

StartClim2005.A1b

Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima

Institut für Meteorologie
Universität für Bodenkultur



Medizinische Universität Wien, ZPH
Institut für Umwelthygiene



Projektleitung:

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

Projektmitarbeiter:

Mag. Dr. Herbert Formayer, BOKU, Institut für Meteorologie

Dr. Hanns Moshhammer, MUW, Institut für Umwelthygiene

Mag. Andreas Frank, BOKU, Institut für Meteorologie

Mag. Dr. Patrick Haas, BOKU, Institut für Meteorologie

Mag. Barbara Leitner, Statistik Austria

Wien, im November 2006

StartClim2005.A1b

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
Abstract	5
A1b-1 Einleitung	6
A1b-1.1 Problemstellung	6
A1b-1.2 Material und Methoden	7
<i>A1b-1.2.1 Verwendete Daten</i>	<i>7</i>
<i>A1b-1.2.2 Definitionen</i>	<i>7</i>
A1b-1.3 Zur Wahl der Stationen	8
A1b-1.4 Methode	11
A1b-2 Ergebnisse historische Daten	13
A1b-2.1 Häufigkeiten von nächtlichen Minimumtemperaturen	13
A1b-2.2 Betrachtung der Häufigkeiten nach verschiedenen 10-Jahres-Perioden	17
A1b-2.3 Definition von „Warmen Nächten“	18
A1b-2.4 Städtische Wärmeinsel	20
A1b-3 Nächtliches Temperaturminimum und tägliche Todesfälle	22
A1b-3.1 Einleitung	22
A1b-3.2 Vergleich verschiedener Temperaturindices	22
A1b-3.3 „Warme Nacht“	23
A1b-4 Szenarien	26
A1b-4.1 Ergebnisse	26
A1b-5 Zusammenfassung	28
A1b-6 Literaturverzeichnis	30
A1b-7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	32
A1b-8 Anhang	34

Kurzfassung

Es ist bekannt, dass die nächtliche Abkühlung in heißen Gebieten oder Perioden hoher Temperatur für die physiologische Entlastung des Menschen von zentraler Bedeutung ist. Aus Klimaanalysen weiß man, dass im Zuge des klimawandelbedingten Temperaturanstieges die nächtliche Minimumtemperatur rascher ansteigt als die Maximumtemperatur (IPCC 2001). Im Hinblick auf die Klimaszenarien, die eine weiter steigende Anzahl von Sommer- und Hitzetagen erwarten lassen, wurden bisherige und mögliche künftige Veränderungen der Häufigkeitsverteilungen von Minimumtemperaturen und deren Auswirkung auf die Mortalität analysiert.

Die geringere nächtliche Abkühlung in Städten ist aus den aktuellen Klimadaten gut erkennbar, unabhängig vom Ausmaß der nächtlichen Abkühlung. So gibt es an der Station Wien Innere Stadt pro Jahr 30 Tage mehr mit einer Minimumtemperatur von 15 °C oder mehr als an der Station Hohe Warte (85,8 zu 55,5 Tage/Jahr). In Innsbruck beträgt die Differenz zwischen Stadt und Stadtrand 10 Tage (31,0 zu 20,4 Tage/Jahr). Infolge der nächtlichen Inversionsbildung durch Kaltluftabfluss von den Hängen treten in Tal- und Beckenlagen hohe nächtliche Temperaturen weniger häufig auf als im östlichen Flachland.

Aus dem Vergleich der Klimanormalperiode (1961-1990) und der Periode 1985-2005 ergibt sich für die meisten der betrachteten Stationen bereits mindestens eine Verdoppelung der Anzahl warmer Nächte. Regional (z.B. Bad Gleichenberg) treten in jüngster Vergangenheit hohe Temperaturminima auf, die es während der Klimanormalperiode noch nicht gegeben hat.

Das nächtliche Temperaturminimum hat deutlichen Einfluss auf die Zunahme der Sterblichkeit, und zwar einen größeren als das Tagesmaximum. Einmalig auftretende Minimumtemperaturen von mindestens 20 °C, die gerade in Städten häufiger vorkommen, haben beinahe denselben Effekt wie Hitzeperioden, die zumindest 3 Tage andauern. Noch wirksamer sind warme Nächte zwischen zwei Hitzetagen.

Klimaszenarien für die nächsten 20 bzw. 50 Jahre lassen einen Anstieg der Häufigkeit hoher nächtlicher Temperaturen im Sommer und damit auch eine steigende physiologische Belastung erwarten. Für die Station Graz-Universität ergibt sich z.B. ein Anstieg von 4,5 Tagen/Jahr für die Periode 1989-2018 bzw. 15,1 Tage/Jahr für die Periode 2019-2048 mit Minimumtemperaturen von 18 °C oder darüber. Für Wien Hohe Warte lässt die Periode 2019-2048 ähnliche Verhältnisse erwarten, wie sie sich heute in der Inneren Stadt zeigen.

Abstract

Nocturnal cooling in hot regions or during periods with high temperatures greatly affects peoples' physiological well-being. As known from climate data analysis, minimum temperatures are increasing more strongly than maximum temperatures (IPCC 2001). Based on observations and climate change scenarios which show an increase in summer-days ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) and heat-days ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$), we analyze present and future changes in frequency distributions of minimum temperatures. The attributed effects on mortality are subsequently investigated.

Climate data clearly show less nocturnal cooling in cities compared to rural areas. This effect is independent from the extent of nocturnal cooling. There are, for instance, 30 more days per year, that show a minimum-temperature of at least 15°C , at a station in the center of the city of Vienna (Wien–Innere Stadt, 85,8 days per year) than at a station at the periphery of the city (Wien-Hohe Warte, 55,5 days per year). In Innsbruck situated in an Alpine valley there is a difference of 10 days between urban and suburban area (31,0 to 20,4 days per year). High nocturnal temperatures are occurring not so frequently in valleys and basins than in the eastern plains of Austria due to the nocturnal formation of atmospheric inversions by cold-air masses flowing down the hillsides.

Comparing the climatic normal period (1961-1990) with 1985-2005 we find at almost all analyzed stations at least a doubling in the quantity of warm nights ($T_{\min} > 18^{\circ}\text{C}$). At some stations (e.g. Bad Gleichenberg) high minimum temperatures were observed recently which did not occur at all during the climatic normal period.

The nocturnal temperature minimum has a clear impact on the increase of mortality, even more than the daily maximum. One single event of minimum temperatures exceeding 20°C (which particularly in cities is no rare event) causes the same effects as a heat spell of three days length. Warm nights between hot days are worsening the effect on mortality rates.

Climate scenarios for the next 20 or 50 years assume an increase in the frequency of high nocturnal temperatures in summer and for this reason increasing physiological stress. For station "Graz-Universität" scenarios indicate an increase in days, having a minimum temperature of 18°C or more, of 4,5 and 15,1 days/year for 1989-2018 and 2019-2048, respectively. For "Wien-Hohe Warte" 2019-2048 scenarios suggest similar conditions as presently at "Wien-Innere Stadt".

A1b-1 Einleitung

A1b-1.1 Problemstellung

Als Folge des Klimawandels sind im 20. Jahrhundert die Temperaturen global um $0,6 \pm 0,2$ °C gestiegen. Die Erwärmung wurde global beobachtet, wobei die größten Temperaturänderungen in den mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre statt gefunden haben (WMO 2004). Als Folge des Klimawandels wird erwartet, dass die Häufigkeit und Intensität extremer Temperaturen zunehmen werden: Hitzewellen treten häufiger und intensiver auf, die Sommer werden wärmer, die Winter milder (Houghton et al., 2001, Abb. A1b-1:). Klein-Tank et al. (2002) bestätigen in ihrem „European climate assessment“, dass Europa in den letzten Dekaden einen beispiellosen Anstieg der Erwärmung erfahren hat. In der Periode von 1976 bis 1999 ist u.a. die Anzahl der warmen Extreme doppelt so schnell wie erwartet gestiegen, verbunden mit einem entsprechendem Rückgang der kalten Extremereignisse. In dieser Periode sind die Temperaturminima (in der Nacht) stärker gestiegen wie die Tagesmaxima (Easterling et al., 1997, IPCC 2001). Hulme et al. (2002) weisen darauf hin, dass in Zentralengland die Anzahl der heißen Tage seit den 1960er Jahren ebenso wie die Häufigkeit von Hitzperioden, v.a. im Mai und Juli zugenommen haben.

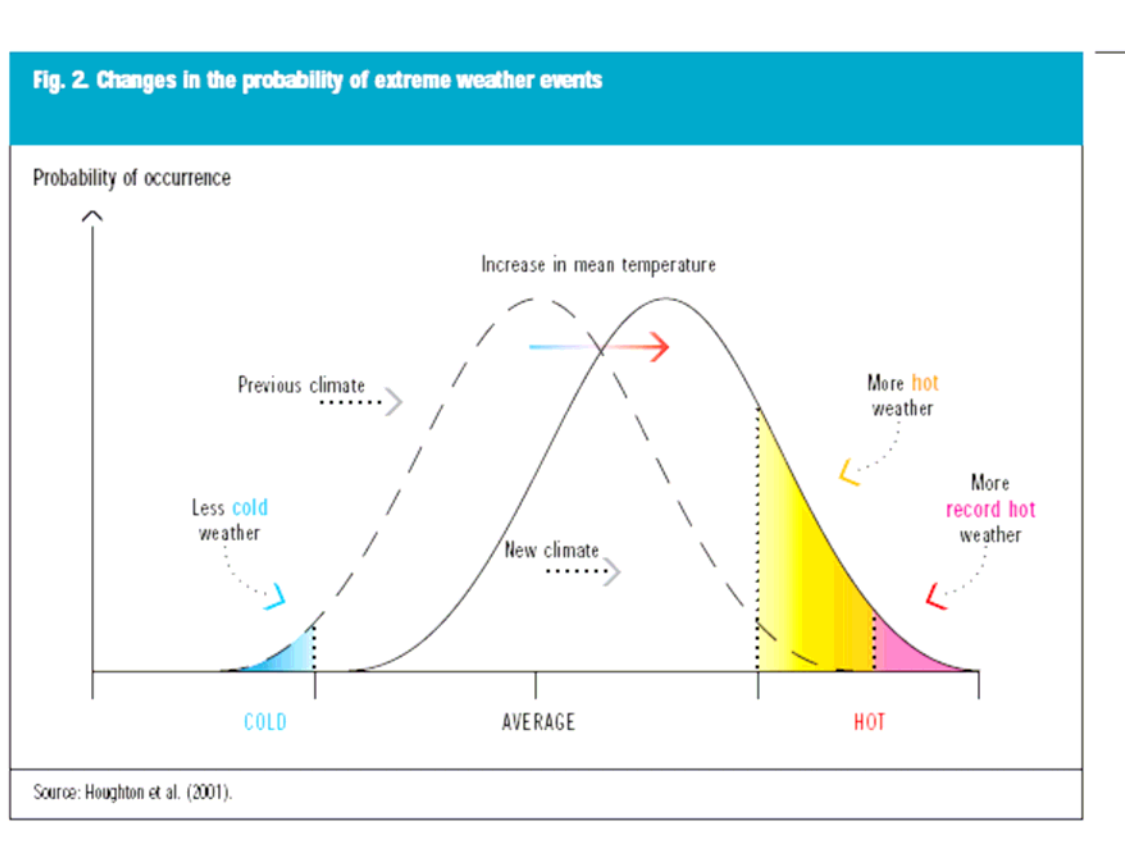


Abb. A1b-1: Änderungen der Wahrscheinlichkeit extremer Wetterereignisse (Houghton et al., 2001)

Tab. A1b-1: Erwartete Änderungen im 21. Jahrhundert (aus Koppe 2004):

TABLE 1. ESTIMATES OF CONFIDENCE IN OBSERVED AND PROJECTED CHANGES IN EXTREME WEATHER AND CLIMATE EVENTS		
Confidence in observed changes (latter half of the 20th century)	Changes in phenomenon	Confidence in projected changes (during the 21st century)
Likely	Higher maximum temperatures and more hot days over nearly all land areas	Very likely
Very likely	Higher minimum temperatures, fewer cold days and frost days over nearly all land areas	Very likely
Very likely	Reduced diurnal temperature range over most land areas	Very likely
Likely over many areas	Increase of heat index (combination of temperature and humidity) over land areas	Very likely over most areas

Source: adapted from Houghton et al. (2001).

Es gibt zahlreiche internationale Studien, welche die gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzewellen untersuchen (Kirch et al., 2005, siehe Projekt A1a). Vor allem die Hitzewelle im Jahr 2003 mit europaweit vielen Tausenden von Todesfällen hat dazu geführt, dass auch in Europa vermehrt an diesem Thema geforscht wird. Der Fokus liegt allerdings hauptsächlich bei der Betrachtung hoher Maximumtemperaturen über längere Zeiträume (Hitzeperioden).

Wie ebenfalls aus internationalen Studien (WMO 2004, IPCC 2001) zu erfahren ist, wird im Zuge des Klimawandels auch ein Anstieg der Minimumtemperatur erwartet. Im gegenständlichen Projekt wird aus diesem Grund als Maß für die nächtliche Abkühlung das nächtliche Temperaturminimum heran gezogen und die Häufigkeitsverteilung bisher und in einem künftigen Klima in den jeweils ausgewiesenen Belastungsgebieten analysiert.

A1b-1.2 Material und Methoden

A1b-1.2.1 Verwendete Daten

- **Klimadaten:**
Temperaturdaten verschiedener Stationen in Österreich, Quelle: ZAMG
- **Mortalitätsdaten:**
tägliche Sterblichkeit in Wien, zur Verfügung gestellt von STAT-AT (01.01.1990 - 31.12.2004)
- **Kartenmaterial:**
ÖKLIM (ZAMG 2001), ACTIVE (2004)

A1b-1.2.2 Definitionen

Tm...Tagesmittel = $(T_{max} + T_{min}) / 2$ [°C]

Monatsmittel: Mittel der Tagesmittel

Sommertag: $T_{max} \geq 25$ °C

Hitzetag (heißer Tag): $T_{max} \geq 30$ °C

A1b-1.3 Zur Wahl der Stationen

Die klassischen Klimakarten (Abb. A1b-2:) Österreichs für die Monatsmittel der Temperatur während des Sommers spiegeln weitgehend die topographische Struktur Österreichs mit niedrigeren Temperaturen im Gebirge und den höchsten im flachen, pannonisch geprägten Osten wieder. Hitzetage (Abb. A1b-3:), das sind Tage mit Maximumtemperaturen über 30°C, weisen eine leicht geänderte Verteilung auf: die größte Häufigkeit erreichen sie zwar ebenfalls im Nordosten Österreichs, kleinräumigere Bereiche hoher Häufigkeiten treten jedoch auch in den südlichen Beckenlagen und im Inntal auf.

Juli-Mitteltemperatur in Österreich (1961-1990)

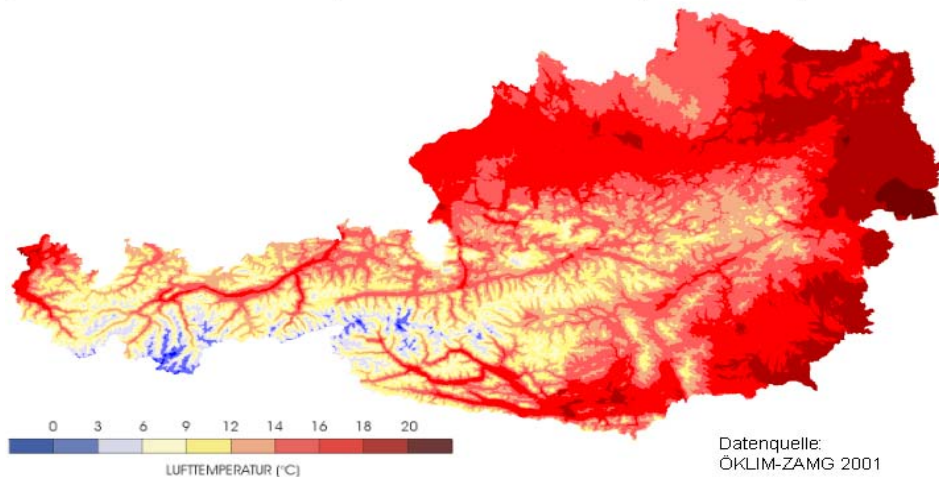


Abb. A1b-2: Juli-Mitteltemperatur in Österreich während der Klimanormalperiode 1961-1990.

Anzahl der Hitzetage in Österreich (1961-1990)

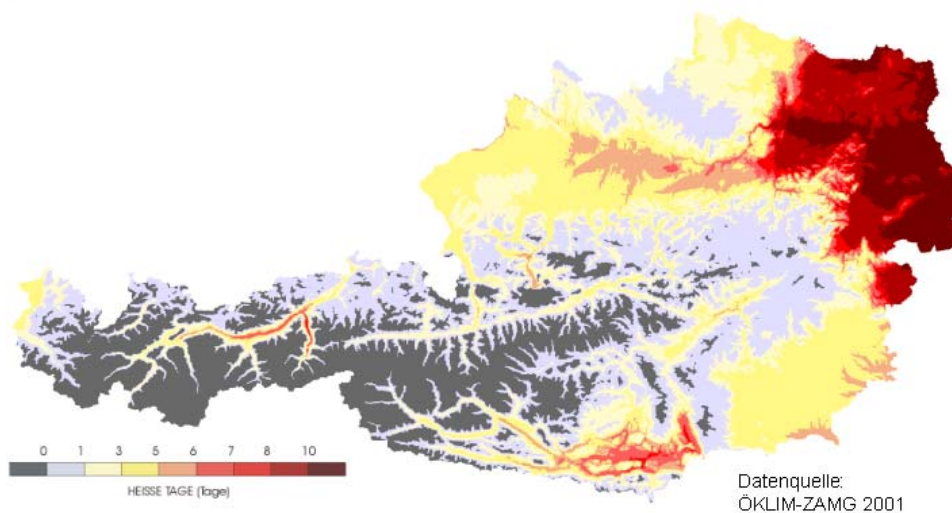


Abb. A1b-3: Anzahl der Hitzetage in Österreich während der Klimanormalperiode 1961-1990.

Komplexere Ansätze untersuchen die thermische Belastung für den Menschen, die zusätzlich zur Temperatur von Wind und Feuchte abhängt. Dabei zeigt sich hohe thermische Belastung (Abb. A1b-4; ACTIVE 2004) vor allem im Südosten Österreichs (Steiermark), sowie in geringerem Ausmaß im Osten, im Bereich des Neusiedlersees, in südlichen Beckenlagen (Klagenfurter Becken) und im Rhein- und Teilen des Inntals.

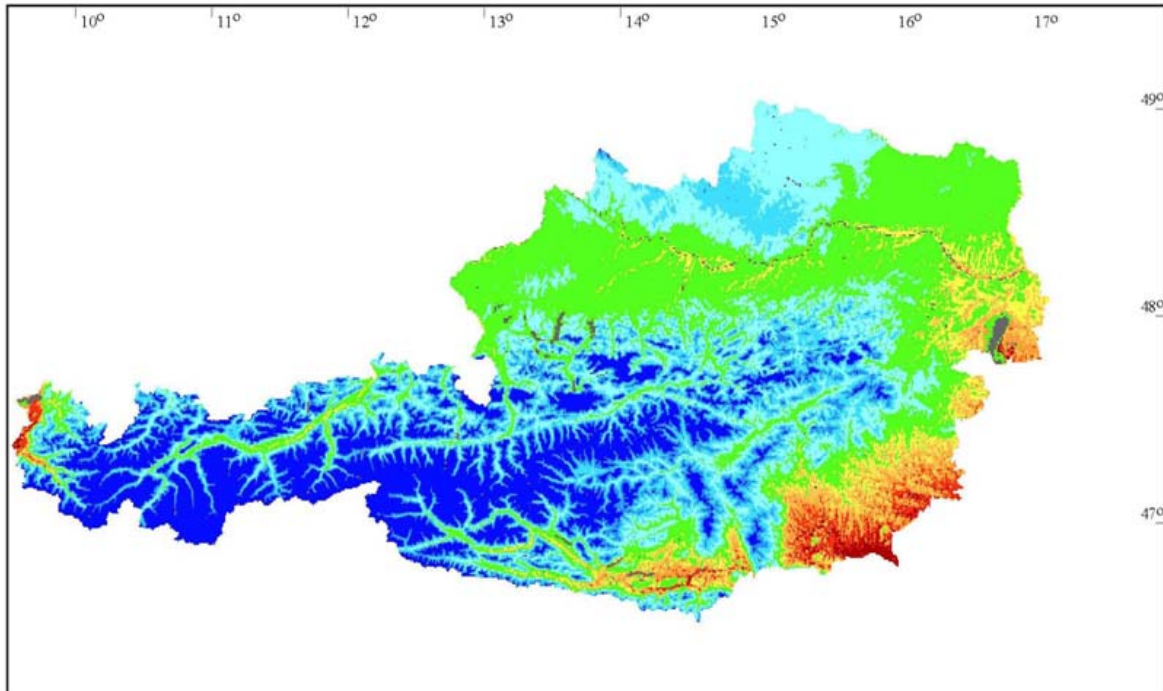


Abb. A1b-4: Übersichtskarte thermischer Belastungsregionen (Quelle: ACTIVE 2004). Rot eingefärbte Bereiche charakterisieren Gebiete mit starker bis extremer Wärmebelastung.

Alle drei Darstellungen beziehen sich auf thermische Verhältnisse in den Sommermonaten. Während Abb. A1b-4: auf der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) beruht, die aus den Eingangsgrößen Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Bewölkung berechnet wird, ist es in Abb. A1b-2: die mittlere Lufttemperatur (Mittel aus Minimum und Maximum) und bei Abb. A1b-3: das Maximum der Lufttemperatur. Die nächtliche Abkühlung wird darin nur unzureichend berücksichtigt, obwohl sie für die physiologische Entlastung des Menschen wesentlich ist. Es ist bekannt, dass die geringere Abkühlung bei Nacht gerade in großen Städten (Stadteffekt, Wärmeinsel) ein wichtiger, das Wohlbefinden beeinträchtigender Faktor sein kann. Weiters weiß man aus der Literatur (IPCC 2001), wie bereits gesagt, dass im Zuge des Klimawandels mancherorts ein deutlich rascherer Anstieg der nächtlichen Temperaturen stattfindet als der Temperaturen während des Tages.

Aufgrund der unterschiedlichen Darstellung der thermischen Verhältnisse in diesen Karten stellt sich die Frage, weshalb beispielsweise der Nordosten stark von Hitzetagen geprägt ist und Teile des Südostens als thermische Belastungsgebiete ausgewiesen sind, umgekehrt aber der Südosten Österreichs nur wenige Hitzetage aufweist und der Nordosten (mit Ausnahme des Neusiedlersee-Gebietes) nur sehr kleinräumig als thermisch belastet charakterisiert ist. Übereinstimmungen in allen drei Darstellungen gibt es im Wesentlichen in den tiefen Tal- und Beckenlandschaften des Bundesgebietes. Die Ursachen dafür liegen auch an den klimatischen Verhältnissen (Tab. A1b-1:). So werden die hohen Temperaturen im Norden und Nordosten Österreichs durch den dort stärkeren Wind als „kühler“ empfunden. Im Südosten oder Süden hingegen führen schwächerer Wind und etwas höhere Luftfeuchtigkeit zu höherer thermischer Belastung. Wenngleich tagsüber an einigen Stationen ähnliche thermische Verhältnisse herrschen, so können die Unterschiede nachts durchaus groß werden, sei es topographisch bedingt, durch Vorherrschen von urbanen Strukturen oder auch klimatisch bedingt. Diese verschiedenen und sich teilweise überlagernden Randbedingungen haben

dazu geführt, Stationen aus unterschiedlichen Regionen des Bundesgebietes in die Analyse einzubeziehen. Die im Folgenden angeführten Stationsbeschreibungen stammen aus dem digitalen Klimaatlas Österreichs ÖKLIM (ZAMG 2001) bzw. aus Helbig et al. (1999). Zusätzlich wurden die Stationen Wien-Innere Stadt, Groß Enzersdorf und Bad Radkersburg in die Untersuchung eingebunden. Wien-Innere Stadt ist als typisches Beispiel einer urbanen Station im dicht bebauten Gebiet gerade im Vergleich zur Station Wien-Hohe Warte interessant (Wärmeinsel, Stadteffekt), Großenzersdorf, im Nahbereich von Wien gelegen, ist als Station ohne nennenswerten urbanen Einfluss zu charakterisieren. Bad Radkersburg wurde in die Analyse einbezogen, da diese Station in allen Darstellungen hohe thermische Werte aufweist.

Tab. A1b-1: Mittlere Temperatur-, Feuchte- und Windverhältnisse an ausgewählten Stationen (Datenquelle: ÖKLIM, ZAMG 2001)

Station	Seehöhe [m ü. NN]	Temperaturmittel [°C]			Monatsmittel der relativen Feuchte [%]			Windgeschwindigkeits- mittel [m/s]		
		Juni	Juli	Aug	Juni	Juli	Aug	Juni	Juli	Aug
Wien-Hohe Warte	202	18,3	20,1	19,7	67	65	69	3,5	3,3	3,1
Wien-Mariabrunn	226	17,1	18,9	18,4	72	71	75	2,1	2,2	1,5
Eisenstadt	184	18,4	20,3	19,9	68	67	70	3,4	3,4	3,2
Bregenz	424	16,8	18,8	18,2	72	72	76	1,8	1,9	1,7
Klagenfurt	447	16,9	18,7	18,1	70	71	76	1,8	1,6	1,4
Graz-Universität	366	17,7	19,4	18,8	71	72	77	1,6	1,6	1,5
Graz-Flughafen	340	17,2	18,7	18,2	74	75	80	1,9	1,8	1,5
Gleichenberg	303	17,4	19,0	18,6	73	73	77	na	na	na
Innsbruck-Universität	577	16,6	18,3	17,9	67	70	73	1,7	1,6	1,4
Innsbruck-Flughafen	578	16,9	18,7	18,2	69	71	75	2,2	2,0	1,8

WIEN-HOHE WARTE

Die Klimastation Wien-Hohe Warte befindet sich in 202m Höhe in einem locker bebauten Villenviertel im Norden Wiens. Sie ist die Hauptstation des Österreichischen Wetterdienstes, der hier seit 1873 seine Institutsgebäude hat. Das Klima ist typisch für den Osten Österreichs mit geringem Niederschlag, wenig Schnee, vielen trüben, mäßig kalten Tagen im Winter, sonnig und heiß im Sommer. Die Temperaturen (besonders die Minima) sind zusätzlich durch die Hanglage und einen schwachen Stadteffekt gemildert. Die Nähe zum Donaudurchbruch zwischen Wienerwald und dem Bisamberg macht sich mit relativ hohen Windgeschwindigkeiten bemerkbar.

WIEN-MARIABRUNN

Die Klimastation Wien-Mariabrunn befindet sich in 226m Höhe in einem flachen Becken zwischen den Ausläufern des Wienerwaldes im Westen der Stadt. Die Umgebung ist dünn besiedelt und zeigt so gut wie keine Urbanefekte mehr. Das Klima ist gegenüber anderen wenig urban beeinflussten Standorten im Wiener Stadtgebiet speziell im Winter und in der Nacht deutlich kühler (Kaltluftsee), der Wind zeigt ein leichtes Talwindssystem, das der großräumig vorhandenen Windrichtungsverteilung überlagert ist. Die Niederschläge sind durch die Wienerwaldhügel gegenüber dem Osten der Stadt erhöht.

EISENSTADT

Die Klimastation Eisenstadt liegt am Südostabhang des Leithagebirges in 184m Seehöhe. Sie gehört zu den Vertretern des kontinentalen pannonischen Klimas mit heißen Sommern und (bedingt durch die geringe Seehöhe) mäßig kalten Wintern. Es gibt wenig Niederschlag und viel Sonne im Sommer, im Winter ist die Sonnenscheindauer durch häufige beständige Hochnebellagen reduziert.

BREGENZ

Die Klimastation Bregenz in 424m Seehöhe gehört zu den westlichsten Österreichs. Sie besitzt das am wenigsten kontinentale Klima des Landes (mit Ausnahme der Bergstationen) mit milden Wintern, nicht sehr heißen Sommern und viel Niederschlag. Der „Wärmespeicher“

Bodensee mildert zusätzlich die Tag-Nacht und Sommer-Winter Gegensätze des Temperaturverlaufs, außerdem ist ein geringfügiger Stadteffekt vorhanden. Bregenz gehört zu denjenigen Klimastationen Österreichs mit langen Klimareihen.

KLAGENFURT

Die Klimastation Klagenfurt befindet sich in 447m Höhe auf dem Gelände des Flugplatzes Annabichl. Sie ist die klassische Messstation für das Kärntner Beckenklima, das die höchste thermische Kontinentalität Österreichs besitzt: Bezogen auf gleiche Höhenlage sind hier die Winter am kältesten, die Sommer am wärmsten, die Windgeschwindigkeiten sind infolge der inneralpinen Beckenlage sehr gering, im Winter gibt es häufig anhaltende Hochnebeldecken, die Sommer hingegen sind sehr sonnig.

GRAZ-UNIVERSITÄT

Die Klimastation Graz-Universität liegt im dicht bebauten Gebiet von Graz in 366m Höhe. Sie ist das urbane Pendant zur Station Graz-Flughafen und zeigt deutliche urbane Klimamodifikationen mit höherer Temperatur (vor allem in der Nacht), häufigeren Frost- und Eistagen, geringeren Windgeschwindigkeiten und weniger Nebel.

GRAZ-FLUGHAFEN

Die Klimastation Graz-Thalerhof in 340m Höhe im flachen Gelände der Grazer Bucht hat trockenes, kontinentales Klima, mit einigen mediterranen Eigentümlichkeiten, wie größere Starkregen-, Hagel- und Gewitterhäufigkeit als die meisten anderen Regionen Österreichs. Der Flughafen Graz ist nicht von Urbaneffekten beeinflusst, wie die Nachbarstation Graz-Universität. Er dient als ideale Freiland-Vergleichsstation, um die Urbaneffekte des Klimas von Graz quantifizieren zu können.

BAD GLEICHENBERG

Die Klimastation Bad Gleichenberg in der südöstlichen Steiermark liegt in einem hügeligen Gebiet in 303m Seehöhe. Bad Gleichenberg steht für diejenigen Gebiete Österreichs, die stärker kontinental geprägt sind, mit einem ausgeprägten Jahresgang der Temperatur, wenig Niederschlag und viel Sonne.

INNSBRUCK-UNIVERSITÄT

Die Klimastation Innsbruck-Universität liegt in 577m Höhe im Westteil der Stadt im Instituts-garten des alten Instituts für Meteorologie und Geophysik in der Schöpfstrasse. Sie ist als Urbanstation im Vergleich zum Flughafen Innsbruck verwendbar.

INNSBRUCK-FLUGHAFEN

Die Klimastation Innsbruck-Flughafen liegt in 578m Höhe auf dem freien Gelände des Flughafens Kranebitten westlich der Stadt. Das Inntal im Raum Innsbruck ist gegen atlantische Einflüsse relativ stark abgeschirmt und zeigt bereits deutlich geringere Niederschläge als die Nordstaugebiete auf der anderen Seite der Nordkette oder am Arlberg. Von Süden her sorgt der Föhn häufig für die ihm eigenen typischen Wettererscheinungen. Von urbanen Einflüssen ist die Station weitestgehend frei und kann als Freiland-Vergleichsstation zur Klimastation Innsbruck-Universität verwendet werden.

A1b-1.4 Methode

Die nächtliche Abkühlung und ihre zeitliche Entwicklung ist von Bedeutung für die thermische Belastung in Österreich. Nachdem in der Literatur keine für diesen Projektrahmen zufrieden stellende Definition der nächtlichen Abkühlung gefunden werden konnte, wurde als Maß das nächtliche Temperaturminimum heran gezogen und die Häufigkeitsverteilung der Minimumtemperaturen bisher und in einem künftigen Klima in den jeweils ausgewiesenen Belastungsgebieten untersucht. Der ursprünglich angedachte Vergleich langer Zeitreihen wurde geändert, da die erforderlichen Daten (Temperaturminima) nicht für alle Stationen über dieselben Zeiträume verfügbar sind. Aus diesem Grund wurde die Klimanormalperiode (1961-1990, KNP) als Basisperiode heran gezogen. Für die KNP gibt es für zahlreiche Stationen

homogenisierte Daten (StartClim-Datensatz, Schöner 2004). Daneben hat „Wien-Innere Stadt“ als Station mit charakteristisch urbanen Charakter natürlich einen besonderen Stellenwert. Der hier typische Stadteffekt (Wärmeinsel) durch dichte Bebauung, großflächige Versiegelungen und durchwegs dichte Besiedlung) macht den Vergleich zu anderen Stationen besonders interessant, um die thermischen Unterschiede zu weniger urbanen oder zu Stationen außerhalb des urbanen Einflusses auf zu zeigen. Die Station „Wien-Innere Stadt“ wurde erst 1985 in Betrieb genommen, weshalb ein direkter Vergleich mit anderen Stationen erst ab dieser Zeit möglich ist. Nachdem die Bedeutung dieser einen Station für die gesamte Untersuchung außer Frage steht, wurde neben der KNP (1961-1990) die Periode 1984-2005 definiert, um die – historischen - Änderungen in der Entwicklung der Überschreitungshäufigkeiten von nächtlichen Minimumtemperaturen zu untersuchen und auch direkt vergleichen zu können.

Obwohl die beiden betrachteten Perioden nicht gleich lang sind – die Klimanormalperiode betrachtet 30, die Periode 1985-2005 21 Jahre, stellt die ungleiche Dauer keine Einschränkung dar, da die Häufigkeiten von Minimumtemperaturen gemittelt über die jeweilig betrachtete Periode berechnet wurden. Im ersten Schritt waren dies relative Häufigkeiten, die in weiterer Folge zur besseren Verständlichkeit in Tage/Jahr umgerechnet wurden. Schaltjahre wurden entsprechend berücksichtigt. Auch die Überlappung der beiden Perioden wurde bewusst akzeptiert, da die Klimanormalperiode bei klimatologischen Untersuchungen oftmals als Basis- und Vergleichsperiode verwendet wird (IPCC, WMO) und für Wien-Innere Stadt eine möglichst lange Zeitreihe notwendig war. Unter den genannten Aspekten stellen sowohl die unterschiedliche Periodendauer als auch die Überlappung der beiden Perioden keine Einschränkung in der Aussagekraft der erfolgten Untersuchung dar.

Neben diesen beiden definierten Perioden wurden auch Überschreitungshäufigkeiten von Minimumtemperaturen in 10-Jahres-Perioden untersucht. Interessanterweise zeigt die Verteilung in Abhängigkeit der Wahl des Startjahres des jeweiligen Jahrzehnts etwas unterschiedliche Häufigkeiten (Abb. A1b-9:). In den Untersuchungen ist zwar eine Verschiebung der Häufigkeitsverteilung von Minimumtemperaturen oberhalb gewählter Schwellwerte hin zu höheren Temperaturen erkennbar, doch sollte bei der Interpretation dieser Ergebnisse die betrachtete Periode (z.B. ein Jahrzehnt mit vielen kühlen oder warmen Jahren) nicht außer Acht gelassen werden.

Während im StartClim Projekt A1a u.a. Hitzeperioden (nach Kysely, 2004) untersucht wurden, die eine Episode heißer Tage wiedergeben (siehe dort) und daraus eine Untersuchung ihrer Auswirkung auf die Mortalität in Wien erfolgt, werden in diesem Projekt analog dazu in einem Erstversuch unterschiedliche, so genannte „Warme Nächte“ – da sind nächtliche Hitzeepisoden mit hohem nächtlichem Temperaturminimum – definiert und sozusagen als Pendant zu den Kysely-Episoden eingeführt, um die Effekte auf die Sterblichkeit zu untersuchen.

Neben der Untersuchung von historischen Daten wird auf die künftige Entwicklung eingegangen. Mittels Analogszenerien (Kapitel A1b-4) werden mögliche Entwicklungen interpretiert, und daraus die künftig zu erwartenden Änderungen in der Häufigkeit des Auftretens von hohen nächtlichen Minimumtemperaturen und „warmer Nächte“ abgeleitet. Schließlich soll auch die Frage beantwortet werden, inwieweit sich die abzeichnenden Änderungen der nächtlichen Abkühlung auf die Sterblichkeit und die gegenwärtigen Belastungsgebiete auswirken werden.

A1b-2 Ergebnisse historische Daten

Beispielhafte Trenduntersuchungen für die Minimumtemperatur für die Sommermonate (Juni, Juli und August) werden durch die aus der Literatur bekannten Ergebnisse bestätigt (IPCC 2001), wonach im globalen Mittel seit den 1950er Jahren sowohl die Minimumtemperatur als auch die Maximumtemperatur zugenommen haben. Mancherorts war der Anstieg bei der Minimumtemperatur deutlicher (bis doppelt so hoch) wie jener der Maximumtemperatur, wodurch sich die tägliche Temperaturdifferenz verringert hat (Easterling 1997). Für die beispielhaft herangezogenen Stationen Graz-Universität und Wien-Hohe Warte (Abb. A1b-5:) zeigt sich für die Minimumtemperatur eine dazu passende Entwicklung: die positiven Trends von Tmin sind ersichtlich, v.a. seit etwa 1985 nimmt die mittlere Minimumtemperatur (mit wenigen Ausnahmen) zu. Insgesamt ist der Anstieg über die gesamte beobachtete Periode 1948-2002 an der Station Wien-Hohe Warte deutlicher (etwa 0,2 °C/Dekade) als an der Station Graz-Universität (etwa 0,16 °C/Dekade).

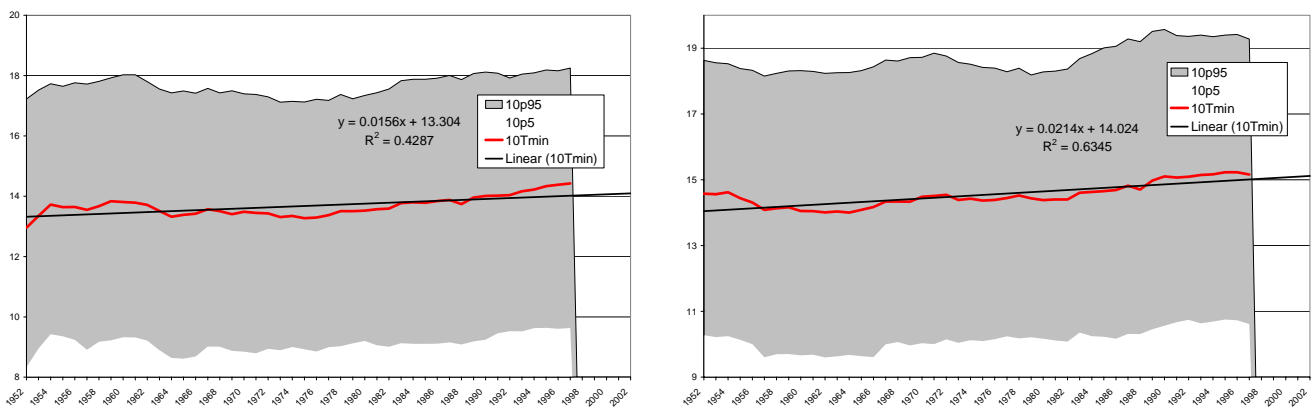


Abb. A1b-5: Entwicklung der Minimumtemperatur, 10-jährige Mittel der Zeitreihe 1948-2002 für den Sommer (JJA), links Graz-Universität, rechts Wien-Hohe Warte.

A1b-2.1 Häufigkeiten von nächtlichen Minimumtemperaturen

Für die ausgewählten Stationen wurden getrennt für die Klimanormalperiode (1961-1990) und die Periode 1985-2005 die Überschreitungshäufigkeiten von Minimumtemperaturen bei oder oberhalb verschiedener Schwellwerte untersucht. Die Schwellwerte für Tmin wurden beginnend bei 15 °C bis 21 °C gradweise erhöht und die Häufigkeit des Auftretens dieses Wertes oder höherer Werte gezählt. Die Daten stammen aus dem StartClim-Datensatz (Schöner 2004) und wurden mit den Klimadaten der ZAMG für die letzten Jahre, die in diesem Datensatz noch nicht enthalten waren, ergänzt, sodass für alle Stationen Daten bis 2005 vorliegen.

Ein Vergleich der beiden Zeitperioden 1961-1990 und 1985-2005 ergibt an allen untersuchten Stationen eine deutliche Verschiebung der Häufigkeitsverteilung der Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb der jeweiligen Schwellwerte hin zu höheren Temperaturen. Tab. A1b-2: zeigt die entsprechenden Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für die untersuchten Stationen Österreichs während der Periode 1961-1990 (Klimanormalperiode) und der Periode 1985-2005.

Tab. A1b-2: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für die untersuchten Stationen Österreichs während der Periode 1961-1990 (Klimanormalperiode) und der 1985-2005.

Station	Klimanormalperiode 1961-1990							Periode 1985-2005						
	>=15 °C	>=16 °C	>=17 °C	>=18 °C	>=19 °C	>=20 °C	>=21 °C	>=15 °C	>=16 °C	>=17 °C	>=18 °C	>=19 °C	>=20 °C	>=21 °C
Wien Innere Stadt								85.8	67.9	51.8	37.5	24.6	14.8	7.9
Wien Hohe Warte	45.2	30.4	18.4	9.9	3.8	1.6	0.5	55.5	39.9	26.8	16.3	7.7	4.0	1.4
Mariabrunn	17.8	10.4	5.3	2.6	1.1	0.4	0.1	30.9	19.3	11.1	5.4	2.4	1.2	0.2
Großenzersdorf	30.8	17.5	9.5	4.7	1.9	0.6	0.2	45.7	30.5	18.8	10.6	5.3	2.3	0.9
Eisenstadt	45.1	31.2	19.6	10.9	5.4	2.2	0.6	51.6	38.3	23.5	13.1	6.4	3.2	1.0
Bregenz	33.3	20.5	10.3	4.7	1.8	0.5	0.2	45.0	31.1	19.3	10.2	4.4	1.7	0.5
Klagenfurt	11.0	3.8	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	24.7	12.0	4.4	1.3	0.3	0.2	0.0
Graz Uni	33.6	19.6	9.6	3.6	1.0	0.3	0.1	44.8	29.5	16.8	7.8	3.1	1.0	0.2
Graz Flughafen	16.5	7.3	2.5	0.7	0.2	0.0	0.0	39.2	24.4	13.4	5.8	2.4	0.8	0.3
Bad Gleichenberg	23.1	12.4	4.5	1.4	0.5	0.0	0.0	35.4	21.5	10.1	3.7	1.2	0.3	0.1
Innsbruck Uni	16.9	7.3	2.6	0.6	0.2	0.0	0.0	31.0	17.2	7.4	2.3	0.7	0.3	0.0
Innsbruck Flughafen	11.2	4.4	1.3	0.3	0.1	0.0	0.0	20.4	9.3	3.0	0.9	0.3	0.1	0.0
Bad Radkersburg								42.3	27.4	14.6	6.0	2.0	0.6	0.1

Bei niedriger gesetztem Schwellwert für T_{min} ist die Überschreitungshäufigkeit naturgemäß höher als bei höherem Schwellwert, weil Nächte mit niedrigeren nächtlichen Minimumtemperaturen häufiger vorkommen als solche mit höherem. Je höher der Wert für T_{min} gesetzt wird, desto seltener wird er erreicht oder überschritten. Daraus ergibt sich eine Verteilung, wie sie in Abb. A1b-6: zu sehen ist. Sie vergleicht Eintrittshäufigkeiten von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte in Tagen/Jahr an den Stationen Wien-Hohe Warte (blau) und Klagenfurt (rot) in den Perioden 1961-1990 und Periode 1985-2005. Die jeweils untere (blaue bzw. rote) Linie gibt die Anzahl von Tagen pro Jahr an, an denen der T_{min}-Schwellwert während der Periode 1961-1990 auftritt, die jeweils obere Linie gibt die Eintrittshäufigkeit während der Periode 1985-2005 an. In Abhängigkeit der gewählten Station ist natürlich die Anzahl von Tagen in der jeweiligen Periode unterschiedlich (siehe Tab. A1b-4:), das Ergebnis ist allerdings grundsätzlich ähnlich: in der Periode 1985-2005 ist die Eintrittshäufigkeit von T_{min} für die gewählten Schwellwerte immer höher als in der Klimanormalperiode.

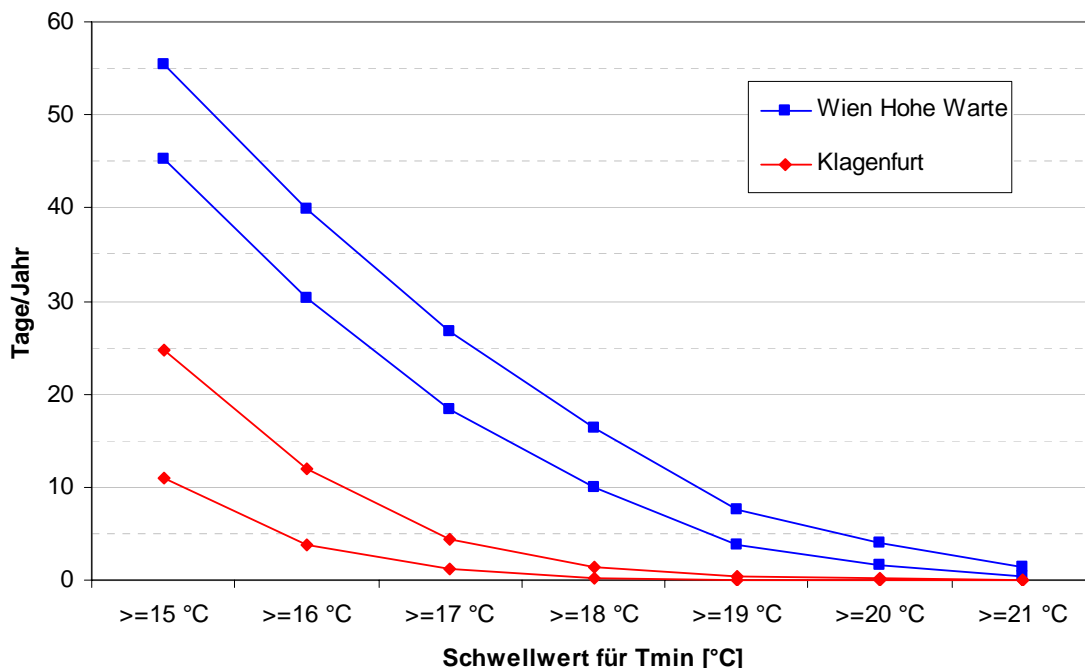


Abb. A1b-6: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte an den Stationen Wien Hohe Warte und Klagenfurt von der Periode 1961-1990 (jeweils untere Linie) zur Periode 1985-2005 (jeweils obere Linie).

Die einzigen Ausnahmen dieser Verhältnisse zeigen sich an jenen Stationen, wo hohe Werte von $T_{min} \geq 20\text{ °C}$ und darüber überhaupt nicht erreicht wurden. Während es an den Stationen Klagenfurt und Innsbruck-Flughafen seit 1961 kein nächtliches Temperaturminimum von $\geq 21\text{ °C}$ gegeben hat, wird genau dieses an den Stationen Bad Gleichenberg und Graz-Flughafen in der Periode 1985-2005 erstmals seit 1961 überschritten. Besonders interessant scheint diese Entwicklung im Bereich der höheren und hohen Bereiche von nächtlichen Temperaturminima vor allem in Bezug auf Fragen zur Ausdehnung bisheriger Belastungsgebiete und Entwicklung von bislang thermisch unbelasteten Gebieten.

Ergänzend ist zu bemerken, dass in Tab. A1b-2: und Tab. A1b-4: bei den T_{min} Werten $\geq 20\text{ °C}$ und 21 °C öfters als oben angegeben die Häufigkeit „0 Mal“ auftritt. Im Speziellen ist das bei Bad Gleichenberg und Innsbruck-Universität der Fall. Hier ist in der Tabelle der Wert 0 angegeben, tatsächlich aber ist ein entsprechendes Ereignis vielleicht genau ein einziges Mal vorgekommen, aber aufgrund der rechnerischen Rundung mit der Häufigkeit 0 versehen. Die genaueren, auf 2 Kommastellen gerundeten Werte für die Häufigkeiten sind in Tab. A1b-3: angegeben. Demnach ist beispielsweise an der Station Innsbruck-Universität während der Klimanormalperiode und auch während der Periode 1985-2005 eine nächtliches $T_{min} \geq 21\text{ °C}$ genau ein einziges Mal vorgekommen.

Tab. A1b-3: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für die untersuchten Stationen Österreichs während der Periode 1961-1990 (Klimanormalperiode) und der 1985-2005, auf 2 Kommastellen gerundet.

Station	Klimanormalperiode 1961-1990						Periode 1985-2005							
	$\geq 15\text{ °C}$	$\geq 16\text{ °C}$	$\geq 17\text{ °C}$	$\geq 18\text{ °C}$	$\geq 19\text{ °C}$	$\geq 20\text{ °C}$	$\geq 21\text{ °C}$	$\geq 15\text{ °C}$	$\geq 16\text{ °C}$	$\geq 17\text{ °C}$	$\geq 18\text{ °C}$	$\geq 19\text{ °C}$	$\geq 20\text{ °C}$	$\geq 21\text{ °C}$
Wien-Innere Stadt								85.79	67.85	51.84	37.49	24.63	14.82	7.89
Wien-Hohe Warte	45.20	30.40	18.43	9.90	3.80	1.63	0.47	55.48	39.90	26.81	16.29	7.67	3.95	1.38
Wien-Mariabrunn	17.81	10.40	5.30	2.62	1.09	0.37	0.10	30.95	19.27	11.07	5.35	2.43	1.22	0.24
Großenzersdorf	30.83	17.50	9.47	4.73	1.90	0.63	0.17	45.67	30.52	18.76	10.57	5.33	2.29	0.90
Eisenstadt	45.13	31.20	19.57	10.93	5.40	2.23	0.60	51.57	38.29	23.48	13.10	6.38	3.19	1.00
Bregenz	33.30	20.47	10.33	4.70	1.80	0.53	0.17	45.00	31.10	19.29	10.24	4.43	1.71	0.48
Klagenfurt	11.00	3.80	1.13	0.13	0.03	0.00	0.00	24.71	12.00	4.38	1.33	0.33	0.19	0.00
Graz-Universität	33.63	19.60	9.63	3.63	1.00	0.30	0.07	44.76	29.48	16.76	7.81	3.10	1.00	0.19
Graz-Flughafen	16.47	7.30	2.53	0.73	0.17	0.00	0.00	39.19	24.38	13.38	5.81	2.43	0.81	0.33
Bad Gleichenberg	23.11	12.45	4.50	1.38	0.48	0.03	0.00	35.43	21.50	10.07	3.74	1.19	0.28	0.06
Innsbruck-Universität	16.93	7.27	2.57	0.57	0.20	0.03	0.03	31.05	17.24	7.38	2.33	0.71	0.33	0.05
Innsbruck-Flughafen	11.23	4.37	1.33	0.33	0.07	0.00	0.00	20.38	9.29	3.00	0.86	0.29	0.14	0.00
Bad Radkersburg								42.30	27.43	14.58	6.03	2.03	0.64	0.10

Die Zunahme der Häufigkeiten von nächtlichen Minimumtemperaturen bei gewählten Schwellwerten fällt von der Periode 1961-1990 zur Periode 1985-2005 unterschiedlich hoch aus. Der besseren Übersicht wegen wurde die Zunahme in Tab. A1b-4: in absoluten Zahlen angegeben. In der jeweiligen linken Spalte des Wertes für T_{min} ist die Eintrittshäufigkeit während der Klimanormalperiode (KNP) angegeben, in der darauf folgenden Spalte die absolute Zunahme in Tagen pro Jahr (fett gedruckt) während der Periode 1985-2005. Dabei zeigen sich teilweise sehr markante Änderungen: die Station Graz-Flughafen weist im Bereich von $T_{min} \geq 15\text{ °C}$ eine Zunahme von 22,7 Tagen/Jahr auf, bei $T_{min} \geq 16\text{ °C}$ und 17 °C sind es 17,1 bzw. 10,8 Tage/Jahr. Die mittlere Zunahme für die letzten 21 Jahre ist damit höher als die mittlere Häufigkeit während der KNP. Bei Klagenfurt und Innsbruck-Universität sind die Häufigkeitssteigerungen absolut gesehen zwar niedriger, aber im Verhältnis ähnlich hoch.

Die Anzahl der Tage/Jahr mit Minimumtemperaturen von 18 °C oder mehr ($T_{min} \geq 18\text{ °C}$) hat sich im Mittel innerhalb der beiden Perioden etwa verdoppelt (Abb. A1b-7: und Tab. A1b-4:), mit Ausnahme der Stationen Wien-Hohe Warte und Eisenstadt, wo eine Zunahme von 9,9 auf 16,3 (plus 6,4) Tage/Jahr und 10,9 auf 13,1 (plus 2,2) Tage/Jahr beobachtet wurde. Diese Verdoppelung hat natürlich nicht an allen Stationen dieselbe Bedeutung, so ist beispielsweise an der Station Bad Gleichenberg eine Steigerung von 1,4 auf 3,7 (+2,3) Tage/Jahr physiologisch eher verkraftbar, da hohe nächtliche Temperaturen zwar merkbar häufiger wie früher, aber immer noch relativ selten auftreten. Nichtsdestotrotz kündigt sich hier

und auch an anderen Stationen eine Entwicklung an, die beachtet werden sollte, dass nämlich bislang seltene Ereignisse in jüngster Vergangenheit schon merkbar häufiger auftreten.

Tab. A1b-4: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für die untersuchten Stationen Österreichs. Absolute Zunahme in Tagen/Jahr in der Periode 1985-2005 im Vergleich zur Periode 1961-1990.

Station	>=15 °C		>=16 °C		>=17 °C		>=18 °C		>=19 °C		>=20 °C		>=21 °C	
	KNP	85-05	KNP	85-05	KNP	85-05	KNP	85-05	KNP	85-05	KNP	85-05	KNP	85-05
Wien-Hohe Warte	45.2	10.3	30.4	9.5	18.4	8.4	9.9	6.4	3.8	3.9	1.6	2.3	0.5	0.9
Wien-Mariabrunn	17.8	13.1	10.4	8.9	5.3	5.8	2.6	2.7	1.1	1.3	0.4	0.8	0.1	0.1
Großenzersdorf	30.8	14.8	17.5	13.0	9.5	9.3	4.7	5.8	1.9	3.4	0.6	1.7	0.2	0.7
Eisenstadt	45.1	6.4	31.2	7.1	19.6	3.9	10.9	2.2	5.4	1.0	2.2	1.0	0.6	0.4
Bregenz	33.3	11.7	20.5	10.6	10.3	9.0	4.7	5.5	1.8	2.6	0.5	1.2	0.2	0.3
Klagenfurt	11.0	13.7	3.8	8.2	1.1	3.2	0.1	1.2	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0
Graz-Universität	33.6	11.1	19.6	9.9	9.6	7.1	3.6	4.2	1.0	2.1	0.3	0.7	0.1	0.1
Graz-Flughafen	16.5	22.7	7.3	17.1	2.5	10.8	0.7	5.1	0.2	2.3	0.0	0.8	0.0	0.3
Bad Gleichenberg	23.1	12.3	12.4	9.1	4.5	5.6	1.4	2.4	0.5	0.7	0.0	0.2	0.0	0.1
Innsbruck-Universität	16.9	14.1	7.3	10.0	2.6	4.8	0.6	1.8	0.2	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0
Innsbruck-Flughafen	11.2	9.1	4.4	4.9	1.3	1.7	0.3	0.5	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0

Die Zunahme von 6 Tagen/Jahr an der Station Wien-Hohe Warte (von 9,9 auf 19,3 Tage/Jahr) ist wie an den anderen Stationen Folge der allgemein steigenden Tendenz. Im Vergleich zur Klimanormalperiode treten in jüngster Zeit schon deutlich mehr Nächte mit hohen Temperaturen auf. Diese führen zu einer Verschlechterung der Bedingungen, wie sie für die physiologische Entlastung während der Nacht notwendig wären. Unter dem Gesundheitsaspekt gesehen sind die Folgen daraus als schwerwiegender einzuschätzen, wie an einer Station mit immer noch wenigen (wenn auch schon deutlich häufigeren) warmen Nächten.

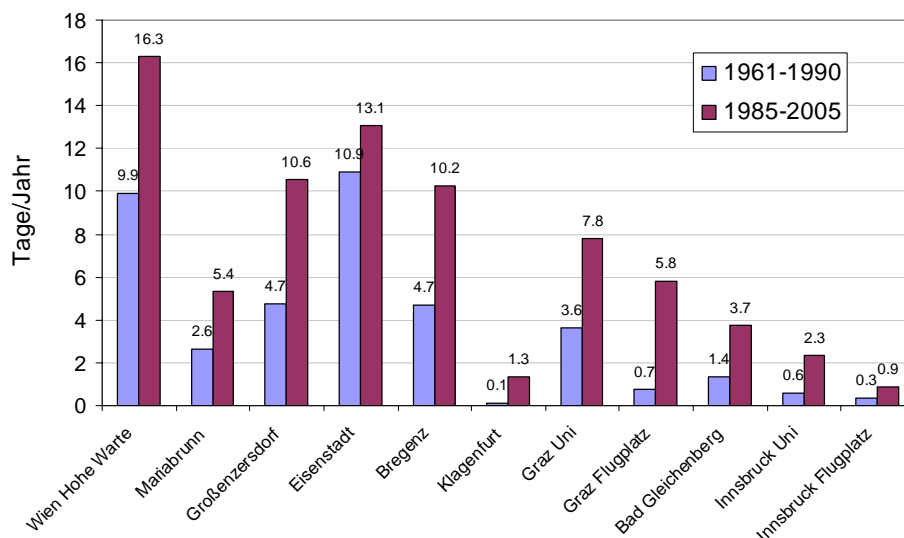
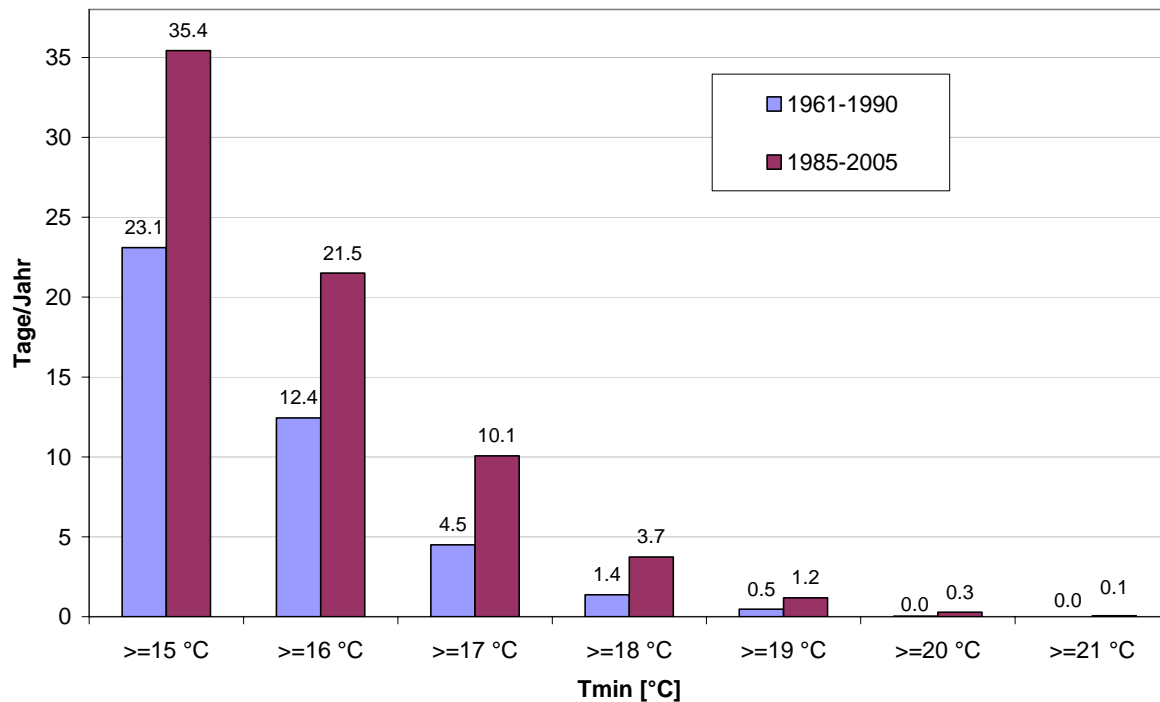


Abb. A1b-7: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb von 18 °C. Vergleich der Perioden 1961-1990 und 1985-2005.

Die bereits diskutierten Steigerungen in der Eintrittshäufigkeit von nächtlichen Minimumtemperaturen sind in Abb. A1b-8: für Bad Gleichenberg abgebildet. Die absolute Zunahme gerade im höheren Temperaturbereich lässt darauf schließen, dass unter dem angenommenen Klimawandel diese Entwicklung fortschreiten wird. Weiters ist zu erwarten, dass künftig auch jene Gebiete, die bislang von hohen nächtlichen Temperaturen verschont sind, zunehmend mit solchen warmen Nächten rechnen müssen, sodass auch in nicht urbanen Gebieten mit einer gesteigerten Gesundheitsbelastung aufgrund der schlechteren Erholung während der Nacht gerechnet werden muss.



	>=15 °C	>=16 °C	>=17 °C	>=18 °C	>=19 °C	>=20 °C	>=21 °C
Zunahme (Anzahl der Tage/Jahr)	12.3	9.1	5.6	2.4	0.7	0.3	0.1

Abb. A1b-8: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für Tmin, Station Bad Gleichenberg. Vergleich der Perioden 1961-1990 und 1985-2005 und absolute Zunahme der Anzahl der Tage pro Jahr in diesem Zeitraum.

A1b-2.2 Betrachtung der Häufigkeiten nach verschiedenen 10-Jahres-Perioden

Anders als zuvor, wo die gemittelten Eintrittshäufigkeiten während zweier Perioden (1961-1990 und 1985-2005) für unterschiedliche Stationen berechnet wurden, zeigt Abb. A1b-9: am Beispiel Wien-Hohe Warte die entsprechenden Eintrittshäufigkeiten bei der Betrachtung von einzelnen Jahrzehnten. In Abhängigkeit der Wahl des Startjahres für das Jahrzehnt fällt das Ergebnis leicht unterschiedlich aus. Im Fall 1 beginnt das Jahrzehnt wie gewohnt mit dem ersten Jahr (daher 1961-1970), im Fall 2 Mal wird die Reihe um 5 Jahre verschoben, d.h. das Jahrzehnt umfasst z.B. die Periode 1966-1975. Aus diesem Grund werden im ersten Fall 5 und im zweiten Fall 6 Jahrzehnte betrachtet. Die Unterschiede in den Resultaten sind doch überraschend, zumal im Fall 1 seit 1971 in allen Temperaturbereichen steigende Tendenz zu erkennen ist, während dies im Fall 2 erst 1986 eintritt. Zumindest ist der Verlauf qualitativ seit dieser Zeit ähnlich. Dies ist ein Hinweis darauf, dass bei der Interpretation der Ergebnisse auch die Wahl des Beobachtungszeitraumes (mit eventuell extremen Jahren innerhalb dieses Zeitfensters) berücksichtigt werden sollte, um nicht zu verfälschten Ergebnissen zu kommen.

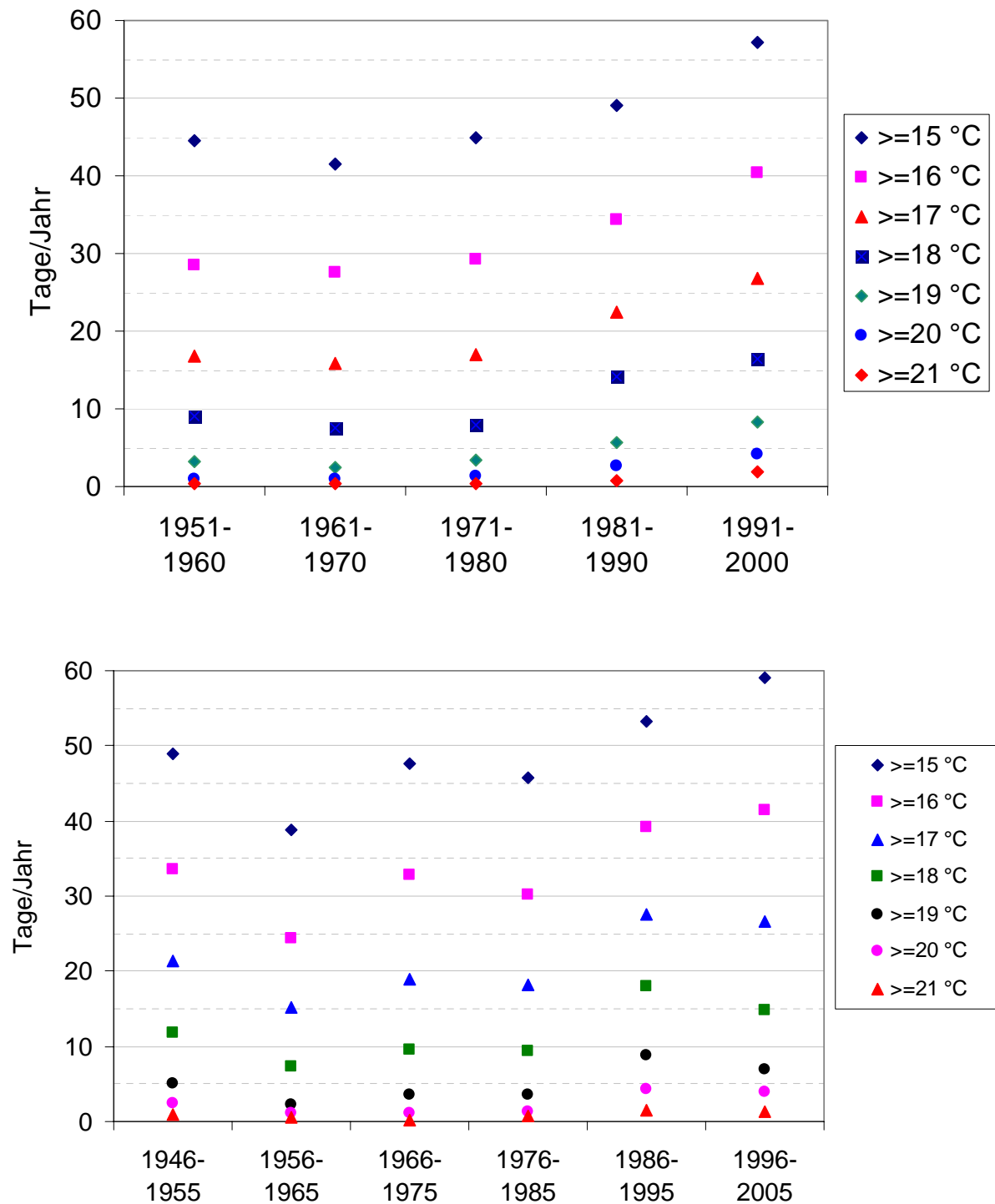


Abb. A1b-9: Betrachtung von 10-Jahres-Perioden, Eintrittshäufigkeiten der Minimumtemperatur bei gewählten Schwellwerten für die Station Wien-Hohe Warte.

A1b-2.3 Definition von „Warmen Nächten“

Die inhaltliche Verbindung zu Projekt A1a, in dem u.a. Auswirkungen von Hitzeepisoden auf die Sterblichkeit untersucht werden, ließ den Begriff „Warme Nacht“ entstehen. Eine „Warme Nacht“ bezeichnet die Abfolge eines heißen Tages ($T_{max} \geq 30^\circ$) vor und nach einer Nacht mit geringer Abkühlung ($T_{min} \geq 18$ °C). Damit wird der Versuch unternommen, im Gegensatz zu einem Einzelereignis - eine einzelne Nacht mit hoher Temperatur - eine Episode zu definieren, die in ihrer Auswirkung physiologisch belastender ist, länger andauert und aus

der Kombination mehrerer Einflussgrößen besteht: dies sind für den Tag die Temperatur $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$ (Hitzetag) und für die Nacht $T_{min} \geq 18 \text{ °C}$. Die Auswirkungen dieser physiologischen Belastung durch eine derartige „Warmen Nacht“ im Hinblick auf die Sterblichkeit werden in Kapitel A1b-3 dargestellt.

Tab. A1b-5: stellt die bereits vorhin untersuchten Perioden, die Klimanormalperiode und die Periode 1985-2005 gegenüber und gibt die Häufigkeiten der Minimumtemperaturen bzw. von definierten Episoden an. Zusätzlich zur oben erwähnten „Warmen Nacht“ wurde eine Episode definiert, die ein nächtliches $T_{min} \geq 18 \text{ °C}$ und ein darauf folgendes $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$ aufweist, also aus der Abfolge Nacht–Tag mit jeweils recht hohen Temperaturen besteht. Die Eintrittshäufigkeiten von Minimumtemperaturen bei oder über einem bestimmten Schwellwert (hier $T_{min} \geq 18 \text{ °C}$) sind bereits bekannt, jene der definierten Episoden zeigen genauso wie die Einzelwerte eine markante Steigerung ihres Auftretens. Die „Warme Nacht“ kommt grundsätzlich eher selten vor, da auch die Kombination „Hitzetag-warme Nacht-Hitzetag“ ein selteneres Ereignis ist als die jeweiligen Einzelereignisse. Der höchste Wert für die „Warme Nacht“ liegt während der KNP an der Station Eisenstadt mit 3,5 Mal pro Jahr, in der Periode 1985-2005 steigt dieser Wert auf 5,4 Mal pro Jahr an. An der Station Wien-Hohe Warte ist die Häufigkeit von 2,7 während der Klimanormalperiode etwas geringer als in Eisenstadt, im Gegensatz dazu kommt die „Warme Nacht“ an der Station Wien-Hohe Warte in der Periode 1985-2005 mit 6,4 Mal häufiger vor als in Eisenstadt mit 5,4 Mal pro Jahr.

Tab. A1b-5: Übersicht über die Eintrittswahrscheinlichkeit verschiedener Abfolgen von T_{max} und T_{min} während der Klimanormalperiode und in der Periode 1985-2005. Angaben in Tagen/Jahr.

	Klimanormalperiode 1961-1990			Periode 1985-2005		
	$T_{min} \geq 18 \text{ °C}$	$T_{min} \geq 18 \text{ °C}$ und $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$	$T_{max} \geq 30 \text{ °C}$ und $T_{min} \geq 18 \text{ °C}$ und $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$	$T_{min} \geq 18 \text{ °C}$	$T_{min} \geq 18 \text{ °C}$ und $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$	$T_{max} \geq 30 \text{ °C}$ und $T_{min} \geq 18 \text{ °C}$ und $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$
Wien Innere Stadt	-	-	-	37,3	16,8	12,0
Wien Hohe Warte	9,9	3,8	2,7	16,3	8,0	6,4
Mariabrunn	2,6	0,8	0,6	4,0	2,0	1,6
Großenzersdorf	4,7	1,9	1,5	10,6	5,0	4,2
Eisenstadt	10,9	4,9	3,5	13,1	6,6	5,4
Bregenz	4,7	1,0	0,6	10,2	2,4	1,2
Klagenfurt	0,1	0,0	0,0	1,3	0,7	0,6
Graz Uni	3,6	1,1	0,4	7,8	4,0	3,3
Graz Flugplatz	0,7	0,1	0,0	5,8	2,8	2,2
Bad Gleichenberg	1,3	0,4	0,3	3,1	1,2	1,1
Bad Radkersburg	-	-	-	5,8	2,7	2,2
Innsbruck Uni	0,6	0,2	0,2	2,3	1,1	1,1
Innsbruck Flugplatz	0,3	0,1	0,1	0,9	0,2	0,2

Erwartungsgemäß weist die Station Wien-Innere Stadt bei allen gewählten Kriterien die größte Häufigkeit auf. Sowohl bei der Eintrittshäufigkeit von Minimumtemperaturen bei den verschiedenen gewählten Schwellwerten als auch bei den definierten Episoden, bei denen warme Nächte von heißen Tagen begleitet werden, liegt die Station Wien-Innere Stadt an erster Stelle. Die deutlichen Unterschiede in den Häufigkeiten haben ihre Ursache im Stadteffekt. Gerade in Großstädten haben hohe nächtliche Temperaturen einen wesentlichen Einfluss auf die physiologische Belastung des Menschen, die aufgrund der sehr markanten Zunahme der Häufigkeiten in der jüngeren Vergangenheit folglich zu erhöhtem thermischen Stress führt.

A1b-2.4 Städtische Wärmeinsel

Die städtische Wärmeinsel bezeichnet eine sich vom kühleren Umland abhebende, meist inselartig auftretende, urbane Überwärmung. In mitteleuropäischen Städten bilden sich städtische Wärmeinseln hauptsächlich bei ruhigem, sommerlichem Strahlungswetter in der Nacht. Die größten Intensitäten treten in der zweiten Nachthälfte der Sommermonate auf. Im Vergleich zur Nacht ergeben sich zur Mittagszeit während aller Monate des Jahres keine oder nur schwach positive Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland (Kuttler 2005). Ein Vergleich der Stationen Wien-Hohe Warte und Wien-Innere Stadt zeigt für den August 2003 geringe Unterschiede bei den Temperaturmaxima, deutlichere bei den (nächtlichen) Minima (Abb. A1b-10:).

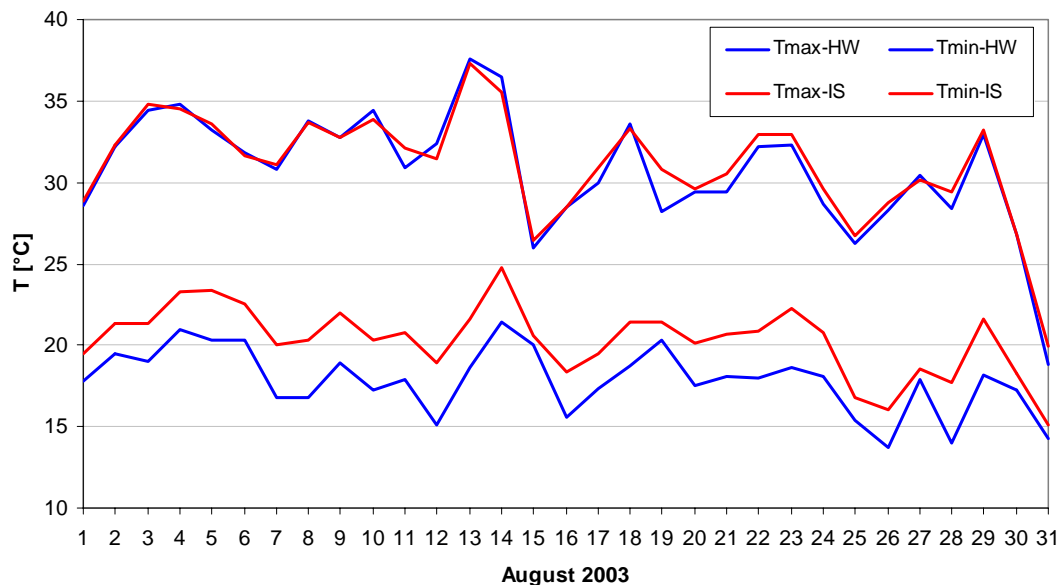


Abb. A1b-10: Beobachtetes Minimum und Maximum der Lufttemperatur an den Stationen Wien-Hohe Warte (HW, Stadtrand) und Wien-Innere Stadt (IS, urban geprägt).

Die städtische Überwärmung wird durch meteorologische Faktoren, durch die geografische Lage und durch die auf die Stadt bezogenen Größen (wie Topographie, Baukörperstruktur, Flächennutzung, Grün- und Wasserflächen, Einwohnerzahl,...) bestimmt. In Tal- und Beckenlagen treten infolge der nächtlichen Inversionsbildung durch Kaltluftabfluss von den Hängen hohe nächtliche Temperaturen weniger häufig auf als im östlichen Flachland. Die geringere nächtliche Abkühlung in Städten ist unabhängig vom Ausmaß der nächtlichen Abkühlung aus den aktuellen Klimadaten gut erkennbar. Die urbane Station Wien-Innere Stadt zeigt im Vergleich mit einer außerhalb des urbanen Einflussbereichs liegenden Station deutlich mehr Tage bei allen Schwellwerten für die Minimumtemperatur (Abb. A1b-11:). Darin spiegelt sich die grundsätzliche Charakteristik eines urbanen Gebietes mit dichter Verbauung, großflächiger Versiegelung und weniger Vegetation wieder, in dem die zahllosen, tagsüber erhitzten Flächen auch nachts intensiv Wärme abstrahlen und so die strahlungsbedingte Abkühlung stark reduzieren (vgl. Helbig et al 1999, Fezer 1995).

Dieser Stadteffekt zeigt sich in Wien sehr deutlich. Hier liegt die Häufigkeit von $T_{min} \geq 15^\circ\text{C}$ bei 55,5 Tagen /Jahr (Hohe Warte) und 85,8 Tagen/Jahr (Innere Stadt), einer Differenz von 30,3 Tagen/Jahr. Die absolute Differenz von Tagen (Wien Innere Stadt zu Wien Hohe Warte) sinkt mit steigendem Schwellwert, da auch die Häufigkeit solcher Temperaturen sinkt, allerdings steigt das Verhältnis der Häufigkeiten der T_{min} -Werte zueinander. So kommt ein $T_{min} \geq 19^\circ\text{C}$ an der Station Wien Innere Stadt bereits drei Mal so häufig vor wie an der Station Hohe Warte (24,6 mal zu 7,7 Mal pro Jahr), was einen Unterschied von 16,9 Tagen im Jahr bedeutet.

Auch an der Station Innsbruck-Universität wird ein deutlicher Effekt der städtischen Wärmeinsel sichtbar. Er spiegelt sich in einer zumindest 50% höheren Häufigkeit von jeweiligen Minimumtemperaturen wieder: $T_{min} \geq 15 \text{ °C}$ bei Innsbruck-Flughafen weist 20,4 Tage und bei Innsbruck-Universität 31,0 Tage im Jahr in der Periode 1985-2005 auf.

Stadteffekt Wien Hohe Warte - Wien Innere Stadt, Periode 1985-2005

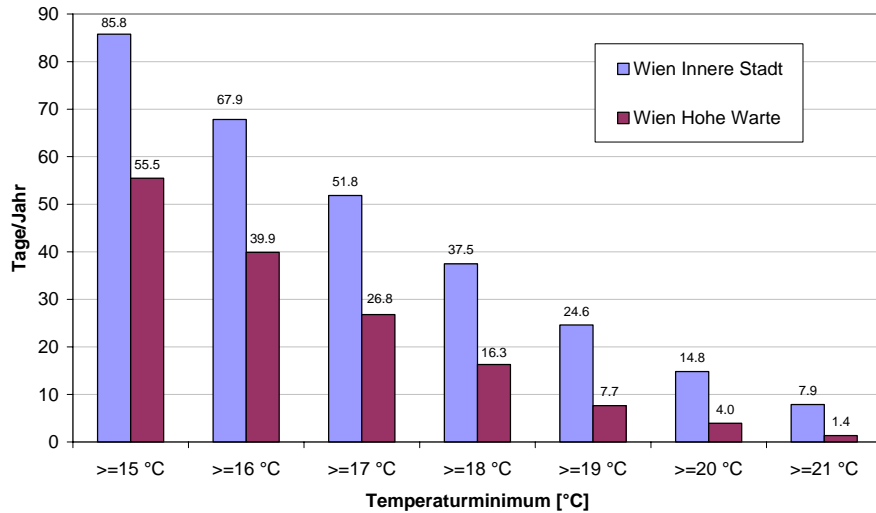


Abb. A1b-11: Stadteffekt: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte an den Stationen „Wien Hohe Warte“ und „Wien Innere Stadt“ während der Periode 1985-2005.

A1b-3 Nächtliches Temperaturminimum und tägliche Todesfälle

A1b-3.1 Einleitung

Dieses Kapitel steht in engem Zusammenhang mit dem Projekt A1a, in dem Einflüsse der Temperatur auf die Mortalität in Wien untersucht werden. Während Projekt A1a den Zusammenhang zwischen Mortalität und Hitze- bzw. Kyselytagen untersucht (siehe dort), wird hier die Frage nach dem Einfluss der Minimumtemperatur auf die Sterblichkeit gestellt. In weiterer Folge wird - ähnlich zu den Kysely-Episoden¹ mit hohen Temperaturmaxima - eine Periode mit hoher Minimumtemperatur definiert und ein Zusammenhang dieser Episode mit der Sterblichkeit modelliert. Diese Episoden heißen in weiterer Folge „Warme Nächte“, da sie durch ein hohes nächtliches Minimum ($\geq 18\text{ °C}$) zwischen zwei Hitzetagen ($\geq 30\text{ °C}$) charakterisiert sind. Die Wahl der Temperaturwerte erfolgte intuitiv, die Vorgabe von medizinischer Seite war, dass diese Episoden der „Warmen Nächte“ nicht allzu häufig, doch beinahe in jedem Jahr vorkommen. Die Zahlen der Sterbefälle beziehen sich jeweils auf die Gesamtmortalität in Wien im Zeitraum 1990 -2004.

A1b-3.2 Vergleich verschiedener Temperaturindices

Der Zusammenhang zwischen täglicher Sterblichkeit und Temperatur ist U-förmig. Um das Risiko steigender Temperaturen in einem einfachen (linearen) Modell abschätzen zu können, wurden nur warme Tage betrachtet. Untersucht wurden einerseits alle Tage mit einer Minimaltemperatur $\geq 15\text{ °C}$ (866 Tage in den Jahren 1990-2004), andererseits alle Tage mit einer Maximumtemperatur $\geq 25\text{ °C}$ (988 Tage), nachdem zuvor mittels Modellierung mit Splines gezeigt wurde, dass der Zusammenhang oberhalb dieser Werte angenähert linear verläuft (linearer Effekt des Temperaturanstieges).

Die Berechnung erfolgte mittels GAM, wobei der verbleibende saisonale sowie der langjährige Trend als Spline (mit 14 bzw. 11 Freiheitsgraden) modelliert und zusätzlich der Wochentag berücksichtigt wurde. Die nach der Minimaltemperatur ausgewählten Tage sind natürlich am besten geeignet, den linearen Effekt der Minimaltemperatur zu untersuchen, während in diesen Tagen auch einige mit relativ niedrigen Maximumtemperaturen (unterhalb des Wendepunktes des „U“) vorkommen mögen, was zur Unterschätzung der Risikozunahme im aufsteigenden Schenkel des „U“ führt. Das gleiche gilt noch ausgeprägter, aber spiegelbildlich, für die andere Auswahl, die mehr Tage enthält und somit mit Sicherheit auch solche mit Minimaltemperaturen unter 15 °C . Unabhängig von der Methode zur Auswahl warmer Tage scheint die Morgentemperatur den stärksten Einfluss auf die Zunahme der Sterbefälle zu haben. Den insgesamt stärksten Effekt zeigt die minimale Temperatur bei der Auswahl nach der Minimaltemperatur (Zunahme der täglichen Sterbefälle pro °C um 3,62%, 95% Konfidenzintervall = 2,94 – 4,3).

Die Zunahme der Sterbefälle pro 1 °C Temperaturzunahme für unterschiedliche Temperaturindices ergibt bei der Untersuchung von Tagen mit $T_{\min} \geq 15\text{ °C}$ die größte Zunahme für T_{\min} , gefolgt von T_{7h} (3,6% bzw. 2,9%, Abb. A1b-9). Betrachtet man hingegen nur Tage mit einer Maximumtemperatur $T_{\max} \geq 25\text{ °C}$, so haben T_{\max} und T_{7h} einen ähnlichen Effekt (2,1% bzw. 2,0%), gefolgt von T_{\min} mit 1,8%.

¹ Definition einer Hitzeepisode nach Kysely (2004): An mindestens 3 Tagen in Folge wird die Maximumtemperatur von 30 °C überschritten und die Episode hält so lange an, als die mittlere Maximumtemperatur über die gesamte Periode über 30 °C bleibt und an keinem Tag eine Maximumtemperatur von 25 °C unterschritten wird.

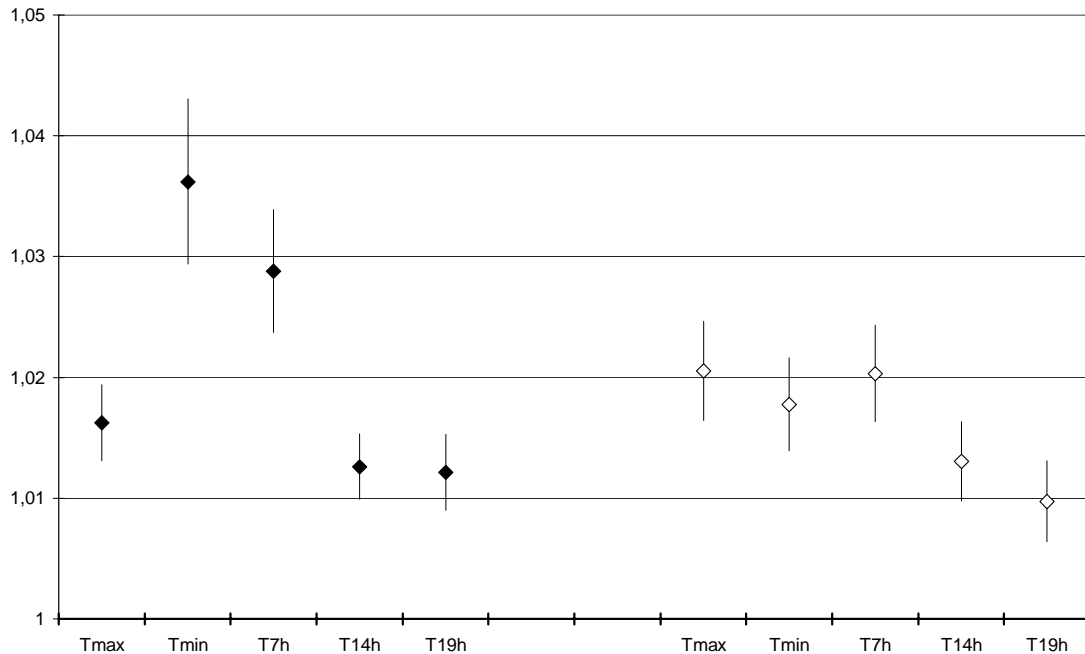


Abb. A1b-12: Zunahme der Sterbefälle pro 1°C Temperaturzunahme (verschiedene Temperaturindizes) für alle Tage mit einer Minimaltemperatur über 15°C (volle Rauten, links) und mit einer Maximumtemperatur über 25°C (leere Rauten, rechts).

A1b-3.3 „Warme Nacht“

Mit dem Begriff der „Warmen Nacht“ (siehe A1b-2.3) wird der Versuch unternommen, analog zu den Kysely-Episoden eine Periode zu definieren, die die nächtliche Minimumtemperatur berücksichtigt. Es soll damit gezeigt werden, dass bei Fragestellungen zu Auswirkungen der Temperatur auf die Sterblichkeit die Minimumtemperatur nicht vernachlässigt werden darf.

Folgt nach einer Nacht mit hoher Minimumtemperatur ein Tag mit gedämpften Maximumtemperaturen (z.B. nach einem Frontdurchgang), so kann der geringere Erholungswert des nächtlichen Schlafes zum Teil wieder kompensiert werden bzw. stellt die niedrigere Tages-temperatur eher eine Entlastung dar. Mit der Kombination von Minimum- und Maximumtemperatur bzw. der Abfolge Tmax-Tmin-Tmax oberhalb gewisser Schwellenwerte wird eine Episode definiert, die nicht zu häufig, aber auch nicht zu selten vorkommen (vgl. Tab A1b-5), die aber auf jeden Fall eine erhebliche Belastung in physiologischer Hinsicht darstellt: demnach wird die Abfolge Hitzetag ($T_{max} \geq 30^\circ\text{C}$) – warme Nacht ($T_{min} \geq 18^\circ\text{C}$) – Hitzetag als „Warme Nacht“ definiert und die Auswirkung ihres Auftretens auf die Sterblichkeit in Wien modelliert.

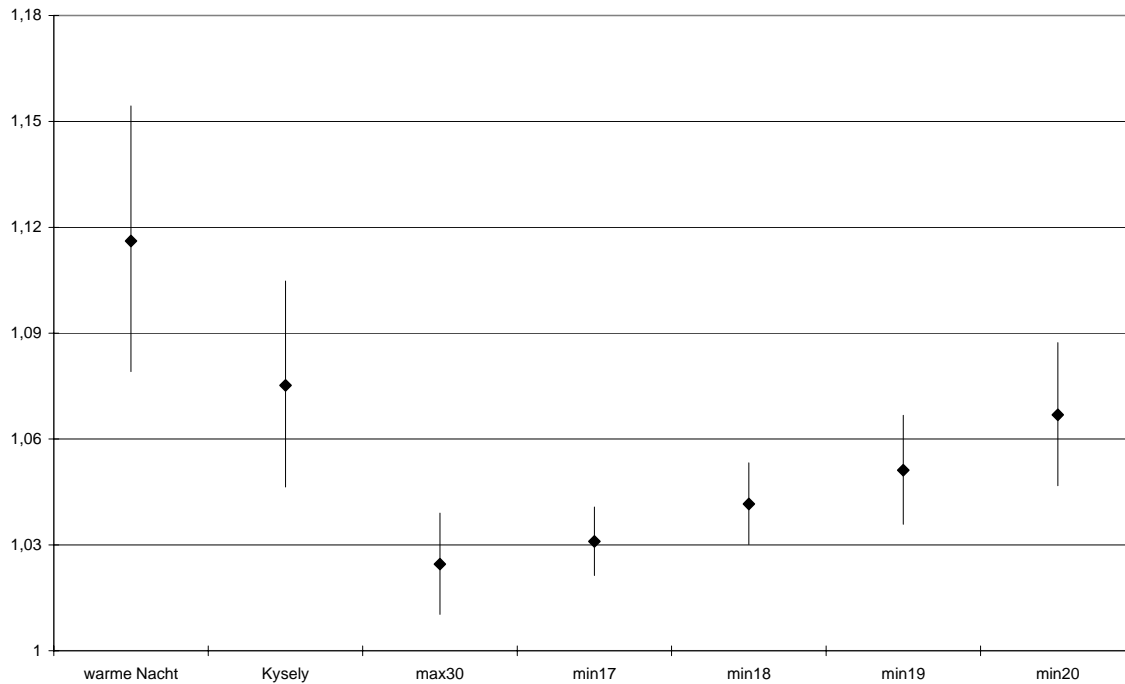


Abb. A1b-13: Zunahme der Sterbezahlen (relatives Risiko) in Abhängigkeit der gewählten Parameter bzw. der definierten Perioden, bezogen auf die Periode 1990-2004, Wien, Gesamtsterblichkeit.

Untersucht man die täglichen Sterbezahlen in Wien für verschiedene Hitze- bzw. Belastungsindikatoren, so ergeben sich deutliche Unterschiede (Abb. A1b-13:). Von den gewählten Indikatoren ist das Kriterium, dass die Maximumtemperatur über 30°C liegt, das schwächste. Betrachtet man nur die nächtlichen Minimaltemperaturen, so ergibt sich eine steigende Zahl von Sterbefällen mit Zunahme der nächtlichen Minimumtemperaturen. In Hitzeperioden - hier nach der Definition nach Kysely - ist die Risikozunahme höher als an einzelnen Hitzetagen. Das relative Risiko ist noch höher, wenn in die Definition der Hitzeperiode auch eine hohe Minimumtemperatur eingeht, wie am Beispiel der „Warmen Nächte“ gezeigt wird.

Eine Zunahme der täglichen Todesfälle um beinahe 12 Prozent ergibt für Wien (mit durchschnittlich ca. 45 täglichen Todesfällen im Sommer) eine Übersterblichkeit von etwa 5 zusätzlichen Todesfällen pro Tag. Die Berücksichtigung der nächtlichen Abkühlung in der Definition einer Hitzeperiode würde die Aussagekraft der statistischen Modelle (siehe A1a) verbessern und damit die Schätzgenauigkeit der zusätzlichen Sterbefälle als Folge von Hitzeperioden.

„Warme Nächte“ weisen eine stärkere Zunahme der Sterbezahlen auf als Kysely-Tage. Der Effekt ist an einzelnen Tagen, die einen bestimmten Cut-off (bei den Minimal- oder der Maximumtemperatur) überschreiten, geringer ausgeprägt. Je höher der Cut-off angesetzt wird, desto kräftiger ist der Effekt, wobei das Konfidenzintervall größer wird, weil immer weniger Tage dem Kriterium entsprechen.

Die o.g. Definition für „Warme Nacht“ stellt lediglich einen Versuch dar, den Effekt einer Episode mit hoher Nachttemperatur auf die Sterblichkeit zu modellieren. Deswegen wurden weitere, etwas abgeänderte Varianten herangezogen, die grundsätzlich sowohl Tmax als auch Tmin berücksichtigen, allerdings mit verschiedenen hohen Schwellwerten für Tmax, um den großen Einfluss der Maximumtemperatur etwas abzuschwächen, und auch verschiedenen langer Dauer der Episoden.

Dies waren:

- Tmax-Tmin-Tmax-Tmin,
die Abfolge Tag-Nacht-Tag-Nacht, wobei $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$ und $T_{min} \geq 18 \text{ °C}$ und
- Tmin-Tmax-Tmin,
die Abfolge Nacht-Tag-Nacht, wobei $T_{min} \geq 18 \text{ °C}$ und $T_{max} \geq 25 \text{ °C}$.

Von den 3 untersuchten Varianten zeigt die Definition der „Warmen Nächte“ die höchsten Risikozunahmen.

A1b-4 Szenarien

Matulla et al. (2004) geben einen kurzen Überblick über die in diesem Projekt angewandten Szenarien: globale Zirkulationsmodelle (GCMs) sind ein wichtiges Instrument, um mögliche Auswirkungen menschlichen Handelns, vor allem die Veränderung der Atmosphärenzusammensetzung auf das Klimasystem, realitätsnah zu beurteilen. Diese Modelle schätzen das künftige Klima und sollten räumlich, auf der Basis von Kontinenten, und zeitlich, für Perioden von einigen Jahrzehnten, interpretiert werden. Risikoanalysen, die die Auswirkungen eines möglichen globalen Klimawandels auf die regionale Skala beurteilen, benötigen lokalskalige Klimaänderungsszenarien. Daher ist es notwendig, die grob aufgelösten Ergebnisse der GCMs auf die für die Klimafolgenforschung relevante lokale Skala zu transformieren. Verfahren, die das gewährleisten, werden unter dem Begriff 'Downscaling' zusammengefasst.

Empirisches/statistisches Downscaling bedient sich vorhandener Datenreihen auf der GCM-Skala und der Skala, die aufgelöst werden soll. Mit statistischen Methoden wird zwischen ihnen ein deterministischer oder stochastischer Zusammenhang abgeleitet. Dieser aus den Beobachtungsdaten abgeleitete Zusammenhang ermöglicht es, in Abhängigkeit vom großskaligen Zustand den lokalskaligen Zustand abzuschätzen.

In dieser Arbeit wird ein empirisches Downscaling-Verfahren, die Analog-Methode, verwendet, um aus großräumigen Klimaszenariosimulationen, die mit dem ECHAM4/OPYC3 GCM (Roeckner et al. 1996) am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) berechnet worden sind, lokalskalige Szenarien auf Tagesbasis für Österreich abzuleiten. Weitere Details siehe Matulla et al. (2004).

A1b-4.1 Ergebnisse

Was bereits bei der Untersuchung der historischen Daten gezeigt werden konnte, setzt sich in den Szenarien fort: ein Trend hin zu einer Steigerung der Anzahl von Tagen/Jahr mit moderaten und hohen Minimumtemperaturen.

Die historische Entwicklung der Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte an der Station Graz-Universität für die Perioden 1961-1990 und 1985-2005 sowie die aufgrund von Analogszenerarien zu erwartende Entwicklung für die Perioden 1989-2018 und 2019-2048 zeigt Abb. A1b-14: (linke Abbildung). Bei einer Minimumtemperatur von ≥ 18 °C ist in der Periode 1989-2018 mit einer Häufigkeit von 12,3 Tagen/Jahr und mit 22,9 Tagen/Jahr in der Periode 2019-2048 zu rechnen, was einer Steigerung von 4,5 bzw. 15,1 Tagen/Jahr entspricht. In der Klimanormalperiode gab es hier 3,6 Tage/Jahr und in der Periode 1985-2005 7,8 Tage/Jahr mit dieser Minimumtemperatur oder höher auf.

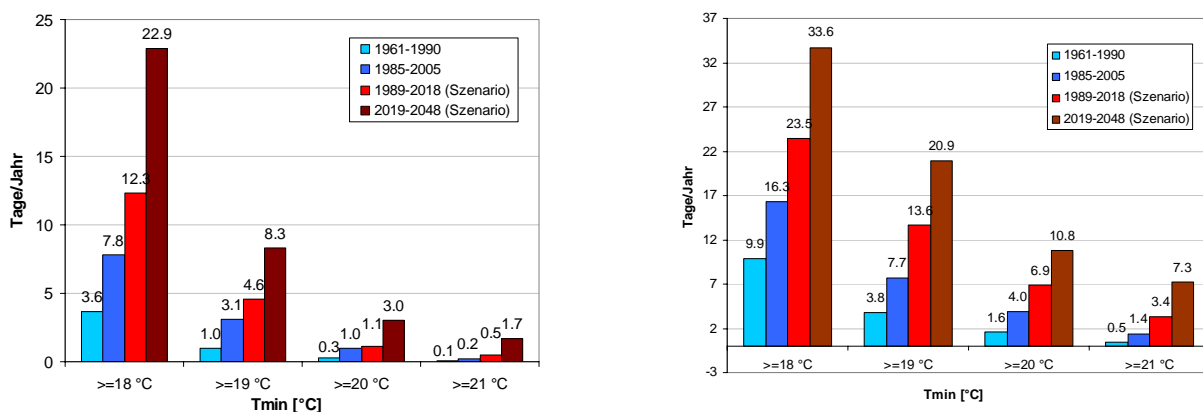


Abb. A1b-14: Historische Beobachtungen und Szenarien für die Perioden 1989-2018 und 2019-2048 für die Station Graz-Universität (links) und Wien-Hohe Warte (rechts).

Eine ähnliche Entwicklung zeigen die Szenarien auch für alle anderen untersuchten Stationen. Als weiteres Beispiel sei Wien-Hohe Warte angeführt (Abb. A1b-14.; rechte Abbildung), wo sich besonders in den höheren Bereichen von Tmin Änderungen abzeichnen. Grundsätzlich lassen die Szenarien eine höhere Häufigkeit auch bei anderen Tmin erwarten; es sind die höheren Tmin Werte, die im Verhältnis zu ihrem bisherigen Auftreten deutlich zunehmen. Für Wien Hohe Warte lässt die Periode 2019-2048 demnach – etwas überspitzt ausgedrückt – annähernd ähnliche Verhältnisse erwarten, wie sie sich heute in der Inneren Stadt zeigen.

Zuletzt wurde mit Hilfe der Szenarien auch die mögliche Entwicklung der „Warmen Nächte“ betrachtet. Wie erwartet, setzt sich die Entwicklung, die bereits in den historischen Datenreihen zu bemerken war, auch hier fort. Durch eine Zunahme der „Warmen Nächte“ ist mit steigenden gesundheitlichen Belastungen zu rechnen. Häufigeres Auftreten von „Warmen Nächten“ lässt gerade in jenen Regionen und Gebieten, die derzeit schon durch thermische Belastung geprägt sind, eine weitere Verschlechterung und in der Folge auch eine Zunahme von Sterbefällen erwarten. Aufgrund der Ergebnisse von Szenarien könnten die künftige Entwicklungen folgendermaßen aussehen: die Häufigkeit von „Warmen Nächten“ an der Station Wien-Hohe Warte könnte von 6,4 (Periode 1985-2005) auf 8,3 in der Szenario-Periode 1989-2018 ansteigen, was immerhin einer Zunahme von etwa 2 „Warmen Nächten“ pro Jahr entspricht (Tab. A1b-6:). Noch deutlicher fällt unter diesem Szenario die Steigerung in der Periode 2019-2048 aus: 13,2 „Warme Nächte“ pro Jahr bedeuten eine Zunahme um mehr als 6 „Warme Nächte“ im Vergleich zur Periode 1985-2005.

Tab. A1b-6: Historische Beobachtungen und Szenarien für die Perioden 1989-2018 und 2019-2048 für die Station Graz-Universität (links) und Wien-Hohe Warte (rechts).

Graz Universität	>=18	>=19	>=20	>=21	"Warme Nacht"
1961-1990	3.6	1.0	0.3	0.1	0.4
1985-2005	7.8	3.1	1.0	0.2	3.3
1989-2018 (Szenario)	12.3	4.6	1.1	0.5	4.0
2019-2048 (Szenario)	22.9	8.3	3.0	1.7	7.3

Wien Hohe Warte	>=18	>=19	>=20	>=21	"Warme Nacht"
1961-1990	9.9	3.8	1.6	0.5	2.7
1985-2005	16.3	7.7	4.0	1.4	6.4
1989-2018 (Szenario)	23.5	13.6	6.9	3.4	8.3
2019-2048 (Szenario)	33.6	20.9	10.8	7.3	13.2

Bad Gleichenberg	>=18	>=19	>=20	>=21	"Warme Nacht"
1961-1990	1.4	0.5	0.0	0.0	0.3
1985-2005	3.7	1.2	0.3	0.1	1.1
1989-2018 (Szenario)	6.7	2.0	0.2	0.0	1.8
2019-2048 (Szenario)	11.3	4.3	0.0	0.0	3.4

A1b-5 Zusammenfassung

Die klassischen Klimakarten Österreichs für die Monatsmittel der Temperatur während des Sommers spiegeln weitgehend die topographische Struktur Österreichs mit niedrigeren Temperaturen im Gebirge und den höchsten im flachen, pannonischen Osten wieder. Hitzetage, das sind Tage mit Maximumtemperaturen über 30°C, weisen eine leicht geänderte Verteilung auf: die größte Häufigkeit erreichen sie zwar ebenfalls im Nordosten Österreichs, kleinräumigere Bereiche hoher Häufigkeiten treten jedoch auch in den südlichen Beckenlagen und im Inntal auf. Komplexere Ansätze untersuchen die thermische Belastung für den Menschen, die zusätzlich zur Temperatur von Wind und Feuchte abhängt. Dabei zeigt sich hohe thermische Belastung (ACTIVE 2004) vor allem im Südosten Österreichs (Steiermark), sowie in geringerem Ausmaß im Osten, im Bereich des Neusiedlersees, in südlichen Beckenlagen (Klagenfurter Becken) und im Rhein- und Teilen des Inntals.

Die hohen Temperaturen im Norden und Nordosten werden durch den dort stärkeren Wind als „kühler“ empfunden. Im Südosten oder Süden führen hingegen schwächerer Wind und höhere Luftfeuchtigkeit zu höherer thermischer Belastung.

Die nächtliche Abkühlung wird in diesen Darstellungen nur unzureichend berücksichtigt, obwohl sie für die physiologische Entlastung des Menschen wesentlich ist. Es ist bekannt, dass die geringere Abkühlung bei Nacht gerade in großen Städten (Stadteffekt, Wärmeinsel) ein wichtiger, das Wohlbefinden beeinträchtigender Faktor sein kann. Weiters ist aus der Literatur bekannt, dass im Zuge des Klimawandels mancherorts ein deutlich rascherer Anstieg der nächtlichen Temperaturen stattfindet als der Temperaturen während des Tages (IPCC 2001).

Die Frage der nächtlichen Abkühlung und ihrer zeitlichen Entwicklung ist daher von Bedeutung für die thermische Belastung in Österreich. Im Folgenden wird als Maß für die nächtliche Abkühlung das nächtliche Temperaturminimum heran gezogen und die Häufigkeitsverteilung der Minimumtemperaturen bisher und in einem künftigen Klima in den jeweils ausgewiesenen Belastungsgebieten untersucht.

Untersuchung historischer Daten (1961-2005)

Ein Vergleich der Zeitperioden 1961-1990 (Klimanormalperiode) und 1985-2005 ergibt an allen untersuchten Stationen eine deutliche Verschiebung der Häufigkeitsverteilung der Schwellwerte der Minimumtemperatur hin zu höheren Temperaturen. Die Zahl der Tage pro Jahr mit Minimumtemperaturen von 18°C oder mehr ($T_{min} \geq 18 \text{ °C}$) hat sich in dieser Zeit mindestens verdoppelt, mit Ausnahme der Stationen Wien-Hohe Warte und Eisenstadt. Auch bei der Wahl anderer Schwellwerte für T_{min} zeigt der Vergleich ähnlich markante Steigerungen in der Häufigkeit (Tab. A1b-2:).

Zudem kommt es an einigen Stationen, wie z. B. in Bad Gleichenberg, in der Periode 1985-2005 bereits zu extrem hohen nächtlichen Minimumtemperaturen von $\geq 21 \text{ °C}$, die während der Klimanormalperiode nie auftraten.

Stadteffekt

Eine urbane Station zeigt im Vergleich mit einer außerhalb des urbanen Einflussbereichs liegenden Station deutlich mehr Tage bei allen Schwellwerten für die Minimumtemperatur. Darin spiegelt sich die grundsätzliche Charakteristik eines urbanen Gebietes mit dichterem Verbauung, Versiegelung und weniger Vegetation wieder, in dem die zahllosen, tagsüber erhitzten Flächen auch nachts intensiv Wärme abstrahlen und so die strahlungsbedingte Abkühlung stark reduzieren. Dieser Stadteffekt zeigt sich sehr deutlich in Wien und Innsbruck. In Wien liegt die Häufigkeit von $T_{min} \geq 15 \text{ °C}$ bei 55,5 Tagen /Jahr (Hohe Warte) und 85,8 Tagen/Jahr (Innere Stadt), einer Differenz von 30,3 Tagen/Jahr. Die absolute Differenz von Tagen (Wien Innere Stadt zu Wien Hohe Warte) sinkt natürlich mit steigendem Schwellwert, da auch die Häufigkeit solcher T_{min} Werte sinkt, allerdings steigt das Verhältnis der T_{min} -Werte zueinander. So kommt $T_{min} \geq 19 \text{ °C}$ an der Station Wien Innere Stadt bereits

drei Mal so häufig vor wie an der Station Hohe Warte (24,6 mal zu 7,7 Mal pro Jahr), was einen Unterschied von 16,9 Tagen im Jahr bedeutet. Auch an der Station Innsbruck-Universität wirkt sich der Stadteffekt durch eine mindestens 50 % höhere Anzahl von jeweiligen T_{min}-Schwellwerten aus (T_{min} \geq 15 °C bei Innsbruck-Flughafen 20,4 Tage und bei Innsbruck-Universität 31,0 Tage im Jahr in der Periode 1985-2005).

Einfluss der Minimumtemperatur auf die Sterblichkeit

Untersucht man die täglichen Sterbezahlen in Wien für verschiedene Hitze- bzw. Belastungsindikatoren, so ergeben sich deutliche Unterschiede. Von den gewählten Indikatoren ist das Kriterium, dass die Maximumtemperatur über 30°C liegt, das schwächste. Betrachtet man nur die nächtlichen Minimaltemperaturen, so ergibt sich eine steigende Zahl von Sterbefällen mit Zunahme der nächtlichen Minimumtemperaturen. In Hitzeperioden - hier nach der Definition nach Kysely - ist die Risikozunahme höher als an einzelnen Hitzetagen. Das relative Risiko ist noch höher, wenn in die Definition der Hitzeperiode auch eine hohe Minimumtemperatur eingeht, wie am Beispiel der „warmen Nächte“ gezeigt wird. „Warme Nacht“ bezeichnet die Abfolge eines heißen Tages (T_{max} \geq 30°) vor und nach einer Nacht mit geringer Abkühlung (T_{min} \geq 18 °C). Eine Zunahme der täglichen Todesfälle um beinahe 12 Prozent ergibt für Wien (mit durchschnittlich ca. 45 täglichen Todesfällen im Sommer) eine Übersterblichkeit von etwa 5 zusätzlichen Todesfällen pro Tag. Die Berücksichtigung der nächtlichen Abkühlung in der Definition einer Hitzeperiode würde die Aussagekraft der statistischen Modelle (siehe A1a) verbessern und damit die Schätzgenauigkeit der zusätzlichen Sterbefälle als Folge von Hitzeperioden.

Analog szenarien

Was bereits bei der Untersuchung der historischen Daten gezeigt werden konnte, setzt sich in den Szenarien fort: ein Trend hin zu einer Steigerung der Anzahl von Tagen/Jahr mit moderaten und hohen T_{min}-Schwellwerten. Nächte mit hohen Minimumwerten der Temperatur werden merkbar häufiger, und hier sind es auch die höheren T_{min} Werte, die im Verhältnis zu ihrem bisherigen Auftreten deutlich zunehmen. So ist beispielsweise an der Station Graz Universität bei einem Schwellwert von T_{min} \geq 18 °C mit einer Häufigkeit von 12,3 Tagen/Jahr in der Periode 1989-2018 und mit 22,9 Tagen/Jahr in der Periode 2019-2048 zu rechnen, was einer Steigerung von 4,5 bzw. 15,1 Tagen/Jahr entspricht.

Die Zunahme der „warmen Nächte“ lässt eine Steigerung der Todesfälle durch häufigere warme Nächte erwarten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass deutliche Steigerungen in der Häufigkeit des Auftretens von nächtlichen Temperaturminima oberhalb gewisser Schwellwerte in den letzten Jahrzehnten beobachtet wurden. Die regionalisierten Klimaszenarien lassen künftig eine weitere Erhöhung der Anzahl warmer Nächte in den derzeitigen Belastungsgebieten erwarten, wodurch die allgemeine Behaglichkeit beeinträchtigt und vor allem der Erholungswert des Schlafes gesenkt wird. Das erstmalige Überschreiten von seit 1961 nicht beobachteten Minimumtemperaturen bzw. künftig zunehmende Auftreten von sehr hohen nächtlichen Temperaturen wird darüber hinaus zu einer Ausdehnung der gegenwärtigen Belastungsgebiete führen.

A1b-6 Literaturverzeichnis

ACTIVE (2004). ACTIVE -Austrian Climate and Health Tourism Initiative. H. Nefzger, E. Rudel, S. Schunder-Tatzberet al, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Meteorologie, in Zusammenarbeit mit: ZAMG Wien, Abteilung Klimatologie; Universität Freiburg, Meteorologisches Institut; Universität Wien, Institut für Physiologie. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit.

Chmielewski, F.-M., P. Hupfer, et al. (2005). Witterung und Klima, B.G. Teubner Stuttgart Leipzig Wiesbaden.

Easterling, D. R., B. Horton, et al. (1997). "Maximum and minimum temperature trends for the globe." *Science* 277(5324): 364.

Fezer, F. (1995). Das Klima der Städte, Justus Perthes Verlag Gotha.

Formayer, H., P. Haas, et al. (2005). Untersuchungen regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich. Auftraggeber: BMLFUW, BMBWK, BMWA, Österreichische Hagelversicherung, Österreichische Nationalbank, Umweltbundesamt, Verbund AHP. In: StartClim2004.B: Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich.

Helbig, A., J. Baumüller, et al. (1999). Stadtklima und Luftreinhaltung, Springer.

Houghton, J. T., Y. Ding, et al. (2001). "Climate Change 2001. The scientific basis. Cambridge University Press. Cambridge."

Hulme, M., G. J. Jenkins, et al. (2002). "Climate change scenarios for the United Kingdom: the UKCIP02 scientific report."

Hupfer, P. and W. Kuttler (2005). Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie., Teubner, Stuttgart, Leipzig.

Hutter, H.-P., H. Moshhammer, et al. (2006). "Heatwaves in Vienna: Effects on mortality." Eingereicht bei Wiener Klinische Wochenschrift.

IPCC (2001). Climate Change 2001. Synthesis Report. Summary for Policymakers., IPCC.

IPCC (2001). "Climate Change 2001: The Scientific Basis." Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Jonson (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 881.

Kirch, W., B. Menne, et al. (2005). Extreme Weather Events and Public Health Responses, Springer, Berlin.

Klein Tank, A. M. G., J. B. Wijngaard, et al. (2002). "Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment." *International Journal of Climatology* 22(12): 1441.

Koppe, C., S. Kovats, et al. (2004). Heat-waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change. WHO.

Kovats, R. S. and G. Jendritzky (2006). "Heat-waves and human health. In: Menne B, Ebi KL (Hrsg.): Climate Change and adaptation strategies for human health." Steinkopff: 63-97.

Kysely, J. (2004). "Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic." *Int J Biometeorol* (49): 91-97.

Matulla, C., P. Haas, et al. (2004). Anwendung der Analog-Methode in komplexem Terrain: Klimaänderungsszenarien auf Tagesbasis für Österreich. GKSS Report. GKSS. Hamburg, GKSS. 2004/11: 70.

Roeckner, E., J. Oberhuber, et al. (1996). "ENSO variability and atmospheric response in a global coupled atmosphere-ocean GCM." *Climate Dyn.* 12: 737-745.

Schöner, W., I. Auer, et al. (2004). Qualitätskontrolle und statistische Eigenschaften ausgewählter Klimaparameter auf Tageswertbasis im Hinblick auf Extremwertanalysen. *StartClim 2003*. Wien.

Statistik Austria (2005). *Jahrbuch der Gesundheitsstatistik 2004*. S. Austria. Wien.

WHO (2004). *Extreme weather and climate events and public health responses*. WHO meeting. R. WHO. Bratislava, Slovakia.

WHO (2005). *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, Springer.

ZAMG (2001). "ÖKLIM- Digitaler Klimaatlas Österreichs."

A1b-7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abb. A1b-1: Änderungen der Wahrscheinlichkeit extremer Wetterereignisse (Houghton et al., 2001)	6
Abb. A1b-2: Juli-Mitteltemperatur in Österreich während der Klimanormalperiode 1961-1990	8
Abb. A1b-3: Anzahl der Hitzetage in Österreich während der Klimanormalperiode 1961-1990	8
Abb. A1b-4: Übersichtskarte thermischer Belastungsregionen (Quelle: ACTIVE 2004). Rot eingefärbte Bereiche charakterisieren Gebiete mit starker bis extremer Wärmebelastung.	9
Abb. A1b-5: Entwicklung der Minimumtemperatur, 10-jährige Mittel der Zeitreihe 1948-2002 für den Sommer (JJA), links Graz-Universität, rechts Wien-Hohe Warte.	13
Abb. A1b-6: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte an den Stationen Wien Hohe Warte und Klagenfurt von der Periode 1961-1990 (jeweils untere Linie) zur Periode 1985-2005 (jeweils obere Linie).	14
Abb. A1b-7: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb von 18 °C. Vergleich der Perioden 1961-1990 und 1985-2005.	16
Abb. A1b-8: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für Tmin, Station Bad Gleichenberg. Vergleich der Perioden 1961-1990 und 1985-2005 und absolute Zunahme der Anzahl der Tage pro Jahr in diesem Zeitraum.....	17
Abb. A1b-9: Betrachtung von 10-Jahres-Perioden, Eintrittshäufigkeiten der Minimumtemperatur bei gewählten Schwellwerten für die Station Wien-Hohe Warte. ...	18
Abb. A1b-10: Beobachtetes Minimum und Maximum der Lufttemperatur an den Stationen Wien-Hohe Warte (HW, Stadtrand) und Wien-Innere Stadt (IS, urban geprägt).	20
Abb. A1b-11: Stadteffekt: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte an den Stationen „Wien Hohe Warte“ und „Wien Innere Stadt“ während der Periode 1985-2005.	21
Abb. A1b-12: Zunahme der Sterbefälle pro 1°C Temperaturzunahme (verschiedene Temperaturindizes) für alle Tage mit einer Minimaltemperatur über 15°C (volle Rauten, links) und mit einer Maximumtemperatur über 25°C (leere Rauten, rechts).	23
Abb. A1b-13: Zunahme der Sterbezahlen (relatives Risiko) in Abhängigkeit der gewählten Parameter bzw. der definierten Perioden, bezogen auf die Periode 1990-2004, Wien, Gesamtsterblichkeit.....	24
Abb. A1b-14: Historische Beobachtungen und Szenarien für die Perioden 1989-2018 und 2019-2048 für die Station Graz-Universität (links) und Wien-Hohe Warte (rechts).	26

Tabellenverzeichnis

Tab. A1b-1: Mittlere Temperatur-, Feuchte- und Windverhältnisse an ausgewählten Stationen (Datenquelle: ÖKLIM, ZAMG 2001).....	10
Tab. A1b-2: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für die untersuchten Stationen Österreichs während der Periode 1961-1990 (Klimanormalperiode) und der 1985-2005.....	14
Tab. A1b-3: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für die untersuchten Stationen Österreichs während der Periode 1961-1990 (Klimanormalperiode) und der 1985-2005, auf 2 Kommastellen gerundet.	15
Tab. A1b-4: Häufigkeiten (Tage/Jahr) von nächtlichen Minimumtemperaturen gleich oder oberhalb verschiedener Schwellwerte für die untersuchten Stationen Österreichs. Absolute Zunahme in Tagen/Jahr in der Periode 1985-2005 im Vergleich zur Periode 1961-1990.....	16
Tab. A1b-5: Übersicht über die Eintrittswahrscheinlichkeit verschiedener Abfolgen von Tmax und Tmin während der Klimanormalperiode und in der Periode 1985-2005. Angaben in Tagen/Jahr.....	19
Tab. A1b-6: Historische Beobachtungen und Szenarien für die Perioden 1989-2018 und 2019-2048 für die Station Graz-Universität (links) und Wien-Hohe Warte (rechts).	27

A1b-8 Anhang

Ergänzung zum Kapitel A1b-3: Nächtliches Temperaturminimum und tägliche Todesfälle

Für detailliertere Information sei auch auf Projekt A1a verwiesen.

„Warme Nacht“: Tage mit warmer Nacht ($T_{min} \geq 18$) und Hitzetag ($T_{max} \geq 30$) nach einem Hitzetag

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.88455487603	4.456452e-002	132.045746	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005553854	1.254068e-006	-44.286703	NA	NA
s(Tmax, 5)	0.00097280849	2.274661e-004	4.276719	NA	NA
s(d.temp.1, 2)	0.00342151190	6.658933e-004	5.138229	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00405943537	3.678047e-003	-1.103693	0.0037482292	-1.082932
as.factor(dow)2	0.00245573089	2.117723e-003	1.159609	0.0021609271	1.136421
as.factor(dow)3	-0.00182480794	1.502852e-003	-1.214230	0.0015292648	-1.193227
as.factor(dow)4	-0.00126430421	1.165567e-003	-1.084712	0.0011836066	-1.068195
as.factor(dow)5	-0.00240567817	9.561230e-004	-2.516076	0.0009681726	-2.484828
as.factor(dow)6	-0.00515246745	8.164602e-004	-6.310739	0.0008176917	-6.301254
grippe	0.08178330763	5.893072e-003	13.877874	0.0077455393	10.558641
warme nacht	0.10984859497	1.396646e-002	7.865174	0.0171935233	6.386629

Wegen des log-links lässt sich das relative Risiko (RR) aus $RR = \exp(\text{Value})$ berechnen:

„Warme Nächte“ weisen eine stärkere Zunahme der Sterbezahlen auf als Kysely-Tage. Der Effekt ist an einzelnen Tagen, die einen bestimmten Cut-off (bei den Minimal- oder der Maximumtemperatur) überschreiten, geringer ausgeprägt. Je höher der Cut-off angesetzt wird, desto kräftiger ist der Effekt, wobei das Konfidenzintervall größer wird, weil immer weniger Tage dem Kriterium entsprechen.

Min17 ist Tag mit $T_{min} \geq 17$ usw.

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.88554759028	4.461385e-002	131.921995	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005554351	1.255416e-006	-44.243107	NA	NA
s(Tmax, 5)	0.00088459811	2.338669e-004	3.782485	NA	NA
s(d.temp.1, 2)	0.00365982526	6.664721e-004	5.491341	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00426002113	3.682058e-003	-1.156968	0.0037518756	-1.135486
as.factor(dow)2	0.00254486159	2.120008e-003	1.200402	0.0021625906	1.176684
as.factor(dow)3	-0.00160376638	1.504457e-003	-1.066010	0.0015304858	-1.048045
as.factor(dow)4	-0.00135061430	1.166672e-003	-1.157664	0.0011849212	-1.139840
as.factor(dow)5	-0.00245227014	9.571008e-004	-2.562186	0.0009688644	-2.530972
as.factor(dow)6	-0.00516924939	8.173354e-004	-6.324515	0.0008184666	-6.315574
grippe	0.08166927168	5.901150e-003	13.839552	0.0077528819	10.534993
Kysely	0.07249634880	1.081942e-002	6.700578	0.0138494136	5.233767

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.92175188276	4.488523e-002	131.930961	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005573001	1.253286e-006	-44.467108	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00395070048	3.675400e-003	-1.074903	0.0037453123	-1.054873
as.factor(dow)2	0.00253909090	2.116228e-003	1.199819	0.0021590450	1.175979
as.factor(dow)3	-0.00163035117	1.501718e-003	-1.085657	0.0015275256	-1.067465

Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima

as.factor(dow)4	-0.00135594279	1.164572e-003	-1.164327	0.0011827063	-1.146502
as.factor(dow)5	-0.00245354715	9.553884e-004	-2.568115	0.0009667496	-2.537849
as.factor(dow)6	-0.00518009578	8.158739e-004	-6.349137	0.0008173113	-6.337787
s(Tmax, 5)	0.00082797863	2.414270e-004	3.429519	NA	NA
s(d.temp.1, 2)	0.00344514096	6.651986e-004	5.179116	NA	NA
grippe	0.08118656509	5.888336e-003	13.787693	0.0077412889	10.487947
min17	0.03052031749	4.104718e-003	7.435424	0.0047959127	6.363457
grippe	0.08140721362	5.883714e-003	13.836025	0.0077345544	10.525410
min18	0.04077186155	4.912889e-003	8.298959	0.0056699022	7.188495
grippe	0.08162272983	5.887816e-003	13.862990	0.0077398615	10.546178
min19	0.04990619902	6.574925e-003	7.590383	0.0074904206	6.660478
grippe	0.08166154211	0.00588551146	13.875012	0.0077366035	10.555965
min20	0.06470761322	0.00872818736	7.413637	0.0096975558	6.670811

Vergleich: max30=Tmax > 30 usw.

grippe	0.0816884242	5.911222e-003	13.819211	0.0077652493	10.521076
max30	0.0242648223	5.042276e-003	4.812276	0.0071410673	3.397088
grippe	0.08171636211	5.910698e-003	13.825162	0.0077657098	10.524888
max31	0.02248523868	6.126321e-003	3.670268	0.0080732428	2.784857
grippe	0.08168918132	5.909523e-003	13.823313	0.0077652061	10.521761
max32	0.01400367719	7.484003e-003	1.871148	0.0092834695	1.502046

	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.88554758931	4.461385e-002	131.921995	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005554351	1.255416e-006	-44.243107	NA	NA
s(Tmax, 5)	0.00088459821	2.338669e-004	3.782486	NA	NA
s(d.temp.1, 2)	0.00365982521	6.664721e-004	5.491341	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00426002111	3.682058e-003	-1.156968	0.0037518756	-1.135486
as.factor(dow)2	0.00254486158	2.120008e-003	1.200402	0.0021625906	1.176684
as.factor(dow)3	-0.00160376638	1.504457e-003	-1.066010	0.0015304858	-1.048045
as.factor(dow)4	-0.00135061430	1.166672e-003	-1.157664	0.0011849212	-1.139840
as.factor(dow)5	-0.00245227014	9.571008e-004	-2.562186	0.0009688644	-2.530972
as.factor(dow)6	-0.00516924939	8.173354e-004	-6.324515	0.0008184666	-6.315574
grippe	0.08166927059	5.901150e-003	13.839552	0.0077528820	10.534992
Kysely	0.07249634707	1.081942e-002	6.700578	0.0138494138	5.233767
T.18.30.18.30	0.05904648354	7.259139e-003	8.134089	0.0088851944	6.643225
T.18.25.18	0.0463387950	5.630054e-003	8.230614	0.0065719934	7.048452
I.18.25.18	0.02504678670	3.887524e-003	6.442863	0.0049703221	5.038890
I.18.30.18.30	0.04197120704	5.042642e-003	8.323258	0.0068599075	6.119167
	Value	Std. Error	t value	A-exact SE	A-exact t
(Intercept)	5.92724321247	0.04469668481	132.610354	NA	NA
s(time, 72)	-0.00005550502	0.00000125102	-44.367816	NA	NA
s(min.innere, 5)	0.00105463145	0.00030330187	3.477168	NA	NA
s(d.t.min.i.1, 2)	0.00446733283	0.00083569332	5.345661	NA	NA
as.factor(dow)1	-0.00435563619	0.00366643758	-1.187975	0.0037356846	-1.165941

as.factor(dow)2	0.00252423321	0.00211146823	1.195487	0.0021546669	1.171552
as.factor(dow)3	-0.00167509141	0.00149836800	-1.117944	0.0015239966	-1.099142
as.factor(dow)4	-0.00127038516	0.00116206626	-1.093212	0.0011802931	-1.076317
as.factor(dow)5	-0.00231654920	0.00095312759	-2.430471	0.0009645128	-2.401797
as.factor(dow)6	-0.00515191343	0.00081419142	-6.327644	0.0008154960	-6.317501
grippe	0.08021160062	0.00593664489	13.511268	0.0077625348	10.338885
I.18.30.18.30	0.03938210232	0.00497921907	7.909293	0.0063765912	6.171489
I.18.25.18	0.01345964633	3.915002e-003	3.437967	0.0056423044	2.378889

RR = exp(value), 95% CI = exp(value +/- 1,96 * SE) (wobei die exakte SE: „A-exact SE“ verwendet wird.

zuerst alle mit dem gleichen Grundmodell:

Kontrolliert für Zeit (72 Freiheitsgrade), Max. Temperatur (Hohe Warte, 5 FG), Wochentag und Grippewelle.

Kysely (zum Vergleich) ist Kysely-Tag an der Hohen Warte, 18.30.18.30 sowie 18.25.18 sind die beiden Definitionen, mit „T“ (für „Temperatur“) an der Hohen Warte, mit „I“ an der Inneren Stadt.

Und weil es Sinn macht, wenn man die Hitzetage nach der Inneren Stadt zu definieren, auch die kontinuierliche Temperatur von dort zu nehmen, das alternative Modell (mit dem besseren Fit) für die Minimaltemperatur Innere Stadt (5 DF)

Der T-Wert (A-exact T) als Maß für die Genauigkeit der Schätzung (Value/SE) ist idR für die Definition der „Warmen Nacht“ größer als für die Kysely-Tage. Dies spricht für eine bessere Schätzung des Effektes bei Verwendung deiner Definitionen (engeres Konfidenzintervall). Das Relative Risiko (mittlerer Schätzer) ist aber an Hitzetagen nach der Kyselydefinition größer.

Die Ergebnisse des Modells (Zeitreihenmodell nur mit Zeit, Temp, Temp-Differenz, Wochentag und Grippe als Störvariablen für den Einfluss der Hitzetage auf die Gesamtsterblichkeit) zeigen, dass das Risiko bei Hitzewellen nach den letzteren Definitionen weniger stark erhöht ist als bei Verwendung der Definition nach Kysely (und damit auch geringeres Risiko als die „Warme Nacht“). Die Schätzung ist allerdings genauer (kleineres Konfidenzintervall).