der Residuen und die verbrauchten Freiheitsgrade minimiert werden. Neben dem Temperaturwert selbst wurde weiters für die Änderung der Temperatur zum Vortag (ebenfalls 3 Lags, 3 Spline-Formen) auf die gleiche Weise das beste Modell gesucht. Es ergaben sich für die tägliche Maximaltemperatur an der Hohen Warte folgende beste Modellparameter: Maximale Temperatur am gleichen Tag, Spline mit 5 Freiheitsgraden, sowie Differenz zwischen Lag 1 und Lag 2, 2 Freiheitsgrade.

Im Folgenden wurde diskutiert, ob die Maximaltemperatur den besten Parameter für die Belastung durch die Hitze darstellt. Insbesondere wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Minimaltemperatur (als Maß für die nächtliche Abkühlung, welche einen besonderen Einfluss auf die Erholung im Schlaf hat), besser geeignet wäre. Weiters wurde angeregt, die Daten der Messstation „Innere Stadt“ heranzuziehen, da diese Station eventuell repräsentativer für die Wiener Bevölkerung ist.

Es wurde in einem ersten Schritt für jeden einzelnen Temperaturparameter das optimale Modell gesucht, wie es in Kapitel A1-a-4.1 für die Maximaltemperatur an der „Hohen Warte“ geschildert wurde. Neben dem saisonalen Einfluss (mit 72 Freiheitsgraden) wurde jeweils der Wochentag ins Modell aufgenommen. Die jeweils besten Modellierungen sind der Tab. A1-a-6 zu entnehmen. Die Bezeichnung der Parameter wurde wie folgt standardisiert: Die Zahl nach dem „L“ steht für die Anzahl der Lags (keine Zahl bedeutet Lag 0), die Zahl nach dem „S“ für die Freiheitsgrade des Splines. Der erste Wert betrifft den einzelnen Temperaturparameter selber, der zweite Wert (mit „d.“) die Differenz vom Vortag.

Tab. A1-a-6: Beste Modellierung für jeden einzelnen Temperaturparameter.

Tmax:	s(tmax, 5)	s(d.temp.1, 2)
Tmin:	s(tmin, 5)	s(d.tmin.1, 3)
T7h:	s(t7h, 5)	s(d.t7h.1, 2)
T14h:	s(t14h.1, 5)	s(d.t14h, 5)
T19h:	s(t19h.1, 5)	s(d.t19h, 3)
Max.innere:	s(max_i, 5)	s(d.max_i.1, 2)
Min.innere:	s(min_i, 5)	s(d.min_i.1, 2)
T7h.innere:	s(t7_i, 5)	s(d.t7_i.1, 2)
T14h.innere:	s(t14_i.1, 5)	s(d.t14_i, 5)
T19h.innere:	s(t19_i.1, 5)	s(d.t19_i, 3)

Das beste Spline-Modell für die jeweilige Temperatur hatte immer 5 Freiheitsgrade. Die Temperaturen um 14 und 19 Uhr ergaben jeweils für den Folgetag den besten Fit. Für diese beiden Parameter (jeweils an beiden Messstationen) erwies sich weiters die Differenz zwischen Lag 0 und Lag 1 als am besten geeignet. Die anderen Temperaturparameter hatten am gleichen Tag den deutlichsten Einfluss und bei der Differenz erwies sich jene zwischen Lag 1 und Lag 2 als optimal. Bei den Temperaturdifferenzen fanden sich hinsichtlich der Freiheitsgrade keine einheitlichen Ergebnisse.

Im nächsten Schritt wurden die jeweils besten Modelle jedes Parameters mittels AIC gegeneinander verglichen (Tab. A1-a-7). Es zeigte sich (und bestätigte somit die Hypothese), dass das AIC beim Parameter „Minimaltemperatur Messstation Innere Stadt“ minimal war.

Tab. A1-a-7: Aikike Informationskriterium. Der niedrigste Wert (bester Fit) zeigt sich mit den Minimaltemperaturen an der Messstation „Innere Stadt“.

Tmax	6155.48476061349
Tmin	6144.15975940568
T7h	6128.19015539086
T14h	6156.97325814373
T19h	6135.32887254345
max.innere	6151.54251215425
min.innere	6119.05873052068
t7.innere	6100.81232120539
t14.innere	6138.29889066835
t19.innere	6123.72537841572

Im nächsten Schritt wurde mittels ANOVA geprüft, ob die Unterschiede zwischen den Modellen signifikant sind (Tab. A1-a-8). Dies ist tatsächlich der Fall.

Tab. A1-a-8: Vergleich der Modelle mit verschiedenen Temperaturparametern mittels ANOVA.

	Terms	Resid. Df	Resid. Dev	Test	Df	Deviance	F Value	Pr(F)
1	min.innere	5390.014	5928.620					
2	T7h	5390.019	5937.469	1 vs. 2	-0.00421	-8.84919	1910.326	0.0000078
3	t7.innere	5373.970	5910.348	2 vs. 3	16.04870	27.12076	1.536	0.0777785
4	T19h.1	5390.020	5942.270	3 vs. 4	-16.05047	-31.92125	1.808	0.0245455
5	Tmin	5389.004	5950.732	4 vs. 5	1.01611	-8.46239	7.571	0.0057210
6	max.innere	5390.025	5960.061	5 vs. 6	-1.02040	-9.32929	8.312	0.0037367
7	t19.innere.1	5374.971	5930.445	6 vs. 7	15.05360	29.61658	1.789	0.0302617
8	Tmax	5390.024	5963.856	7 vs. 8	-15.05283	-33.41119	2.018	0.0110520
9	T14h.1	5388.018	5958.900	8 vs. 9	2.00597	4.95605	2.246	0.1057509
10	t14.innere.1	5372.963	5940.217	9 vs. 10	15.05477	18.68302	1.128	0.3237386

Als nächster Schritt wurde der Binärfaktor „Kyselytag“ eingeführt. Die Definition des Kyselytages beruht dabei auf den Maximalwerten jener Messstation, von der auch der kontinuierliche Temperaturparameter herrührt. Auch nach dieser Erweiterung erwies sich

das Modell mit der Minimaltemperatur an der Station Innere Stadt als das beste. Dabei ist zu bedenken, dass die Temperaturverläufe an beiden Stationen weitgehend parallel verlaufen. Die Tage einer Kysely-Episode an den beiden Stationen überlappen sich weitgehend (Tab. A1-a-9), aber an der Station „Innere Stadt“ wurden mehr Kyselytage beobachtet.

Tab. A1-a-9: Kysely-Episoden laut den beiden Stationen.

Kysely	kys.innere		
	0	1	Summe
0	5141	131	5272
1	0	207	207
Summe	5141	338	5479

Der Unterschied im Fit der Modelle ist signifikant, obwohl insgesamt die einzelnen Temperaturparameter miteinander hoch korreliert sind (Tab. A1-a-10) und die Wahl der Messstation bzw. des Temperaturparameters nur unwesentlichen Einfluss auf den Effektschätzer für die Kyselyepisoden hat.

Tab. A1-a-10: Korrelation der einzelnen Temperaturparameter untereinander.

Innere Stadt	max.innere	min.innere	t7.innere	t14.innere
min.innere	0.9529637			
t7.innere	0.9594104	0.9887350		
t14.innere	0.9859856	0.9460231	0.9473475	
t19.innere	0.9779560	0.9451259	0.9427496	0.9839499

Hohe Warte	Tmax	Tmin	T7h	T14h
Tmin	0.9318927			
T7h	0.9488350	0.9821482		
T14h	0.9880414	0.9202438	0.9344363	
T19h	0.9771184	0.9294692	0.9398062	0.9797915

	Tmax	Tmin	T7h	T14h	T19h
max.innere	0.9977403	0.9327741	0.9493173	0.9841775	0.9754843
min.innere	0.9517691	0.9928081	0.9839386	0.9433696	0.9470033
t7.innere	0.9581385	0.9806002	0.9951275	0.9443280	0.9454214
t14.innere	0.9880539	0.9221386	0.9366152	0.9979586	0.9802629
t19.innere	0.9790913	0.9233670	0.9342554	0.9831699	0.9953733

A1-a-4.3 Sterblichkeit nach Subgruppen

Gleich wie im ursprünglichen Modell für die Gesamtsterblichkeit (saisonale und temporale Trends als Spline, maximale Temperatur, Feuchte und Druck samt Differenzen von der Station „Hohe Warte“ als optimal geformte Splines und mit optimaler Lag-Struktur, Wochentag, Grippe und Kysely-Episode) wurden auch verschiedene Teilmengen der täglichen Todesfälle (nach Alters- und Diagnosegruppen sowie Wohnbezirk) gesondert betrachtet. Tab. A1-a-11 gibt die Ergebnisse wieder, wobei „Grippetage“ als Vergleich für den Effekt von Kyselyepisoden dienen.

Tab. A1-a-11: Zusammenfassung der Ergebnisse ausgewählter Teilmengen der täglichen Todesfälle.

Untergruppe	Kysely-Episode		Grippe-Tage	
	RR	95% KI	RR	95% KI
Alle Todesfälle	1,078	1,049 - 1,108	1,095	1,078 - 1,112
Erste 3 Tage	1,027	1,008 - 1,047		
Rest der Kysely-Episode	1,021	1,010 - 1,032		
Herz-Kreislauf	1,061	1,022 - 1,101	1,105	1,083 - 1,128
Atemwege	1,243	1,093 - 1,414	1,333	1,242 - 1,432
Alle anderen Ursachen	1,064	1,022 - 1,108	1,050	1,029 - 1,072
Traumatische TU	1,102	0,988 - 1,230	1,037	0,981 - 1,096
Traumat. TU männlich	1,157	1,010 - 1,326	1,031	0,959 - 1,108
Traumat. TU weiblich	1,043	0,889 - 1,223	1,060	0,972 - 1,155
Mädchen bis 5 Jahre	0,731	0,485 - 1,101	1,077	0,870 - 1,335
Knaben bis 5 Jahre	1,175	0,816 - 1,692	1,044	0,855 - 1,273
Frauen ab 65 Jahre	1,081	1,057 - 1,105	1,083	1,069 - 1,096
Männer ab 65	1,013	0,984 - 1,0428	1,049	1,034 - 1,064
Alle Männer	1,099	1,076 - 1,123	1,081	1,067 - 1,095
Ln Ratio dicht/dünn besiedelt	1,029	0,986 - 1,074	1,021	0,997 - 1,046
Ln Ratio Extrembezirke	1,065	0,987 - 1,149	n.s.	-

Ein signifikant erhöhtes Sterberisiko zeigte sich nicht nur für alle Todesfälle, sondern auch bei Betrachtung der meisten Untergruppen: Hinsichtlich der Todesursachen bezüglich Herzkreislauf-Erkrankungen, wobei hier der Effektschätzer überraschender Weise tendenziell geringer ausfällt, Atemwegserkrankungen (mit dem höchsten Effektschätzer) sowie alle anderen Todesursachen zusammen. Nachträglich wurden auch isoliert traumatische Todesursachen (zumeist Unfälle, aber natürlich auch Folgen von Eigen- und Fremdaggressivität) untersucht. Auch für diese Gruppe war der Effektschätzer größer 1. Ein signifikanter Zusammenhang ergab sich bei dieser Diagnosengruppe allerdings nur bei den Männern. Diese wiesen eine sehr hohe Risikozunahme auf.

Eine Risikoerhöhung war für Männer und Frauen festzustellen, wobei diejenige bei den Männern in allen Altersgruppen sichtbar war, nicht so ausgeprägt jedoch bei den älteren Männern. Männer zeigen offenbar über alle Altersstufen ein erhöhtes Risiko während Hitzeperioden. Selbst bei den Kindern bis 5 Jahre war das Sterberisiko bei den Knaben

deutlich erhöht, wegen der geringen Fallzahl allerdings nicht signifikant. Noch höher war das relative Risiko bei bis einjährigen Knaben. Das Konfidenzintervall war aber wegen der geringen Fallzahlen so weit, dass auf eine Darstellung verzichtet wurde.

Kein großer Unterschied im täglichen Risiko (Gesamtsterblichkeit) zeigte sich zwischen den ersten drei und den folgenden Tagen einer Kysely-Episode. (In der Tabelle wird das Ergebnis dargestellt, wenn beide Sub-Perioden zugleich ins Modell aufgenommen werden.) Kysely-Tage haben jedoch ein höheres Risiko als einzelne Hitzetage. Am ersten Tag einer Kysely-Episode tritt noch kein Anstieg der Sterblichkeit auf. Die Definition der Hitzeperiode mit mindestens 3 Tagen Dauer ist also gut gewählt.

Zwischen den dicht und den dünn besiedelten Bezirken zeigten sich jedoch Unterschiede (Abb. A1-a-17). Die einzelnen Bezirksgruppen bzw. auch die Einzelbezirke erforderten jedoch unterschiedliche Einstellungen der optimalen Anzahl der Freiheitsgrade (bzw. der Form der Splines für die saisonalen Schwankungen). Um trotzdem einen unmittelbaren Vergleich zu ermöglichen, wurde das tägliche Verhältnis der Anzahl der Todesfälle zwischen den beiden Bezirksgruppen berechnet. Hierbei wurden zwei Vergleiche angestellt: Einerseits wurden alle Bezirke, welche dichter als der Wiener Durchschnitt besiedelt sind (Bezirke 5, 8, 6, 7, 15, 4, 20, 9, 3, 16, 12, 18, 1, 10, 2, 17 in fallender Dichte) gegen die dünner besiedelten Bezirke (11, 21, 23, 19, 14, 22, 13) verglichen. Andererseits wurden Extrembezirke für den Vergleich ausgewählt, und zwar für die dicht bebauten Bezirke 1,5,6,7,8,15 und für die locker bebauten 13,18,19,21,22,23.

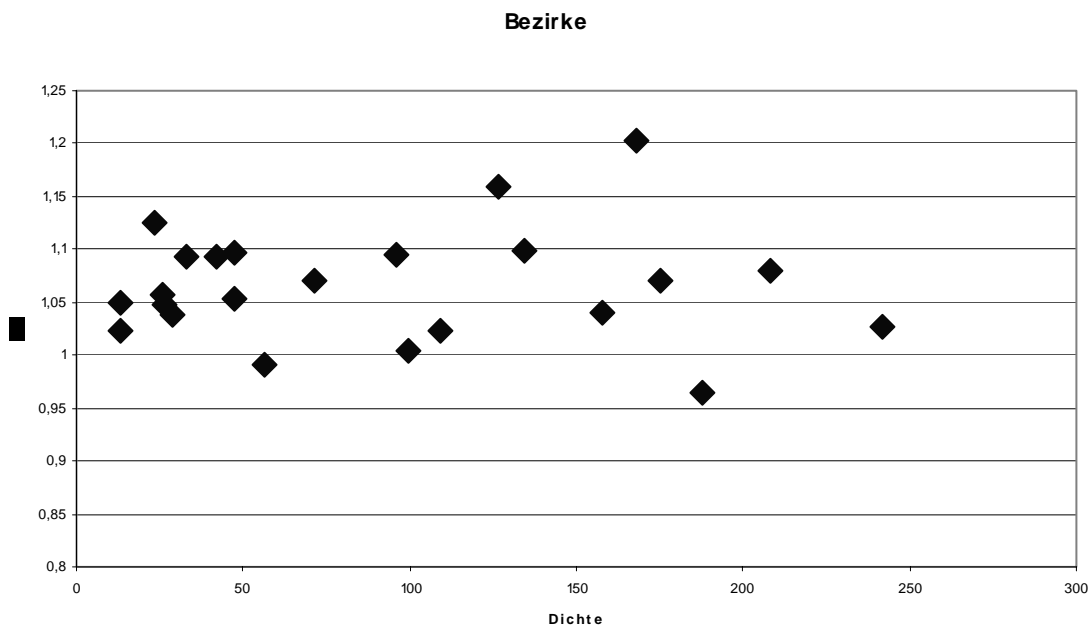


Abb. A1-a-17: Risikoschätzer (Gesamtsterblichkeit) für die einzelnen Bezirke nach der Bevölkerungsdichte.

Für die Ratio war nicht mehr eine Poisson-Regression anzuwenden und die Werte mussten mittels Log-Transformation zuerst einer Normalverteilung angeglichen werden. Die Effektschätzer dieser Untersuchungen (nur für Gesamtsterblichkeit dargestellt) sind daher nicht direkt mit denen der anderen Analysen vergleichbar. An sich geht es hier um eine Abschätzung einer Interaktion, für die größere Anforderungen an die Power zu stellen wären. Die Effekte der Kysely-Episoden sind somit auch nicht signifikant auf dem 5%-Niveau, aber es ergeben sich doch p-Werte unter 10%. Der Effektschätzer wird größer, wenn nur die (a priori festgelegten) extremen Bezirke miteinander verglichen wer-

den. Das Ergebnis ist mit der Hypothese im Einklang, dass die dicht bebauten Bezirke (wegen der mangelhaften nächtlichen Abkühlung) stärker unter einer Hitzewelle leiden.

A1-a-4.4 Alternative Modelle

Der heiße Sommer 2003 hat uns ursprünglich zur Befassung mit der Materie veranlasst. In Wien wurden damals keinesfalls die hohen Temperaturwerte erreicht, die etwa in Frankreich zu der bekannten massiven Übersterblichkeit führten. Während in Paris Maximaltemperaturen von nahezu 40°C gemessen wurden (Le Tetre et al., 2006), überschritt das Thermometer in Wien nur an einem Tag 37°C (13.8.2003). In einer ersten Annäherung definierten wir die Hitzewelle in Wien auf Basis der täglichen Durchschnittstemperatur von 22°C (Station Hohe Warte). Diese Definition ergab 2 Hitzeepisoden, die weitgehend mit denen nach Kysely überlappten und in Summe 37 Tage umfassten. An den entsprechenden Kalendertagen des Vorjahres (2002) starben im Durchschnitt täglich 40,2 (17 Männer und 23,2 Frauen) Personen, während in den Hitzewellen 2003 im Durchschnitt täglich 45,5 (19,4 Männer und 26,1 Frauen) starben. Diese Übersterblichkeit von 5,3 Personen täglich war für die Zeit der Hitzewellen spezifisch und keine Folge eines generellen (langjährigen) Trends. Der Unterschied zwischen den beiden Jahren betrug insgesamt nur 0,2 Personen pro Tag, während er für die Hitzewelle im Juli (13 Tage) 7 und im August (24 Tage) 4,4 betrug.

5 year age groups

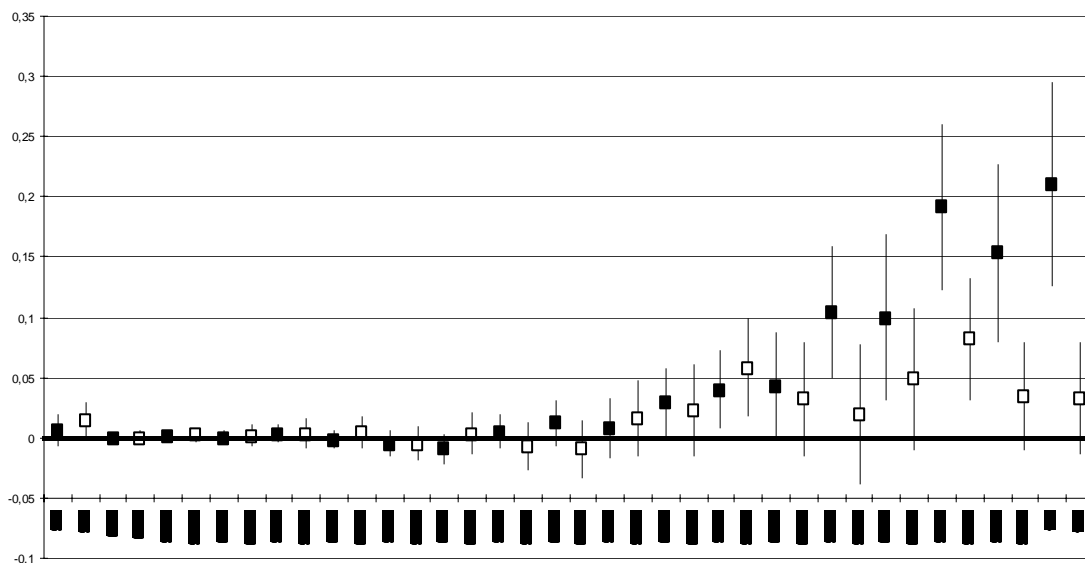


Abb. A1-a-18: Anstieg der Sterblichkeit pro 1° Temperaturzunahme über 18°C. 5-Jahres-Gruppen, Männer: offene, Frauen: schwarze Quadrate.

In einem weiteren Untersuchungsansatz untersuchten wir den Einfluss der Temperatur auf die tägliche Sterblichkeit der Wiener in einer Zeitreihenuntersuchung. Wir betrachteten dabei zwei 5-Jahres-Perioden, und zwar von 1975 bis 1979 und von 1999 bis 2003. Wir wählten einen parametrischen Ansatz, wobei wir die saisonalen Schwankungen als Sinusfunktion des Kalendertages (1 bis 365 bzw. 366) und die langjährigen Trends als linearen Einfluss der Jahreszahl) eingehen ließen. Wir unterschieden Tage mit einer Durchschnittstemperatur $\geq 18^\circ\text{C}$ und solche mit $< 18^\circ\text{C}$. Für jede der beiden Zeitreihen untersuchten wir den linearen Einfluss der Temperatur. Sowohl mit zunehmender Wärme wie mit zunehmender Kälte (am gleichen Tag) beobachteten wir einen Anstieg der

Sterblichkeit, die für beide Geschlechter nach 5-Jahres-Altersgruppen in den Abb. A1-a-18 und Abb. A1-a-19 dargestellt ist.

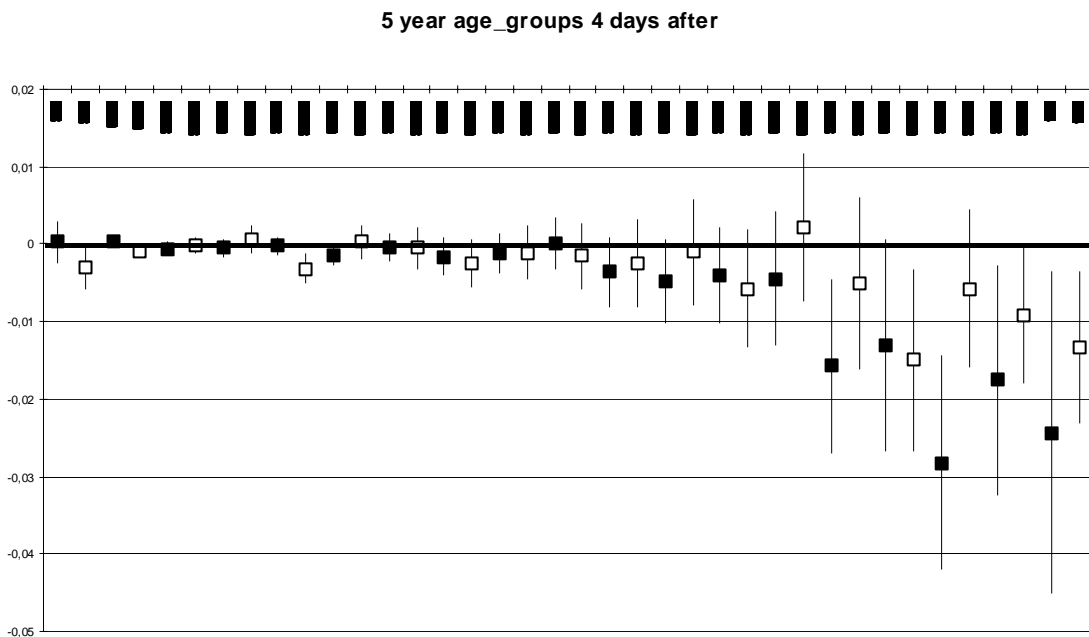


Abb. A1-a-19: Anstieg der Sterblichkeit pro 1° Temperaturabnahme unter 18°C. 5-Jahres-Gruppen, Männer: offene, Frauen: schwarze Quadrate.

Es zeigt sich ein stärkerer Einfluss sowohl der kalten wie der warmen Temperaturen auf die älteren Frauen. Bei den Kindern sind offenbar die Knaben empfindlicher.

Danach untersuchten wir noch im ausführlich beschriebenen GAM für die Gesamtsterblichkeit (1990 bis 2004), ob die Konzentration von Luftschadstoffen als Störvariable wirken könnte. Wir prüften die Werte für Ozon und Stickoxide (jeweils am selben Tag, für PM10 existieren leider keine ausreichend langen Zeitreihen). Die Aufnahme beider oder jeweils eines Schadstoffparameters ins entgeltige Modell führte zu keiner Änderung im Effektschätzer für die Kysely-Episoden.

In einem weiteren Ansatz befassten wir uns mit der Frage, inwieweit die beobachtete Übersterblichkeit während heißer Tage nur eine kurzfristig vorgezogene Sterblichkeit bereits schwer kranker Personen darstellt. Dieses Phänomen wird recht drastisch als „Harvesting-Effekt“ bezeichnet und wurde wiederholt bei Hitzewellen beschrieben (Dombois und Braun-Fahrländer, 2004; Kysely, 2004).

Im Prinzip geht es darum, den zeitlichen Verlauf der täglichen Todesfälle nach einem Hitzetag zu untersuchen. Dabei erschien es adäquater, nicht den Effekt der Episode (Kyselyepisode bestehend aus mindestens 3 Hitzetagen), sondern den jedes einzelnen Hitzetages zu betrachten. Da die Temperatur an benachbarten Tagen in der Regel hoch korreliert ist, bedarf es eines statistisch-mathematischen Tricks, um den Einfluss der Temperatur jedes einzelnen Tages getrennt zu untersuchen: das distributed lag Modell. Hierbei wird a priori ein bestimmter zeitlicher Verlauf der Effektstärke angenommen. Das Almon Modell basiert auf dem Ansatz, dass die Koeffizienten alle auf einem Polynom niedrigen Grades liegen. Üblich ist hierbei ein Polynom 3. Grades, wodurch die Zahl der Koeffizienten auf 4 reduziert wird (Konstante, linearer, quadratischer und kubischer Term), die untereinander nicht korreliert sind.

Ein derartiges polynomial distributed lag Modell (pdl) wurde auf die Gesamtsterblichkeit angewandt. Entscheidend für das Ergebnis ist auch die Anzahl der Lags, also die Dauer

des betrachteten Zeitintervalls. Mittels AIC zeigte sich, dass der Fit mit zunehmender Länge des Zeitintervalls besser wird. Dies wurde prinzipiell durch ANOVA bestätigt, wobei jedoch die Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen nicht signifikant waren (Tab. A1-a-12). Für die Untersuchung wurde daraufhin ein Modell mit 14 Lags herangezogen, weil die Zeitdauer von 2 Wochen zur Beurteilung kurzfristig vorgezogener Todesfälle vernünftig erschien. Der kubische und der quadratische Term des Modells erwiesen sich als signifikant (Tab. A1-a-13).

Tab. A1-a-12: Vergleich mehrerer Lag-Modelle mittels ANOVA

	Resid. Df	Resid. Dev	Test	Df	Deviance	F Value	Pr(F)
7 lags	5381.024	5842.784					
14 lags	5374.025	5831.224	1 vs. 2	6.999162	11.55944	1.533132	0.1510259
21 lags	5367.025	5815.331	2 vs. 3	6.999957	15.89365	2.107740	0.0394700
28 lags	5360.027	5808.586	3 vs. 4	6.997182	6.74473	0.894809	0.5093754
1 lags	5381.024	5842.784					
28 lags	5360.027	5808.586	1 vs. 4	20.9963	34.19782	1.511974	0.06258519

Tab. A1-a-13: Ergebnis des 14-lag Modells

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.89379856241	4.472186e-002	131.7878647	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005561953	1.256143e-006	-44.2780171	NA	NA
s(Tmax, 5)	0.00028570149	2.526706e-004	1.1307270	NA	NA
s(d.temp.1, 2)	0.00406975551	6.739363e-004	6.0387836	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00453111839	3.673247e-003	-1.2335459	0.00374621791	-1.2094181
as.factor(dow)2	0.00255688441	2.115957e-003	1.2083820	0.00215989116	1.1837956
as.factor(dow)3	-0.00170166628	1.501856e-003	-1.1330421	0.00152946500	-1.1126009
as.factor(dow)4	-0.00129066567	1.165073e-003	-1.1077981	0.00118624430	-1.0880931
as.factor(dow)5	-0.00236493171	9.556413e-004	-2.4747065	0.00096878537	-2.4411830
as.factor(dow)6	-0.00509797624	8.160220e-004	-6.2473515	0.00081724579	-6.2380231
grippe	0.08019760098	5.893090e-003	13.6087524	0.00776293704	10.3315595
W.hitze.pdl.1	0.04977725314	7.234486e-003	6.8805513	0.00924270285	5.3601950
W.hitze.pdl.2	-0.01191246548	4.972273e-003	-2.3957784	0.00558762655	-2.2254951
W.hitze.pdl.3	0.00082829458	8.432797e-004	0.9822299	0.00088952933	0.7831611
W.hitze.pdl.4	-0.00001892604	3.965174e-005	-0.4773066	0.00004156967	-0.5229835

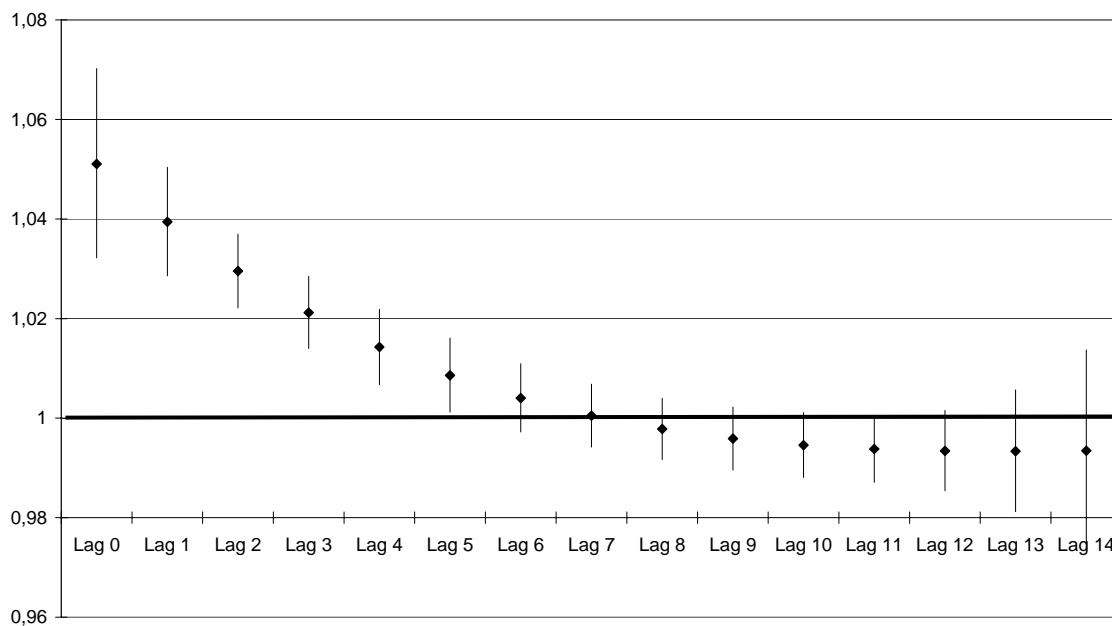


Abb. A1-a-20: Zeitlicher Verlauf der täglichen Sterblichkeit nach einem Hitzetag.

Abb. A1-a-20 zeigt, dass etwa eine Woche nach dem Hitzetag eine geringe Untersterblichkeit zu beobachten ist. Über alle 15 Tage addiert ist das zusätzliche Sterberisiko nach Hitzetagen dennoch um 13,6 (9,3 – 18,2)% erhöht. Dies ist sogar mehr, als es die Abschätzung ohne Berücksichtigung verzögerter Effekte ergab (Abb. A1-a-9).

A1-a-4.5 Hinweise auf Adaptation?

Aus vergleichenden Untersuchungen ist bekannt, dass die optimale Temperatur, das ist jene Temperatur, bei der die geringsten Sterbezahlen auftreten, umso höher ist, je wärmer die Region im Durchschnitt liegt (Kovats und Jendritzky 2006). Dies weist auf eine langfristige Adaptation an die regionalen Temperaturen hin, die sowohl physiologische Mechanismen beinhalten kann, als auch kulturelle. Letztere bestehen u.a. in örtlichen Wohnbaupraktiken, Bekleidungsgehnheiten und Lebensrhythmen (z.B. Mittagspause in warmen Ländern). Neben diesen langfristigen Adaptationsstrategien existieren Hinweise auf kurzfristige Anpassungen (über Tage bis Wochen), welche z.B. dazu führen, dass Hitzetage früh im Jahr größere negative Auswirkungen haben (Hajat et al. 2002, Paldy et al. 2005).

In Wien war seit 1970 eine durchschnittliche Temperatursteigerung um ca. 1 Jahr zu beobachten. Es stellte sich somit die Frage, ob auch in diesem Zeitrahmen (kürzer als die generationenüberschreitende kulturelle Adaptation und länger als die kurzfristige physiologische Adaptation) Anpassungen zu beobachten waren.

Zu diesem Zweck untersuchten wir die optimale Temperatur sowie den Effekt von Hitzetagen binnen einzelner 5-Jahres-Abschnitte. Neben den 3 Abschnitten von 1990 bis 2004 standen uns aus einem früheren Projekt auch die täglichen Todesfälle von 1975 bis 1979 zur Verfügung. Vor allem in dieser früheren Beobachtungsperiode waren Kyselyepisoden allerdings so selten, dass wir uns entschieden, nicht deren Effekt, sondern den von einzelnen Hitzetagen ($T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) zu untersuchen.

Ansonsten folgten wir der unter Kapitel A1-a-4.1 ausführlich beschriebenen Methode, wobei wir allerdings nur für die Zeit (als Spline) und den Wochentag kontrollierten.

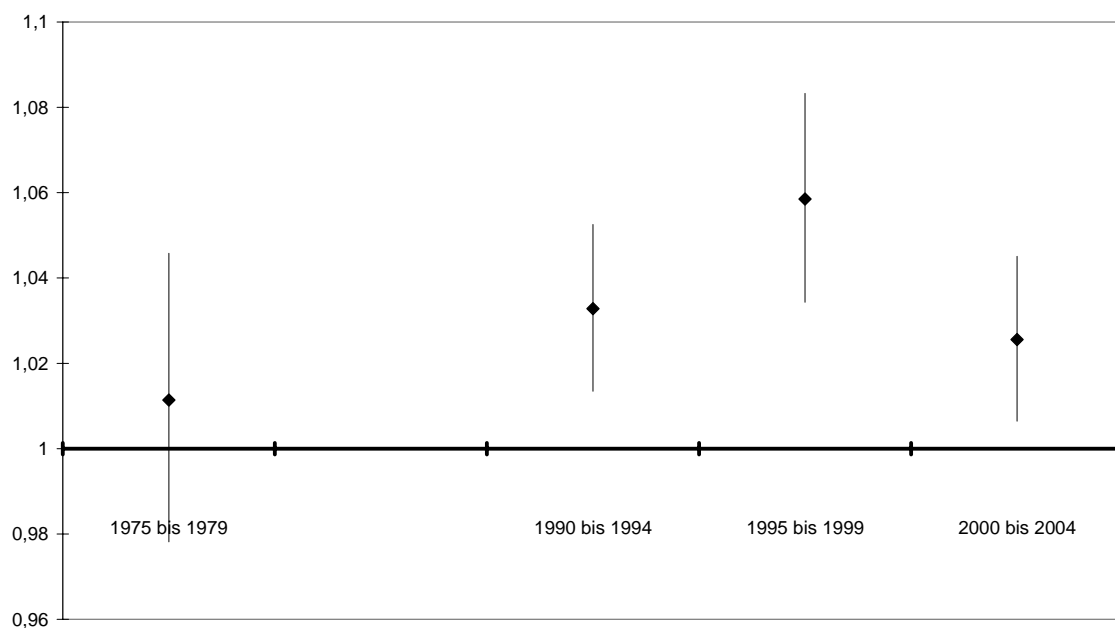


Abb. A1-a-21: Zunahme der Todesfälle an einem Hitzetag ($T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$).

Abb. A1-a-21 zeigt, dass die Empfindlichkeit gegenüber Hitzetagen in Wien über die Jahre keinen abnehmenden Trend aufweist. Im Unterschied dazu scheint sich bei der

optimalen Temperatur (Abb. A1-a-22) eine geringe Zunahme anzudeuten. Diese Zunahme ist jedoch nicht sehr deutlich ausgeprägt. Es wurde daher versucht, die optimale Temperatur für jedes Jahr zu bestimmen, um dieser Frage vertieft nachzugehen. Für einzelne Jahre ist die Methode der Modellierung saisonaler Effekte mittels GAM und Splines nicht anwendbar. Je nach Methode, mit der die optimale Temperatur bestimmt wurde, ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse: Bei Modellierung des Temperatureinflusses über ein Polynom 3. Grades (wenn der Term dritter Potenz nicht signifikant war, wurde ein Polynom 2. Grades versucht) ergab sich eine geringe, aber signifikante Abnahme (sic!) der optimalen Temperatur über die Jahre 1990 bis 2004. Wenn die Temperaturen in Dezilen aufgeteilt wurden, ließ sich kein eindeutiger Trend, aber eher eine Zunahme des optimalen Temperaturbereichs beobachten.

Insgesamt sind aus den untersuchten Daten keine eindeutigen Hinweise auf eine mittelfristige Adaptation an den bereits erfolgten Klimawandel ableitbar.

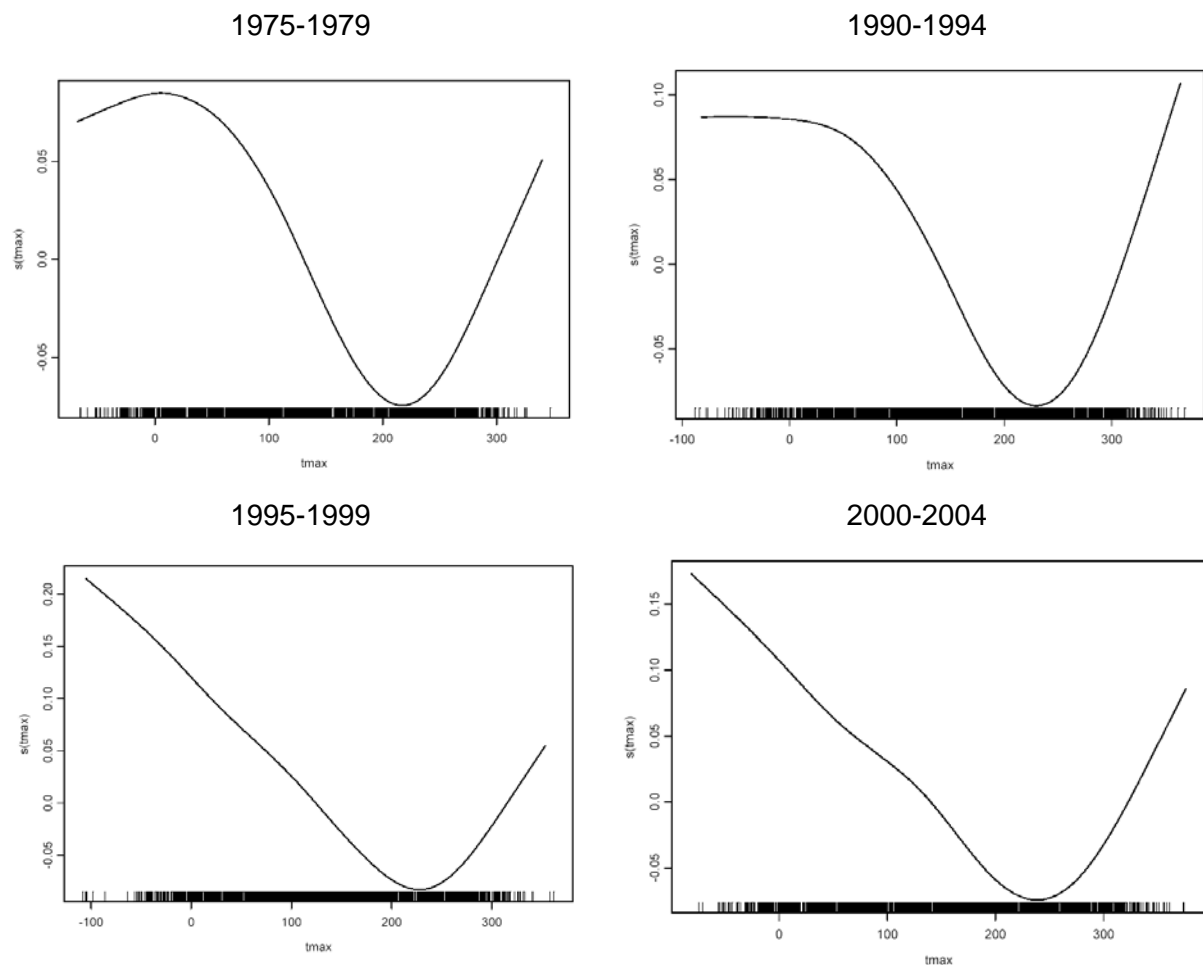


Abb. A1-a-22: Optimale Splines (5-Jahre-Perioden) zum Zusammenhang zwischen Temperatur und Zahl der Todesfälle (Maximaltemperatur in 0,1°C). Beachte auch die unterschiedlichen Skalen der y-Achse!

A1-a-4.6 Auswirkungen der Klimaprognosen auf die Gesamtsterblichkeit

Die Unterscheidung der Effekte von moderater und extremer Temperatur bringt es mit sich, dass die Zunahme der Mortalitätsrate an Hitzetagen geringer eingeschätzt wird als es einer reinen Zählung und Gegenüberstellung der Rohdaten entspräche. An insgesamt 206 Kysely-Tagen (1990 – 2004) starben im Durchschnitt 53,91 Personen täglich, während an den restlichen Sommertagen (Juni-August) nur 46,58 Personen im Tages-

mittel starben. Dies entspricht einer Zunahme um 15,75%, während mittels GAM (Tab. A1-a-11) nur eine Zunahme um 7,8% berechnet wurde, während die zusätzliche Zunahme dem Effekt der moderaten Temperatursteigerung zufällt.

Aus meteorologischen Szenarien wurden Prognosen für die Zahl der zukünftigen Hitze- bzw. Kysely-Tage abgeleitet. Dabei wird die Zunahme in der Inneren Stadt stärker als an der Hohen Warte ausfallen. Da wir am Beginn des Projekt als ersten Schritt die Klimadaten von der Station Hohen Warte verwendet haben, basieren unsere Effektschätzer auf dieser Datenreihe, obwohl spätere Sensitivitätsprüfungen unsere Vermutung bestätigten, dass die tägliche Sterblichkeit noch besser von der Datenreihe „Innere Stadt“ vorhergesagt werden konnte. Die Effektschätzer unterschieden sich jedoch nicht fundamental voneinander und die beiden Temperaturreihen waren hoch miteinander korreliert. Um die Konsistenz zu wahren, verwenden wir hier dennoch die (niedrigeren) Prognosen für die Zahl der Kysely-Tage an der Station Hohe Warte. Dies auch deshalb, weil die Änderungen im Mikroklima der Inneren Stadt weit unsicherer zu prognostizieren sind bzw. stärker lokalen Einflüssen (Stadtplanung und -gestaltung) unterliegen.

Während im Beobachtungszeitraum 1990 bis 2004 im Durchschnitt 13,7 Kysely-Tage im Jahr beobachtet wurden (und auch bereits in diesem Zeitraum eine steigende Frequenz beobachtet wurde), werden im worst-case Szenarium (A1B) für die Periode 2010 bis 2039 im Mittel 14,6, für 2036 bis 2065 24,3 und für das Ende des Jahrhunderts (2061 bis 2090) gar 39,4 Kysely-Tage vorhergesagt. Diese Zahlen werden mit der berechneten (3,63) und der gezählten (7,33) Übersterblichkeit an Kysely-Tagen multipliziert, wobei die gezählte Übersterblichkeit sowohl den Effekt extremer Hitzeereignisse als auch den kontinuierlichen Anstieg der Sterblichkeit bereits bei moderat heißen Tagen umfasst.

Während sich im ersten Prognosezeitraum kaum ein Unterschied zu den letzten Jahren zeigt (wo der außergewöhnliche Sommer 2003 den Durchschnitt an Kysely-Tagen in die Höhe trieb), ist bis zum Ende des Jahrhunderts mit einer deutlichen Zunahme der Todesfälle durch Hitzewellen zu rechnen (Abb. A1-a-23).

Moderater fällt der Anstieg aus, wenn die Prognosen des Szenarium B1 eingesetzt werden, das von einer deutlichen weltweiten Reduktion der Treibhausgasemissionen ausgeht (Abb. A1-a-24). Die Unterschiede zwischen den Klimaszenarien sind aber geringer als die Unsicherheit, die aus der Wahl des statistischen Modells für die Effektschätzer resultiert. In dieses Modell gehen Annahmen darüber ein, ob eine kurzfristige physiologische Adaptation an moderate Temperaturänderungen möglich ist und ob auch verzögerte Effekte (Lag-Modell) von Hitzewellen berücksichtigt werden sollen.

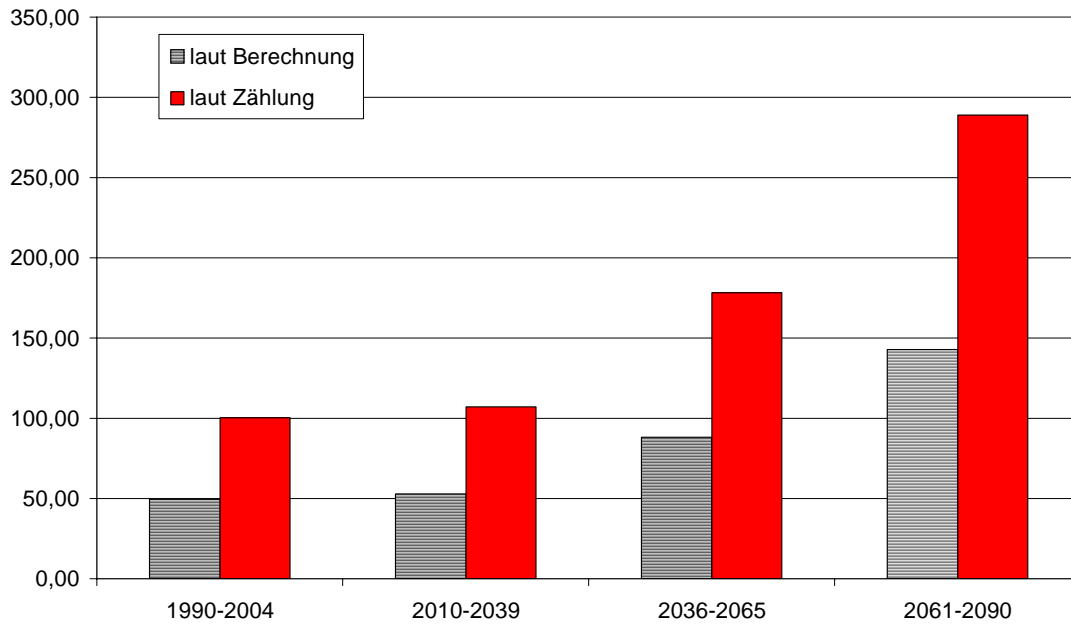


Abb. A1-a-23: Jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen. Szenarium A1B.

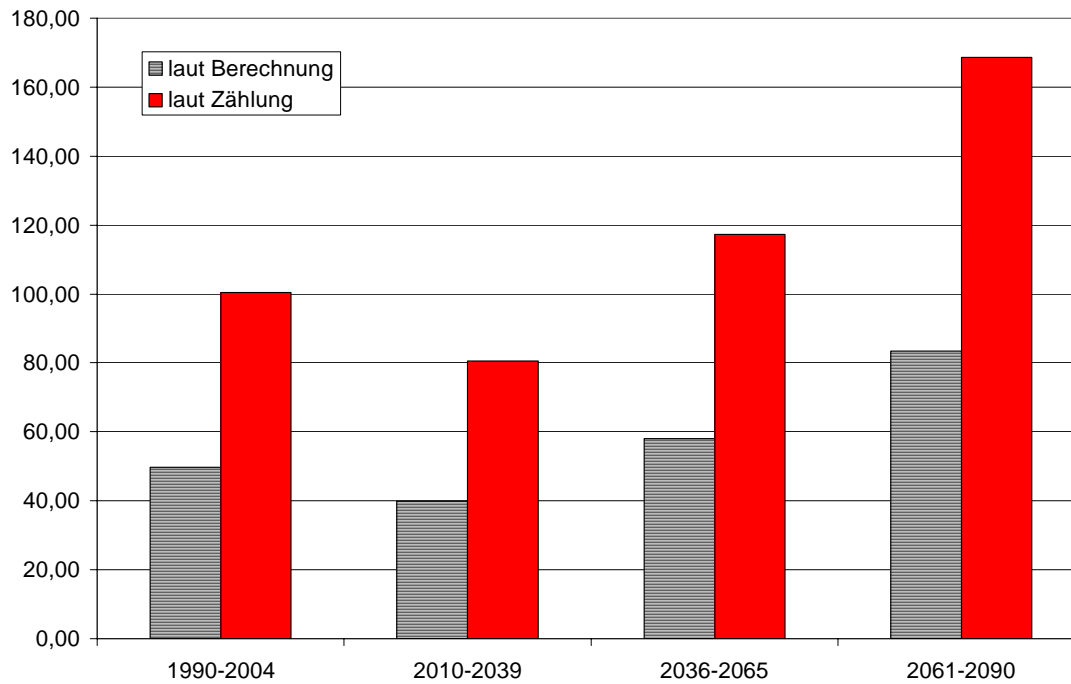


Abb. A1-a-24: Jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen. Szenarium B1.

A1-a-5 Ergebnisse Krankenhauseinweisungen

Daten zu Krankenhausaufnahmen standen vom 1.1.1992 bis 30.6.2005 zur Verfügung. Vorab wurde beschlossen, jede Aufnahme eines Wienerers (laut Wohnadresse) in einem Spital in Wien oder im näheren Umland (Wien Umgebung) zu betrachten.

Diese doppelte Einschränkung auf Wohn- und Krankenhausadresse basierte auf der Überlegung, dass sowohl Überstellungen aus Peripheriespitälern bzw. Zuweisungen von auswärts ausgeschlossen werden sollten (da diese wohl nicht mit der örtlichen Witterung in Zusammenhang stünden), als auch Erkrankungsfälle von Wienerern während ihrer Abwesenheit vom Wohnort (also etwa im Urlaub). Wir gingen davon aus, dass Wiener, die in eine Wiener Krankenhaus eingeliefert würden, am ehesten die Ursache für die Einlieferung im Raum Wien erlitten haben dürften.

Zusätzlich wurden Pflegeheime und Rehabilitationseinrichtungen in der Abfrage ausgeschlossen. Insgesamt wurden 5.044.018 Aufnahmen in der Untersuchungszeit dokumentiert und standen mit den Angaben zum Aufnahme-Datum, dem Alter (in 5-Jahres-Gruppen) Geschlecht und Wohnbezirk der Person samt 3-stelligem Diagnoseschlüssel (ICD10 oder ICD9) der ersten Entlassungsdiagnose zur statistischen Analyse zur Verfügung. Es galt daher a priori Hypothesen zu erstellen, um gezielt Diagnose- oder Altersgruppen auf deren Abhängigkeit von der Witterung zu untersuchen.

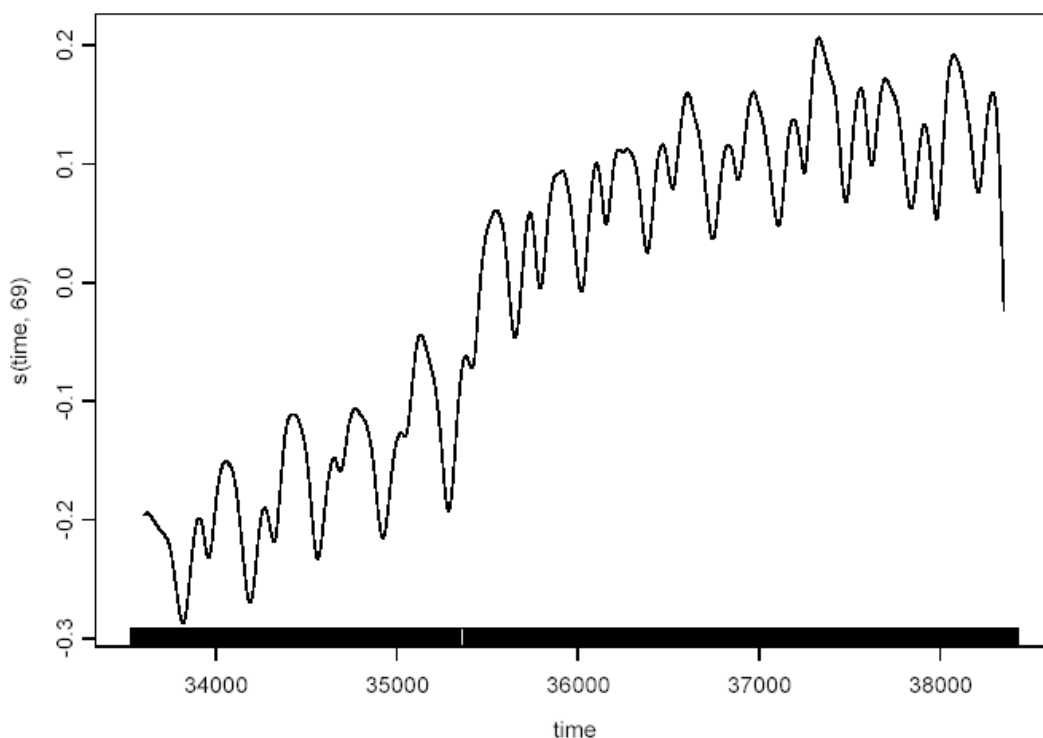


Abb. A1-a-25: Zeitlicher Verlauf aller täglichen Krankenhausaufnahmen von Frauen (1.1.1992-30.6.2005).

Es wurde ein statistisches Modell gewählt, das weitgehend gleich wie jenes für die täglichen Sterbefälle aufgebaut ist. Mittels GAM wurde auf längerfristige und saisonale Trends kontrolliert (Wahl der Freiheitsgrade unter Minimierung der Autokorrelation) und danach sukzessive mögliche Störvariablen und der binäre Parameter „Kysely-Tag“ eingeführt. Über die Jahre war eine Zunahme in der Zahl aller täglichen Krankenhausaufnahmen zu beobachten (Abb. A1-a-25 beispielhaft für alle Aufnahmen von Frauen).

Deutlich ist auch die saisonale Schwankung in den Aufnahmezahlen. In der Annahme, dass diese Schwankung von gesellschaftlichen Einflüssen wie Urlaubszeiten und dergleichen geprägt ist und nicht von der unmittelbaren Witterungssituation, erscheint es angemessen, diese über den kalendarischen Tag und nicht über die Temperatur abzubilden. Der verbleibende Einfluss der Temperatur zeigte allerdings einen recht unerwarteten Verlauf. Dies wird in Abb. A1-a-26 wieder am Beispiel aller Aufnahmen der Frauen gezeigt, war aber auch bei den Männern und bei allen anderen untersuchten Gruppen (nach Alter und Diagnose) festzustellen: Die höchsten Aufnahmezahlen fanden sich bei moderaten Temperaturen, während „extreme“ (sowohl heiße als auch kalte) Temperaturen offenbar vor einer Krankenhausaufnahme schützen.

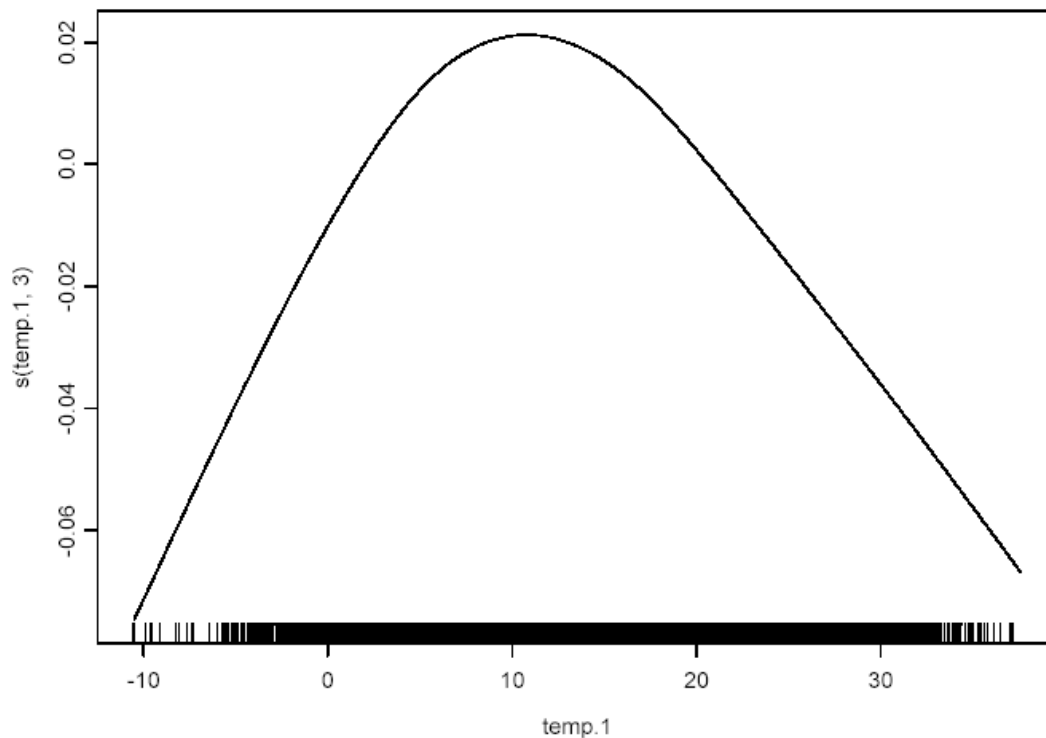


Abb. A1-a-26: Einfluss der Maximaltemperatur (des Vortages) auf die täglichen Krankenhausaufnahmen von Frauen.

Während Grippewellen selbst bei „allen“ Aufnahmen zu einer signifikanten Zunahme führten, bewirkten Kyselyepisoden eine allerdings insignifikante Abnahme. Diese Beobachtungen wiederholten sich bei der Untersuchung einzelner Diagnosen, wobei vor allem Aufnahmen wegen Herz-Kreislaufkrankungen untersucht wurden. „Alle“ Herz-Kreislauf-Erkrankungen zeigten ein „allen“ Aufnahmen weitgehend gleiches Bild. Auch bei Betrachtung nur der akuten Herzinfarkte allein und selbst bei Beschränkung auf akute Herzinfarkte im höheren Alter fanden sich die höchsten Aufnahmezahlen bei mittleren Temperaturen und Hitzewellen erschienen protektiv. Bei den Aufnahmen nach einzelnen Diagnosen fielen zusätzlich merkwürdige „Stufen“ im langfristigen Trend auf (Abb. A1-a-27), die wohl mit Änderungen in der Krankenhausabrechnung oder im Diagnoseschlüssel zusammenhängen dürften. Auch wenn diese Stufen im GAM durch die Modellierung des Zeitverlaufs als Spline weitgehend ausgeglichen werden konnte, so weisen sie doch auf eine prinzipielle Schwäche des Datenmaterials zu Krankenhausaufnahmen hin, so dass auf eine weitere Auswertung der Daten vorerst verzichtet wurde.

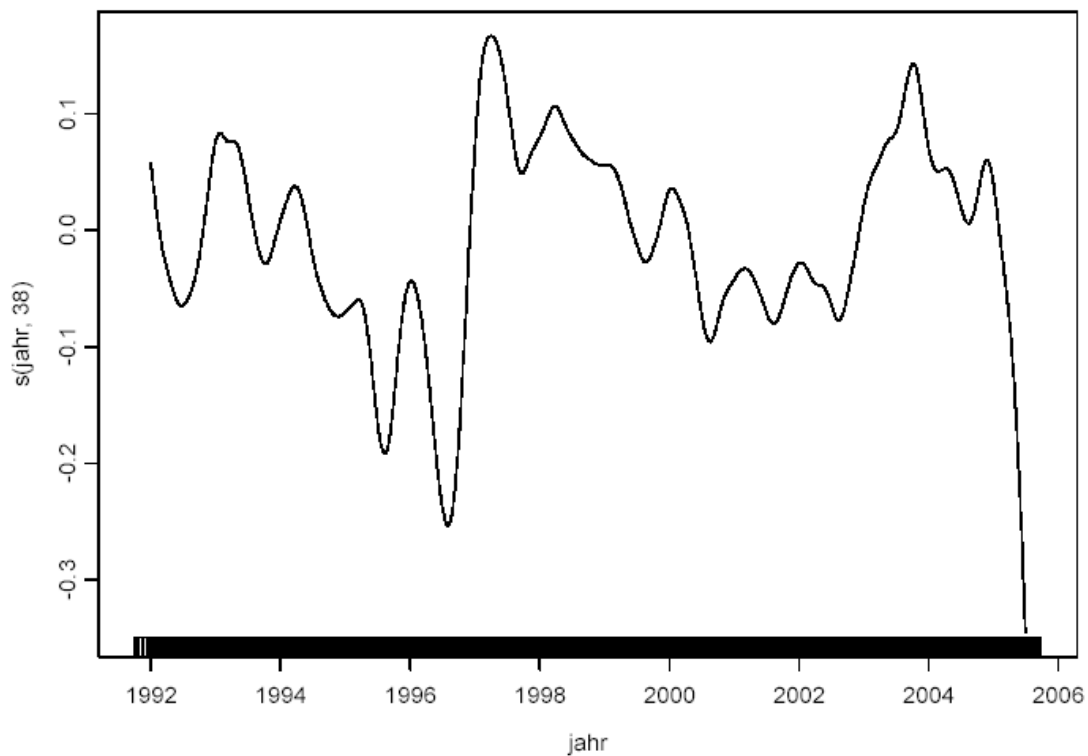


Abb. A1-a-27: Zeitlicher Verlauf aller täglichen Krankenhausaufnahmen wegen akuten Myokard-Infarktes (1.1.1992-30.6.2005).

Eine ausführlichere Befassung mit der diesbezüglichen spärlichen Temperatur (für eine Übersicht siehe z.B. Kovats und Jendritzky 2006) zeigt jedoch, dass dieser paradoxe Effekt der Temperatur auf Krankenhauseinweisungen in Europa nicht unüblich ist. Diese Beobachtung führte auch bei einer Sitzung im Rahmen der Jahrestagung der Internationalen Gesellschaft für Umweltepidemiologie (ISEE) Anfang September 2006 in Paris zu einer regen Diskussion mit der Frage, ob dies nicht als Hinweis auf eine mangelnde Flexibilität europäischer Gesundheitssysteme mit einer fehlenden Reaktion auf klimabedingte Krisensituationen zu sehen sei. Eine allgemein akzeptierte Antwort konnte jedoch auch auf dieser Sitzung nicht gegeben werden.

Interessanter Weise finden sich in einigen europäischen Studien für Aufnahmen an Atemwegserkrankungen im Gegensatz zum allgemeinen Befund erwartungsgemäße Zusammenhänge mit der Temperatur, also mehr Aufnahmen bei extremen Temperaturen und die wenigsten Aufnahmen bei moderaten Temperaturen. Die Wiener Daten wurden noch nicht hinsichtlich der Krankenhausaufnahmen wegen Atemwegserkrankungen untersucht.

A1-a-6 Ergebnisse Notarzteinsätze

Von der Wiener Rettung erhielten wir die täglichen Einsatzzahlen der Kategorien Notarztwagen (NAW), Notarzt-Einsatzfahrzeuge (NEF) und Notarzt-Hubschrauber (NAH) für die Jahre 2002 bis 2005 (einschließlich). Letztere Kategorie (Notarzt-Hubschrauber) weist die wenigsten Einsätze pro Tag auf (0 bis 12 Einsätze, Median = 3). Der Notarztwagen kam pro Tag 72 (43 bis 131) mal, das Einsatzfahrzeug 34 (84 bis 146) mal zum Einsatz.

Alle drei Kategorien weisen eine deutliche saisonale Schwankung auf, wobei NEF und NAH über die Jahre eine Zunahme der täglichen Einsätze aufwiesen, NAW hingegen eine Abnahme.

Alle drei Kategorien zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Frequenz von der (maximalen) Temperatur (Abb. A1-a-28 bis Abb. A1-a-30). Am wenigsten überrascht dies bei den Flügen, die doch eher bei schönem (Flug-)Wetter erfolgen.

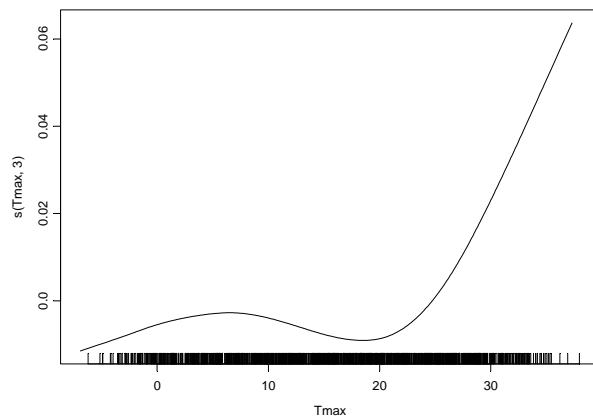


Abb. A1-a-28: Anstieg der NAW-Fahrten mit steigender Temperatur.

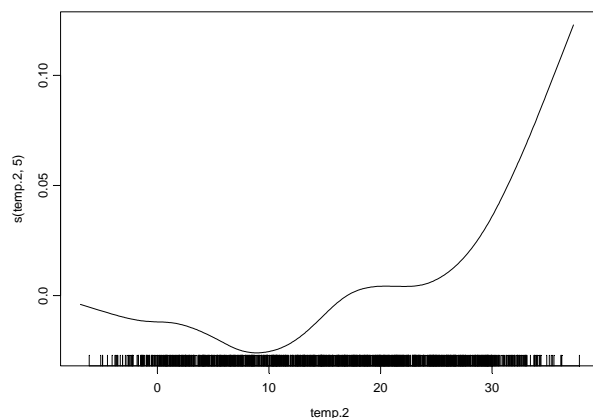


Abb. A1-a-29: Anstieg der NEF-Fahrten mit steigender Temperatur (Lag 2).

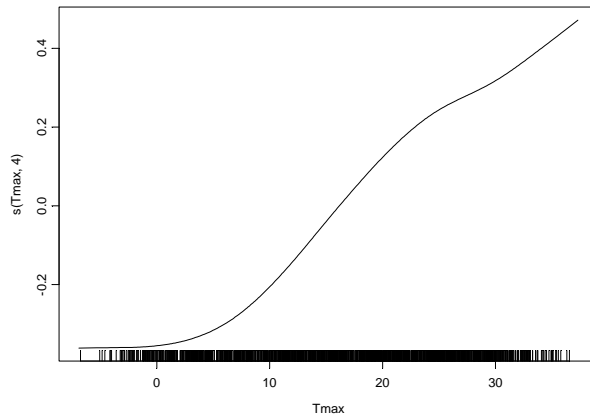


Abb. A1-a-30: Anstieg der NAH-Flüge mit steigender Temperatur.

Außer der Saisonalität, den Temperatureinflüssen und fallweise geringen Unterschieden zwischen den Wochentagen finden sich keine signifikanten Prädiktoren. Kysely-Episoden führen (über den „normalen“ Einfluss der Temperatur hinaus) meist nicht zu signifikanten Erhöhungen der Einatzzahlen. Die Effektschätzer sind gering und betragen für NAW -0,003 und für NEF 0 (gerundet). Nur der Hubschrauber fliegt an heißen Tagen signifikant häufiger mit einer Zunahme um 19,5 (5,2 – 35,9)%.

A1-a-7 Schlussfolgerung

A1-a-7.1 Zur Wahl der Methode

Mehrere Gründe bewegten uns, den Einfluss der moderaten Temperaturen getrennt von dem extremer Hitzeperioden zu untersuchen: Die zukünftige Entwicklung in Häufigkeit und Dauer lässt sich für klar definierte Hitzeperioden besser prognostizieren und der Effekt einer binären Einflussvariablen lässt sich anschaulicher und einfacher interpretieren als jener einer kontinuierlichen Variablen mit nicht-linearer Dosis-Wirkungsbeziehung. Dafür nahmen wir eine gewisse Instabilität der statistischen Modelle in Kauf, die wohl vor allem bei geringeren Populationszahlen (bzw. bei der Untersuchung von einzelnen Diagnosegruppen) zum Tragen kommt.

Die Unterscheidung der beiden Einflüsse basiert jedoch auch 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 Adaptation 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.

A1-a-7.2 Übersterblichkeit in Zahlen

Die Unterscheidung der Effekte von moderater und extremer Temperatur bringt es mit sich, dass die Zunahme der Mortalitätsrate an Hitzetagen geringer eingeschätzt wird als es einer reinen Zählung und Gegenüberstellung der Rohdaten entspräche. Dies wird in Tab. A1-a-14) deutlich. An insgesamt 206 Kysely-Tagen (1990 – 2004) starben im Durchschnitt 53,91 Personen täglich, während an den restlichen Sommertagen (Juni-August) nur 46,58 Personen im Tagesmittel starben. Dies entspricht einer Zunahme um 15,75%, während mittels GAM (Tab. A1-a-11) nur eine Zunahme um 7,8% berechnet wurde. Die Differenz zwischen berechneter und gezählter Übersterblichkeit entspricht dem Effekt der moderaten Temperatursteigerung, gegen den eventuell andere Adaptationsmechanismen und Strategien erforderlich sind.

Zum Vergleich zeigt Tab. A1-a-14 auch die Zunahme der Sterberate an 713 Grippetagen. Die durch Zählung ermittelten Zunahme überschätzt den Effekt der Grippe allerdings, da diese Krankheit in der kalten Jahreszeit auftritt, wo bereits unabhängig von der Grippe eine höhere Sterberate zu beobachten ist. In Wahrheit ist die Risikozunahme an Grippetagen etwa gleich groß wie an Hitzetagen: In den Monaten Dezember bis Februar starben durchschnittlich 57,43 Personen, an Grippetagen in diesem Zeitraum 59,69 (541 Tage). Im Beobachtungszeitraum gab es aber deutlich mehr Grippe- als Kysely-Tage, so dass insgesamt der „Schaden“ durch die Grippe größer war.

Tab. A1-a-14: Vergleich der berechneten mit der gezählten Zunahme der Mortalitätsrate an Hitzetagen im Sommer (Juni-August) Wirkung (gezählt) von Grippetagen (gegenüber dem gesamten Jahr) zum Vergleich.

Winter (Dez-Feb)	Jahr (Jänner-Dezember)		Sommer (Juni-August)		berechnet	Tage
57,43	alle	51,18	alle:	47,67		1380
55,93	keine Grippe	50,01	kein Kysely	46,58	46,58	1174
59,69	Grippe	59,01	Kysely	53,91		206
3,76	Zunahme	9,00		7,33	3,63	
6,73	Zunahme%	17,99		15,75	7,80	

A1-a-7.3 Prognostizierte Zunahme der jährlichen Sterbefälle als Folge des Klimawandels

Aus meteorologischen Szenarien wurden Prognosen für die Zahl der zukünftigen Hitze- bzw. Kysely-Tage abgeleitet. Dabei wird die Zunahme in der Inneren Stadt deutlicher als an der Hohen Warte ausfallen. Da wir am Beginn des Projekt als ersten Schritt die Klimadaten von der Station Hohen Warte verwendet haben, basieren unsere Effektschätzer auf dieser Datenreihe, obwohl spätere Sensitivitätsprüfungen unsere Vermutung bestätigten, dass die tägliche Sterblichkeit noch besser von der Datenreihe „Innere Stadt“ vorhergesagt werden konnte. Die Effektschätzer unterschieden sich jedoch nicht fundamental voneinander und die beiden Temperaturreihen waren hoch miteinander korreliert. Um die Konsistenz zu wahren, verwenden wir hier die (niedrigeren) Prognosen für die Zahl der Kysely-Tage an der Station Hohe Warte. Dies auch deshalb, weil die Änderungen im Mikroklima der Inneren Stadt weit unsicherer zu prognostizieren sind bzw. stärker lokalen Einflüssen (Stadtplanung und -gestaltung) unterliegen.

Während im Beobachtungszeitraum 1990 bis 2004 im Durchschnitt 13,7 Kysely-Tage im Jahr beobachtet wurden (und auch bereits in diesem Zeitraum eine steigende Frequenz beobachtet wurde), werden im worst-case Szenarium (A1B) für die Periode 2010 bis 2039 im Mittel 14,6, für 2036 bis 2065 24,3 und für das Ende des Jahrhunderts (2061 bis 2090) gar 39,4 Kysely-Tage vorhergesagt. Diese Zahlen werden mit der berechneten (3,63) und der gezählten (7,33) Übersterblichkeit an Kysely-Tagen multipliziert, wobei die gezählte Übersterblichkeit sowohl den Effekt extremer Hitzeereignisse als auch den kontinuierlichen Anstieg der Sterblichkeit bereits bei moderat heißen Tagen umfasst (Tab. A1-a-15).

Tab. A1-a-15: Prognostizierte jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen (Szenarium A1B).

Prognosezeitraum	Übersterblichkeit	
	laut Berechnung	laut Zählung
2010-2039	53,0	107,0
2036-2065	88,2	178,1
2061-2090	143,0	288,8

Während sich im ersten Prognosezeitraum kaum ein Unterschied zu den letzten Jahren zeigt (wo der außergewöhnliche Sommer 2003 den Durchschnitt an Kysely-Tagen in die Höhe trieb), ist bis zum Ende des Jahrhunderts mit einer deutlichen Zunahme der Todesfälle durch Hitzewellen zu rechnen.

A1-a-7.4 Andere untersuchte Gesundheitsendpunkte

Auch Rettungseinsätze nehmen mit steigenden Temperaturen zu. Der Einfluss kalter Tage war hingegen in den untersuchten Daten für Notarztwagen, Einsatzfahrzeugen und Rettungshubschrauber nicht deutlich. An extremen Hitzetagen fand sich jedoch nur bei den Hubaschraubereinsätzen eine zusätzliche signifikante Frequenzsteigerung. Gründe für die Unfähigkeit des Modells, zusätzlich zum nicht-linearen Einfluss moderater Temperaturen den Effekt von Kysely-Episoden für die anderen Einsatzarten nachzuweisen, liegen wahrscheinlich vor allem in der kürzeren Beobachtungszeit, wodurch die Anzahl der Kysely-Tage und somit auch die Power zu gering war. Die kürzere Beobachtungsdauer könnte auch dazu geführt haben, dass die Kontrolle saisonaler Einflüsse nicht optimal modelliert wurde bzw. keine Unterscheidung zwischen saisonalen und unmittelbar kältebedingten Einflüssen möglich war. Der ungünstige Einfluss zunehmender Temperaturen war jedenfalls deutlich. Für eine genaue quantitative Analyse wäre jedoch eine längere Datenreihe notwendig.

Im Gegensatz zur Sterblichkeit und bei den Rettungseinsätzen fanden wir bei den Krankenhausaufnahmen keine Zunahme an wärmeren bzw. an heißen Tagen. Im Gegenteil waren die meisten Aufnahmen an Tagen mit „angenehmer“ Temperatur zu beobachten, während sowohl an kälteren als auch an heißeren Tagen die Aufnahmefrequenzen geringer waren. Die Ursache dieses überraschenden Befundes, der aber den spärlichen diesbezüglichen europäischen, nicht aber amerikanischen Studien entspricht, ist nicht klar. Zu diskutieren wäre eine mangelhafte Qualität der Daten bzw. die Anwendung eines falsches Modells. Wenn der Befund hingegen die Situation angenähert korrekt wiedergibt, wäre dies als ernster Hinweis zu werten, dass das Gesundheitssystem in Wien nicht adäquat auf Hitzeextreme reagiert. Eine Debatte über die nötigen Konsequenzen wäre angezeigt.

Zur Qualität der Daten ist kritisch anzumerken, dass es im Rahmen der derzeitigen Gesundheitsberichterstattung nicht oder nur schwer (über personenbezogene Verknüpfung einzelner Datenzeilen) möglich ist, tatsächliche Aufnahmen von reinen Überstellungen (von einem Krankenhaus oder einer Station an eine andere Abteilung) zu unterscheiden. Nicht zu unterscheiden sind ferner Aufnahmen wegen akuter Ereignisse oder gar Notfallaufnahmen von länger geplanten Krankenhausaufenthalten. Die langjährigen Trends bei bestimmten Diagnosen bestärken weiters den nicht ganz unbegründeten Verdacht, dass die Kodierung der Erstdiagnose durchaus auch von außermedizinischen Faktoren beeinflusst wird.

Vor allem in früheren Jahren (die aber noch im Untersuchungszeitraum liegen) erfolgte die Finanzierung der Krankenhäuser durch die Versicherungen fast ausschließlich über die Belegstage. Dies hat sich nun insofern geändert, als leistungsbezogene Aspekte in die Abrechnung Eingang gefunden haben. Dennoch ist weiterhin das Bestreben nach einer hohen Bettenauslastung zu beobachten. Dies erklärt sich unter anderem mit dem laufenden unter Kostenerwägungen geäußerten Druck zu Bettenreduzierung, dem volle Stationen als gewichtiges Argument entgegengesetzt werden können.

Eine Firmenpolitik hoher Bettenauslastung bringt es allerdings mit sich, dass Krankenhäuser wenig Manövrierraum besitzen, um auf Fluktuationen in der Gesundheit der Bevölkerung mit einer gesteigerten Aufnahme von Patienten zu reagieren. Im Gegenteil dürfte es eher sogar so sein, dass eine Zunahme schwerer Krankheiten (mit einer längeren Liegedauer) die Anzahl möglicher Neuaufnahmen reduzieren könnte. Die Frage nach den Aufnahmezahlen war so gesehen vielleicht falsch gestellt.

Die Wiener Krankenhäuser bieten vielfach Spitzenmedizin nicht nur für den engeren Wiener Raum, sondern auch für weite Teile Österreichs. Es war daher unser Bestreben, nur Aufnahmen von Wienern zu erfassen, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit vor der Aufnahme auch im Raum Wien aufgehalten haben. (Einzelne Aufnahmen als Übernahmen nach Rücküberstellung in die Heimat sind natürlich nicht auszuschließen.) Diese

doppelte räumliche Beschränkung sowohl der Krankenanstalten als auch der Personen könnte natürlich beachtliche saisonale Fluktuationen (z.B. im Hinblick auf die Urlaubszeit) bewirken. Wir sind aber zuversichtlich, dass diese Fluktuationen durch das GAM und die Modellierung der Zeit als Spline ausreichend berücksichtigt wurden bzw. auch dass die Beobachtungszeit von 13,5 Jahren dafür ausreicht. Hinsichtlich Urlaubszeit ist ja nicht nur an die Abwesenheit von möglichen Patienten, sondern auch an eine Verringerung des Personals zu denken, was zum eingeschränkten Betrieb einzelner Abteilungen führt. Auch diverse geplante Krankenhausaufenthalte (etwa für langfristig vorzusehende Operationen) werden wohl weniger gern in der Urlaubszeit angesetzt. Dafür sind auch plausible medizinische Überlegungen anzuführen, wie Fragen der Wundheilung bei stärkerer Schweißsekretion wegen Hitze, Unannehmlichkeiten eines dicken Verbandes an heißen Tagen und ähnliches mehr.

Zuletzt ist die Frage zu stellen, ob wir die richtigen Diagnosen für die Krankenhausaufnahmen untersucht haben. Aufgrund theoretischer Überlegungen und Literaturhinweisen haben wir die Herz-Kreislauf-Erkrankungen herausgegriffen. Diese Diagnosegruppe war zwar auch bei den täglichen Sterbezahlen an Hitzetagen erhöht. Die Risikozunahme war aber dort nicht auf diese Diagnosen beschränkt, sondern vielmehr für andere Diagnosen noch ausgeprägter. Doch da der inverse Zusammenhang zwischen Aufnahmezahlen und Temperatur nicht nur für diese ausgewählte Diagnosegruppe, sondern auch für „alle“ Aufnahmen zu beobachten war, ist die Wahl einer „falschen“ Diagnosegruppe für den sonderbaren Befund nicht plausibel.

Literaturverzeichnis

Akaike, H. 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. Pp. 267-281 In: Petrov BN, Csaksi F (Hrsg.): 2nd International Symposium on Information Theory. Akademiai Kiado, Budapest, Hungary.

Bachinger E., Frank E., Fülöp G., Hlava A., Ritter H., Urbas E., Werba A., Winkler T. (2003): Lebenserwartung und Mortalität in Wien. Magistrat der Stadt Wien.

Basu R., Samet JM (2002): Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews* 24: 190-201.

Basu R. (2001): Characterizing the relationship between temperature and cardio-respiratory mortality among the elderly U.S. population. (PhD dissertation). Baltimore, MD: Bloomberg School of Public Health, John Hopkins University, 2001.

Díaz J., Jordán A., García R., López C., Arberdi J., Hernández E., Otero A. (2002): Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *Int. Arch. of Occupational and Environmental Health*. Vol. 75, Number 3, March 2002. Springer Berlin/Heidelberg.

Dominici F., McDermott A., Zeger SL Samet JM 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.

Formayer H., Haas P., Matulla C., Frank A., Seibert P. (2005): Untersuchungen regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich. Endbericht von StartClim2004.B; in StartClim2004: Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich. Endbericht, Auftraggeber: BMLFUW, BMBWK, BMWA, Österreichische Hagelversicherung, Österreichische Nationalbank, Umweltbundesamt, Verbund AHP.

Garssen J., Harmsen C., de Beer J. (2005): The effect of the 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance* 10(7-9): 165-167.

Grize L., Huss A., Thommen O., Schindler C., Braun-Fahrlander C. (2005): Heat wave and mortality in Switzerland. *Swiss Med. Wkly* 2005;135:200-205

Hajat S., Kovats RS, Atkinson RW Haines A. (2002): Impact of hot temperatures on death in London: A time series approach. *Journal of Epidemiology and Community Health* 56: 367-372.

Houghton JT, Ding Y., Griggs DJ, Noguer M., van der Linden PJ, Xiaosu D. (2001): *Climate Change 2001. The scientific basis*. Cambridge University Press. Cambridge.

Hutter H.-P., Moshhammer H., Wallner P., Leitner B., Kundi M. (2006): Heatwaves in Vienna: Effects on mortality. Eingereicht bei Wiener Klinische Wochenschrift.

IPCC (2001): *Climate Change 2001. Synthesis Report. Summary for Policymakers*. <http://www.IPCC.ch>

Johnson H., Kovats RS, Mc Gregor G., Stedman J., Gibbs M., Walton H., (2005): The impact of the heat wave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *Eurosurveillance*, Vol. 10, Issues 7-9 Jul-Sep 2005.

Katsouyanni K., Touloumi G., Spix C., Schwartz J., Balducci F., Medina S., Ross G., Wojtyniak B., Sunyer J., Bacharova L., Schouten JP, Ponka A., Anderson HR (1997): Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *BMJ* 314(7095): 1658 - 1658.

Katsouyanni K., Zmirou D., Spix C., Sunyer J., Schouten JP, Ponka A., Anderson HR, Le Moullec Y., Wojtyniak B., Vigotti MA, et al. (1995): Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design. *Eur Respir J* 8: 1030-1038.

- Kovats RS, Jendritzky G. (2006): Heat-waves and human health. In: Menne B, Ebi KL (Hrsg.): Climate Change and adaptation strategies for human health. Steinkopff, 63-97.
- Kovats RS, Wolf T., Menne B. (2004): Heatwave of August 2003 in Europe: provisional estimates of the impact on mortality. *Eurosurveillance Weekly* 2004; 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. <http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update56.htm>. (besucht am 1.1.2006) Earth Policy Institute.
- Le Tertre A., Lefranc A., Eilstein D., Declercq C., Medina S., Blanchard M. et al. (2006): Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology* 17: 75-79.
- Nogueira P. (2005): Modelling heat related excess mortality: New insights given by 2003's Heat wave. Vortrag bei: International Conference Climate Change: Impacts and Responses in CEE Countries. 5.-8.11.2005, Pecs, Ungarn.
- Paldy A., Bobvos J., Vamos A., Kovats RS, Hajat S. (2005): The effect of temperature and heat-waves on daily mortality in Budapest, Hungary 1970-200. In: Kirch W, Menne B, Bertolini R (Hrsg.): Extreme weather events and public health responses. Springer, 99-108.
- Poumadere M., Mays C., Le Mer S., Blong R. (2005): The 2003 Heat Wave 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.
- Simón F., Lopez-Abente G., Balester E., Martínez F., (2005): Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003. *Eurosurveillance*, Vol. 10, Issues 7-9 Jul-Sep 2005.
- Statistik Austria (2005): Jahrbuch der Gesundheitsstatistik 2004. Wien
- Thommen Dombois O., Braun-Fahrlander C. (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.
- Vandentorren S., Suzan F., Medina S., Pascal M., Maulpoix A., Cohen J-C, Ledrans M. (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. Report on a WHO meeting Bratislava, Slovakia 09–10 February 2004. WHO, Rom.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. A1-a-1 : Bevölkerungsentwicklung in Wien (Quelle: Statistik Austria 2005).-----	9
Abb. A1-a-2 : Vergleich der beiden Stationen Innere Stadt und Wien Hohe Warte.-----	11
Abb. A1-a-3 : Änderung der globalen Mitteltemperatur aufgrund verschiedener Emissionsszenarien (IPCC 2001).-----	12
Abb. A1-a-4 : Vergleich zwischen beobachteten und aus der Regression ermittelten Hitzetagen pro Jahr. Links für die Station Innere Stadt, rechts für die Station Wien-Hohe Warte. -----	13
Abb. A1-a-5 : Anzahl der Hitzetage pro Jahr ermittelt aus Daten des A1B-Szenarios für unterschiedliche Zeiträume. Links für die Station Innere Stadt, rechts für die Station Wien-Hohe Warte. -----	14
Abb. A1-a-6 : Anzahl der Hitzetage pro Jahr für verschiedene Zeiträume und drei unterschiedliche Klimaszenarien. Links: Station Innere Stadt; Recht: Station Wien-Hohe Warte. -----	14
Abb. A1-a-7 : Mittlere Anzahl an Tagen innerhalb von Kyselyepisoden in den projizierten Klimaszenarien. Links für die Station Innere Stadt, rechts für die Station Wien-Hohe Warte. -----	15
Abb. A1-a-8 : Modellierung des Einflusses des Datums auf die tägliche Gesamtsterblichkeit in Wien. 72 Freiheitsgrade, Plot des entgültigen Modells (siehe Text). -----	17
Abb. A1-a-9 : Relatives Risiko und 95%-Konfidenzintervall für die Gesamtsterblichkeit in Wien. Der Effekt von Kysely-Episoden wurde in 2 Modellen erfasst: Im ersten ging Tmax linear ein, im zweiten – „Kysely (s)“ – wurde Tmax als Spline modelliert. -----	18
Abb. A1-a-10 : Maximale Temperatur am gleichen Tag (im Vergleich zu Lag 1 und Lag 2 bevorzugt).-----	18
Abb. A1-a-11 : T_max gestern – T_max vorgestern. -----	19
Abb. A1-a-12 : Relative Feuchte um 7:00 (dieser Messpunkt wurde a priori gewählt) am gleichen Tag (optimale Anzahl von Stützpunkten).-----	19
Abb. A1-a-13 : Relative Feuchte heute – gestern. -----	20
Abb. A1-a-14 : Luftdruck heute (gegenüber den Vortagen im Modell mittels ANOVA bevorzugt). -----	20

Abb. A1-a-15 : Luftdruck gestern – vorgestern. -----	21
Abb. A1-a-16 : Differenz zwischen maximaler und minimaler Temperatur (nur am aktuellen Tag, keine ANOVA).-----	21
Abb. A1-a-17 : Risikoschätzer (Gesamtsterblichkeit) für die einzelnen Bezirke nach der Bevölkerungsdichte. -----	27
Abb. A1-a-18 : Anstieg der Sterblichkeit pro 1° Temperaturzunahme über 18°C. 5-Jahres-Gruppen, Männer: offene, Frauen: schwarze Quadrate.-----	28
Abb. A1-a-19 : Anstieg der Sterblichkeit pro 1° Temperaturabnahme unter 18°C. 5-Jahres-Gruppen, Männer: offene, Frauen: schwarze Quadrate.-----	29
Abb. A1-a-20 : Zeitlicher Verlauf der täglichen Sterblichkeit nach einem Hitzetag.-----	30
Abb. A1-a-21 : Zunahme der Todesfälle an einem Hitzetag (T max >= 30°C). -----	31
Abb. A1-a-22 : Optimale Splines (5-Jahre-Perioden) zum Zusammenhang zwischen Temperatur und Zahl der Todesfälle (Maximaltemperatur in 0,1°C). Beachte auch die unterschiedlichen Skalen der y-Achse!-----	32
Abb. A1-a-23 : Jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen. Szenarium A1B.-----	34
Abb. A1-a-24 : Jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen. Szenarium B1.-----	34
Abb. A1-a-25 : Zeitlicher Verlauf aller täglichen Krankenhausaufnahmen von Frauen (1.1.1992-30.6.2005).-----	35
Abb. A1-a-26 : Einfluss der Maximaltemperatur (des Vortages) auf die täglichen Krankenhausaufnahmen von Frauen.-----	36
Abb. A1-a-27 : Zeitlicher Verlauf aller täglichen Krankenhausaufnahmen wegen akuten Myokard-Infarktes (1.1.1992-30.6.2005). -----	37
Abb. A1-a-28 : Anstieg der NAW-Fahrten mit steigender Temperatur. -----	38
Abb. A1-a-29 : Anstieg der NEF-Fahrten mit steigender Temperatur (Lag 2). -----	38
Abb. A1-a-30 : Anstieg der NAH-Flüge mit steigender Temperatur.-----	39
 Tabellen	
Tab. A1-a-1 : Klimawandel – Beobachtungen und Schätzungen (Houghton et al. 2001).6	
Tab. A1-a-2 : Resultat des folgenden GAM-Befehls samt Varianten (Modellierung d. Temperatur.) Wegen des log-links lässt sich das relative Risiko (RR) aus $RR = \exp(\text{Value})$ berechnen. -----	16

Tab. A1-a-3 : Resultat des folgenden GAM-Befehls (alle Klimafaktoren als Splines modelliert). -----	17
Tab. A1-a-4 : Resultat des folgenden GAM-Befehls (Klimafaktoren als Splines oder je nach Form des Splinmodells linear modelliert). -----	22
Tab. A1-a-5 : Resultat des folgenden GAM-Befehls (entgeltiges Modell, nur mit signifikanten Klimafaktoren). -----	22
Tab. A1-a-6 : Beste Modellierung für jeden einzelnen Temperaturparameter. -----	24
Tab. A1-a-7 : Aikike Informationskriterium. Der niedrigste Wert (besten Fit) zeigt sich mit den Minimaltemperaturen an der Messstation „Innere Stadt“. -----	24
Tab. A1-a-8 : Vergleich der Modelle mit verschiedenen Temperaturparametern mittels ANOVA. -----	24
Tab. A1-a-9 : Kysely-Episoden laut den beiden Stationen. -----	25
Tab. A1-a-10 : Korrelation der einzelnen Temperaturparameter untereinander. -----	25
Tab. A1-a-11 : Zusammenfassung der Ergebnisse ausgewählter Teilmengen der täglichen Todesfälle. -----	26
Tab. A1-a-12 : Vergleich mehrerer Lag-Modelle mittels ANOVA -----	30
Tab. A1-a-13 : Ergebnis des 14-lag Modells -----	30
Tab. A1-a-14 : Vergleich der berechneten mit der gezählten Zunahme der Mortalitätsrate an Hitzetagen im Sommer (Juni-August) Wirkung (gezählt) von Grippetagen (gegenüber dem gesamten Jahr) zum Vergleich. -----	41
Tab. A1-a-15 : Prognostizierte jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen (Szenarium A1B). -----	41