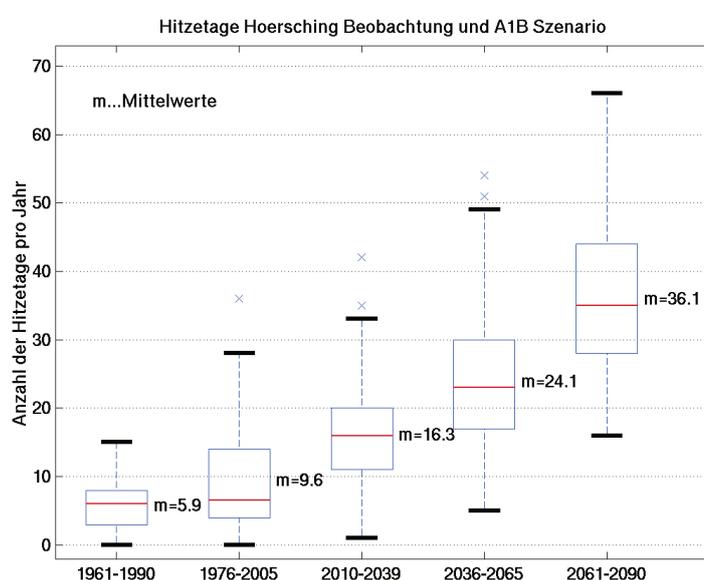


Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen

Helga Kromp-Kolb, Herbert Formayer, Patrick Haas,
Michael Hofstätter, Ingeborg Schwarzl



Endbericht

Band 1 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“ im Auftrag des Umweltlandesrates Rudi Anschober, Land Oberösterreich

Institut für Meteorologie (BOKU-Met)
Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien

September 2009

ISSN 1994-4179 (Print)
ISSN 1994-4187 (Online)

**Helga Kromp-Kolb, Herbert Formayer, Patrick Haas,
Michael Hofstätter, Ingeborg Schwarzl**

Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen

Endbericht

Band 1 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf
Oberösterreich“ im Auftrag des Umweltlandesrates Rudi Anschober,
Land Oberösterreich

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Kromp-Kolb, H., Formayer, H., Haas, P., Hofstätter, M., Schwarzl, I. (2009): Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen (Endbericht Band 1 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“, Februar 2007).

BOKU-Met Report 12, ISSN 1994-4179 (Print), ISSN 1994-4187 (Online). Verfügbar unter: http://www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met_Report_12_online.pdf

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Institut für Meteorologie, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich

URL: <http://met.boku.ac.at/>



Forschungsreihe:

Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich

Band 1

Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen

Im Auftrag von

Umweltlandesrat Rudi Anschober

Februar 2007

Institut für Meteorologie
Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien
Peter-Jordan-Str. 82
A-1190 Wien, Österreich

Projektleiterin:

Univ.-Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb
E-Mail: helga.kromp-kolb@boku.ac.at, Tel:+43 1 47654-5601, Fax 47654-5610

ProjektmitarbeiterInnen:

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

Dr. Patrick Haas
E-Mail: patrick.haas@boku.ac.at, Tel: +43 1 47654-5614, Fax 54654-5610

Michael Hofstätter
E-Mail: michael.hofstaetter@boku.ac.at, Tel: +43 1 4765-5614, Fax 54654-5610

Mag. Ingeborg Schwarzl
E-Mail: ingeborg.schwarzl@boku.ac.at, Tel: +43 1 47654-5618, Fax 54654-5610

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

Forschungsreihe:

Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich

Band 1:

**Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden
in Oberösterreich und Abschätzung der
möglichen zukünftigen Entwicklungen**

AutorInnen:

Herbert Formayer, Patrick Haas, Michael Hofstätter und Helga Kromp-Kolb,
Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie

Redaktionelle Mitarbeit:

Ingeborg Schwarzl, Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie

Im Auftrag von Umweltlandesrat Rudi Anschober

Februar 2007

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
1. Einleitung.....	5
2. Datenmaterial und Methodik.....	5
Beobachtungsdaten	5
Klimaszenarien	7
Auswerteverfahren	8
3. Auswerteergebnisse	9
Evaluierung der Regionalisierungsmethodik	9
Beobachtete Veränderungen für Hitzetage (A1B Szenario)	11
Beobachtete Veränderungen und Szenarien für Kysely-Perioden	14
Zeitliche Entwicklung der Hitzetage für verschiedene Emissionsszenarien	17
4. Strategien und Maßnahmen	17
Minderungsstrategien und -maßnahmen	17
Anpassungsstrategien und –maßnahmen	20
5. Interpretation und Zusammenfassung	22
Literaturverzeichnis	24
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	25

1. Einleitung

In den letzten Jahren ist der Klimawandel auch in Oberösterreich immer deutlicher wahrgenommen worden, da zum Teil bisher bekannte Maximalereignisse deutlich überschritten wurden und auch erhebliche wirtschaftliche Schäden zu beobachten waren. Neben den bekannten Extremereignissen, wie Hochwasser (2002 und 2005) oder Stürmen (2007), zeigte der trockene und heiße Sommer 2003, dass selbst in unseren Regionen Temperaturextreme eine direkte Beeinflussung des menschlichen Wohlbefindens bis hin zu letalen Folgen aufgrund von Hitzestress haben können. Österreich kam hierbei 2003 noch vergleichsweise glücklich davon, da keine extrem heißen Einzeltage vorkamen, wie sie in Frankreich oder Teilen Deutschlands und der Schweiz verzeichnet wurden. Mit den Auswirkungen von Hitzebelastung auf die Sterblichkeit in Oberösterreich beschäftigt sich eine eigene Studie in der Forschungsreihe: Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich. Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit dem historisch beobachteten Auftreten von Hitzebelastung in Oberösterreich aber auch mit der möglichen weiteren Entwicklung aufgrund des vom Menschen verursachten Klimawandels.

2. Datenmaterial und Methodik

Beobachtungsdaten

Für die Untersuchung der historischen Entwicklung der Hitzebelastung in Oberösterreich wurden Daten von Messstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) verwendet. Da hohe Datenqualität für die Untersuchung klimatologischer Trends erforderlich ist, wurden Stationen aus dem qualitätsgeprüften Datensatz von StartClim2003 (Schöner et al., 2003) verwendet: er enthält die oberösterreichischen Stationen Hörsching, Freistadt und Kremsmünster.

Um den oberösterreichischen Zentralraum besser abbilden zu können, wurde die Station Lambach, obwohl nicht in der selben Weise qualitätsgeprüft, ergänzt. Die Zeitreihen aller Stationen wurden bis einschließlich 2005 ergänzt.

In Abbildung 1 ist die räumliche Lage der ausgewählten Stationen innerhalb einer Karte der Jahresmitteltemperatur, beobachtet im Referenzzeitraum 1961-1990 (Klimanormalperiode), dargestellt. Die Stationen Hörsching, Lambach und Kremsmünster repräsentieren den warmen oberösterreichischen Zentralraum und Freistadt kann als Vertreter für das kühlere Mühlviertel gelten.

Leider wurde bei der Qualitätskontrolle im Rahmen von StartClim2003 die Station Linz-Stadt nicht aufgenommen - sie wäre als repräsentativ für den Linzer Stadtbereich willkommen gewesen. Ob Linz-Hörsching auch zur Charakterisierung der Verhältnisse in der Stadt herangezogen werden kann, wurde anhand eines Vergleiches der beiden Stationen für die Klimanormalperiode untersucht (Datenquelle Auer et al., 1995). Während die mittlere Tagesmaximumtemperatur im Sommer (Tmax) an beiden Stationen (Stadt und Hörsching) identisch ist (Tabelle 1), zeigt sich speziell bei den Hitzetagen (HT), das sind Tage mit einem Tagesmaximum von mindestens 30°C, ein deutlicher Unterschied. In Linz-Stadt sind im Mittel um 0.7 (rund 10 %) mehr Hitzetage zu beobachten und die maximale Anzahl in einem Jahr beträgt in der Stadt um 5 Tage (20 %) mehr als im Umland. Bei Sommertagen, das sind Tage mit

einem Tagesmaximum von mindestens 25°C, sind die Unterschiede jedoch nicht mehr groß, der Maximalwert lag sogar in Hörsching höher.

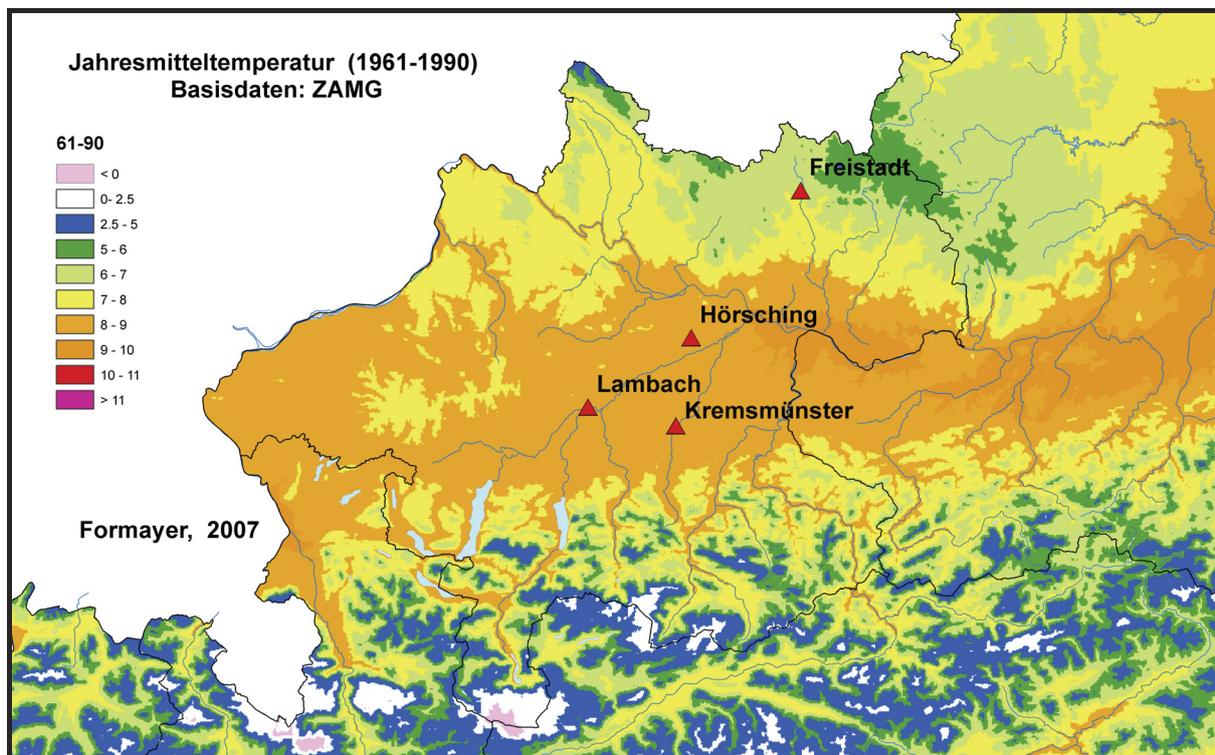


Abb. 1: Jahresmitteltemperatur in Oberösterreich (1961-1990) und Lage der im Beitrag bearbeiteten meteorologischen Stationen.

Diese Ergebnisse kann man dahingehend interpretieren, dass sich der Linzer Stadteffekt im Mittel nicht auf das Temperaturmaximum im Sommer auswirkt. Bei länger anhaltenden Hitzeperioden führt jedoch die Wärmespeicherung der Stadt in der Nacht zu höheren Ausgangstemperaturen für den nächsten Tag und dies wiederum erhöht die Wahrscheinlichkeit, den Schwellenwert von 30°C zu überschreiten. Die Analysen für die Station Hörsching sind daher einigermaßen repräsentativ auch für die Stadt; sie können als eine niedrige Schätzung für die Bedingungen in Linz-Stadt angesehen werden.

Tab. 1: Temperaturkennzahlen (Mittelwerte und Maxima) für die Stationen Linz-Stadt und Hörsching 1961-1990.

Station	Tmax [JJA]	HT-Mittel	HT-Max	ST-Mittel	ST-Max
Linz-Stadt	22,3	6,6	20	46,4	67
Hörsching	22,3	5,9	15	44,7	69

Tmax: Tageshöchsttemperatur (°C) im Sommer (Juni, Juli, August)

HT: Anzahl der Hitzetage (Tageshöchsttemperatur über 30°C)

ST: Anzahl der Sommertage (Tageshöchsttemperatur über 25°C)

Klimaszenarien

Klimaszenarien der Zukunft, wie sie z.B. der Aussage zugrunde liegen, dass die Temperatur bis zur Jahrhundertwende global um 1,4 bis 5,8°C steigen könnte, werden mit globalen Klimamodellen (GCM – global climate model) berechnet. Globale Klimamodelle können einigermaßen verlässliche Aussagen für Gebiete der Größe von Kontinenten machen. Will man für kleinere Gebiete Aussagen machen, dann müssen die Ergebnisse der globalen Modelle jeweils erst „regionalisiert“ werden. Dazu gibt es verschiedene Verfahren, die alle bestimmte Vor- und Nachteile haben, und die auch noch ständig weiterentwickelt werden. Je nach Fragestellung (Größe und Topographie des betrachteten Gebietes, meteorologische Größe, die betrachtet wird, etc.) sind daher unterschiedliche Ansätze zu wählen.

In der vorliegenden Studie wird der in StartClim2004.B (Formayer et al., 2004) entwickelte Ansatz des synoptischen Downscalings (= Regionalisierung) verwendet. Dabei wird aus der Vergangenheit ein funktionaler Zusammenhang zwischen beobachteten großräumigen meteorologischen Feldern und der gemessenen Temperatur an einer Messstation (z.B. Linz Hörsching) hergestellt. Dieser Zusammenhang wird dann auf die großräumigen Klimaszenarien der GCM angewendet und so ein lokales Klimaszenarium entwickelt. Zur Ableitung des geeigneten Zusammenhangs wurden in der gegenwärtigen Studie die großräumigen meteorologischen Felder der Vergangenheit aus den sogenannten Re-Analysedaten des europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage „ERA40“ (Uppala, 2003) verwendet. Konkret wurde eine lineare Regression zwischen den beobachteten Temperaturmaxima an den ausgewählten Stationen und der Temperatur auf der 850 hPa Druckfläche (das sind rund 1500 m Seehöhe) durchgeführt. Die Regressionsberechnung erfolgte für jeden Monat getrennt. Mit Hilfe dieser Methode konnte der hohe Regressionskoeffizient (R^2) von ~ 0.9 erreicht werden (Frank et al., 2005).

Für die Erstellung von Szenarien für die Zukunft wurde das GCM (General Circulation Model) ECHAM5 (Röckner et. al., 2006) des MPI-Hamburg verwendet. ECHAM5 ist eines der GCM, das im neuen IPCC-2007¹ Bericht berücksichtigt wird; es stellt somit den derzeit neuesten Stand an Klimaszenarien für Europa dar. Um den Einfluss des menschlichen Verhaltens auf die zukünftige Entwicklung aufzuzeigen, werden drei Szenarien, betrieben mit den sogenannten SRES-Emissionsszenarien² B1, A1B und A2, abgeleitet. Bei B1 handelt es sich um ein Stabilisierungsszenario, das zu einem Einpendeln der CO₂-Konzentration auf 550 ppm bis zum Jahre 2100 führt, A1B ist ein mittleres Szenario mit einer CO₂-Konzentration von knapp über 700 ppm bis zum Ende des Jahrhunderts, aber sehr hohen Emissionen bis 2050 und A2 ist das Szenario „weitermachen wie bisher“ mit kontinuierlich steigenden Emissionen, die zu einer Konzentration von rund 850 ppm bis 2100 führen, in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts aber geringere Emissionen aufweist, wie A1B.

Von den ECHAM5 Feldern wurde, wie von den Re-Analysedaten, die Temperatur in 850 hPa verwendet, jedoch wurde eine Korrektur nach Frank et al., 2005 angebracht.

¹ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change. Der erste Teil des aktuellen Assessment Berichtes wurde im Februar 2007, der zweite im April 2007 vorgestellt (IPCC 2007a, b)

² Jedem Klimaszenarium liegen Annahmen über die Bevölkerungs-, Technologie- und Wirtschaftsentwicklung zugrunde, aus denen die zu erwartenden Treibhausgasemissionen ermittelt werden (= SRES-Emissionsszenarien). Aus diesen Emissionen lassen sich Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre errechnen, und diese bestimmen dann das Klima, das mit GCMs errechnet wird.

Mithilfe der aus der Vergangenheit abgeleiteten Regressionsfunktionen wurden dann die Tagestemperaturmaxima an den oberösterreichischen Stationen errechnet.

Auswerteverfahren

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte in verschiedenen Zeitperioden von jeweils 30 Jahren Länge (Abb. 2). Als Referenz wurde die Klimanormalperiode 1961-1990 verwendet. Dies erlaubt auch einen Vergleich mit internationalen Studien. Um den bereits jetzt beobachteten Klimawandel zu quantifizieren wurde der Zeitraum 1976-2005 verwendet. Bei den Klimaszenarien wurden die Perioden 2010-2039, 2036-2065 und 2061-2090 untersucht. Dies entspricht Szenarien für die mittleren Bedingungen um 2025, 2050 und 2075.

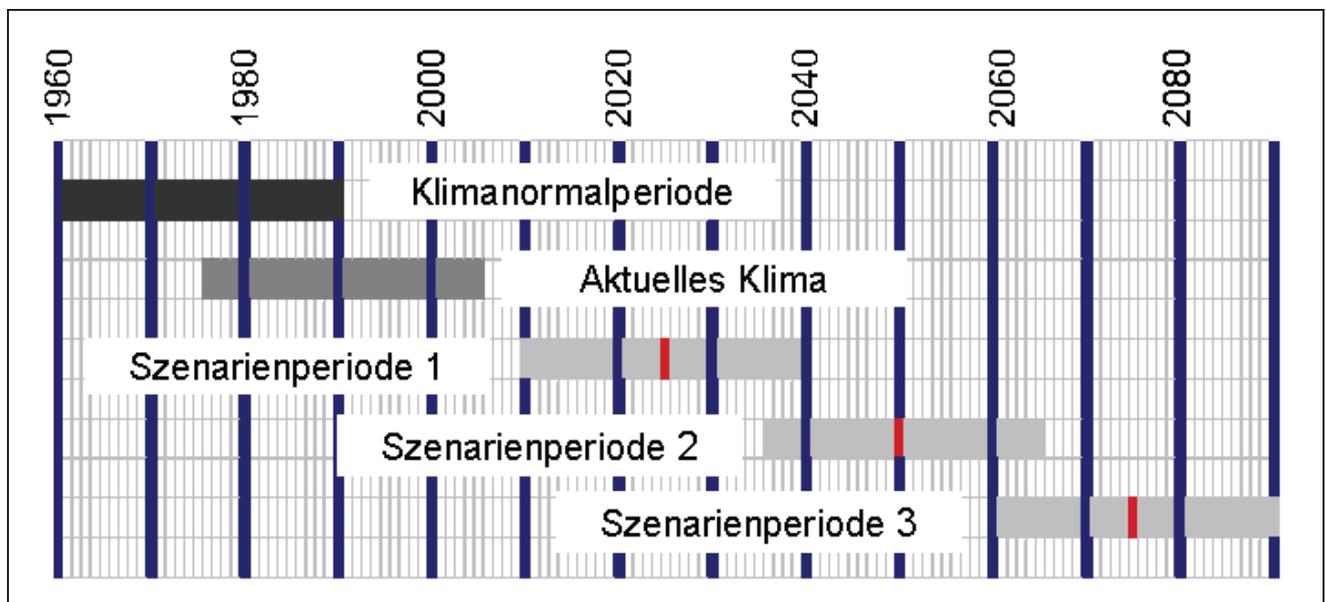


Abb. 2: Dreißigjährige Zeitperioden, die in der Analyse verwendet werden.

Als Kennzahlen für die Hitzebelastung werden einerseits Hitzetage (Tage an denen mindestens 30°C erreicht werden) und andererseits sogenannte Kysely - Hitzeperioden (Kysely, 2000) untersucht. Eine „Hitzeperiode“ nach Kysely wird festgestellt, sobald an mindestens 3 Tagen in Folge die Maximaltemperatur über 30°C liegt; die Periode hält so lange an, solange die mittlere Maximaltemperatur über die gesamte Periode über 30°C bleibt und die Maximaltemperatur an keinem Tag weniger als 25°C beträgt. Kysely-Perioden sind aussagekräftiger hinsichtlich der Hitzebelastung von Mensch, Tier und Pflanze, da mehrtägige Hitzeperioden die Organismen stärker belasten, als einzelne heiße Tage zwischen kühlen Tagen, oder mehrerer heiße Tage, die durch einzelne deutlich kühlere unterbrochen sind.

Eine Kysely – Hitzeperiode ist für derzeitige oberösterreichische Verhältnisse schon als Extremereignis zu werten.

3. Auswertergebnisse

Evaluierung der Regionalisierungsmethodik

Zur Absicherung der verwendeten Methode der Regionalisierung der Tagesmaximumtemperaturen im Sommerhalbjahr wurde ein quantitativer Vergleich der beobachteten und der modellierten Hitzetage für den Zeitraum 1958-2001 durchgeführt. Für diese Periode stehen Beobachtungen an den vier oberösterreichischen Stationen und ERA40 Daten zur Verfügung. Darüber hinaus liegen die Daten für den ECHAM5 Kontrolllauf vor, das sind Berechnungen, die jeweils vor den GCM Szenarienberechnungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die GCM das gegenwärtige Klima realistisch wiedergeben. Diese Daten weisen daher die Charakteristika der Szenarienläufe für die Zukunft auf, beziehen sich aber auf die Vergangenheit. Es konnten daher die beobachteten Hitzetage mit den modellierten Hitzetagen auf Basis der ERA40 Daten und den aus dem ECHAM5 Kontrolllauf abgeleiteten verglichen werden. Auf eine ähnliche Darstellung für die Kysely – Perioden wurde aufgrund ihrer Seltenheit in den Beobachtungen verzichtet. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse für die vier Stationen zusammengefasst. Für jede Station wurden für den Zeitraum 1958-2001 die verschiedenen Perzentile berechnet und in Form von „Box and Whiskers“ Grafiken dargestellt.

Bei den „Box and Whiskers“ Grafiken³ grenzt die „Box“ die Überschreitungswahrscheinlichkeit von 25 bzw. 75 % ab. Innerhalb dieser Box liegen somit 50 % aller beobachteten bzw. berechneten Werte. Die rote Linie markiert den Median, das ist jener Wert, der in der Mitte aller Werte liegt: 50 % aller Werte sind größer und 50% sind kleiner als der Median. Die unteren und oberen Begrenzungsstriche (Whiskers) sind durch den 1.5 fachen Wert der Weite der Box definiert und werden zum Median addiert bzw. von diesem abgezogen. Kommen Werte außerhalb der Begrenzungsstriche vor, werden sie als Ausreißer einzeln als Kreuze eingetragen. Zusätzlich wurde der arithmetische Mittelwert als Zahlenwert angegeben.

Für die Station Hörsching, rechts oben in Abbildung 3, ergibt sich für den Median der beobachteten Hitzetage ein Wert von etwa 6 Tagen pro Jahr. Alle vier Jahre muss man mit weniger als 4 oder mit mehr als rund 10 Hitzetagen rechnen. Es kommen aber auch Jahre ohne Hitzetage vor bzw. auch Jahre mit bis zu 28 Tagen. Der Mittelwert mit 7.3 liegt über dem Median und man erkennt deutlich, dass der Wertebereich über dem Median wesentlich größer ist als der unter dem Median.

Die Ergebnisse der aus ERA40 Daten (großräumige Analysedaten) abgeleiteten Hitzetage für Hörsching stimmen im mittleren Bereich sehr gut. Die Box der ERA40 Hitzetage überlappt fast vollständig mit der Box der Beobachtung, nur wird die Variabilität von Jahr zu Jahr etwas unterschätzt. Dies sowohl für die mittleren Verhältnisse (Höhe der Box), als auch für die Extreme (Weite der Begrenzungsstriche). Die Ergebnisse für die fehlerkorrigierten ECHAM5 Kontrollwerte (der Berechnungsmethode nach Zukunftsszenarien) sind fast besser als die von ERA40. Die mittlere Variabilität wird besser wiedergegeben, aber auch hier werden die Extreme unterschätzt.

³ Die „Box and Whisker“ Grafiken erlauben die Darstellung der Mittelwerte und der Variabilität von Datensätzen, ohne eine Normalverteilung der Daten voraussetzen zu müssen. Je symmetrischer die Box and Whisker Grafik und je enger zusammen Median und Mittelwert liegen, umso mehr entspricht der Datensatz einer Normalverteilung.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch an den anderen Stationen, wobei der Wertebereich natürlich schwankt. Auffallend ist die geringe Anzahl an Hitzetagen an der Station Kremsmünster. Im Mittel sind im Beobachtungszeitraum 1958-2001 dort nur 2.1 Hitzetage pro Jahr aufgetreten. Dies ist deutlich weniger als an der im Jahresdurchschnitt doch kühleren Station Freistadt mit 5.0 Hitzetagen, wobei das mittlere tägliche Maximum in der Klimanormalperiode im Sommer an beiden Stationen mit 21.9°C gleich groß ist (Auer et al., 1995). Es könnte sein, dass durch die Nähe von Kremsmünster zum Alpennordrand und dadurch an der Abschattung durch die konvektive Bewölkung der Gewitter im Bergland die Erreichung hoher Temperaturmaxima oft verhindert wird. Andererseits könnten aber auch lokale Effekte der Aufstellung der Station in Kremsmünster ausschlaggebend sein.

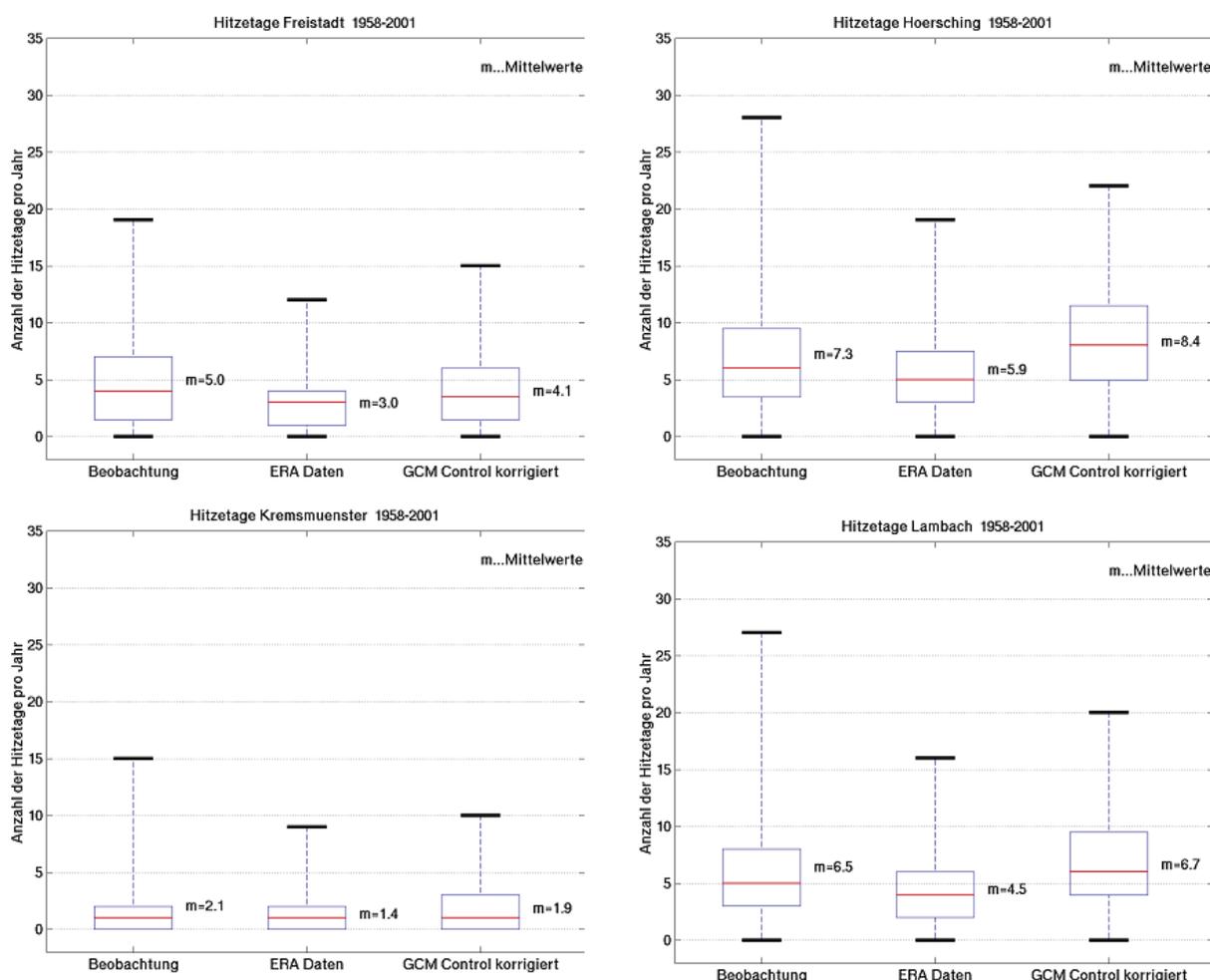


Abb. 3: Evaluierung des Regionalisierungsverfahrens an den vier oberösterreichischen Stationen anhand der Hitzetage. Die Übereinstimmung der modellierten Daten mit den Beobachtungen ist in den mittleren Bereichen sehr gut. Die Variabilität von Jahr zu Jahr wird im Modell etwas unterschätzt.

In Summe weist der Vergleich die Regionalisierungsmethode als gut geeignet für die Temperaturbetrachtungen in Oberösterreich aus, insbesondere hinsichtlich der mittleren bzw. häufigsten Verhältnisse. Die Variabilität von Jahr zu Jahr wird in den Modellen etwas unterschätzt. Das bedeutet, dass bei den nachfolgend beschriebenen Szenarienberechnungen für Oberösterreich Ausreißer möglicherweise nicht in vollem Umfang erfasst werden.

Beobachtete Veränderungen für Hitzetage (A1B Szenario)

Der in den letzten Jahrzehnten starke Anstieg der mittleren Temperaturen führte auch in Oberösterreich zu einer deutlichen Zunahme der Hitzetage. In den Abbildungen 4 bis 7 sind die Ergebnisse für die vier Stationen dargestellt. Die ersten beiden „Box and Whisker“ Balken in den jeweiligen Grafiken veranschaulichen die beobachtete Veränderung von der Klimanormalperiode 1961-1990 zu den Verhältnissen der letzten 30 Jahre 1976-2005. Für Hörsching und Lambach bewirkte die bisherige Erwärmung nahezu eine Verdoppelung der mittleren Anzahl der Hitzetage pro Jahr von rund 5 bis 6 auf 9 bis 10 und in Kremsmünster stiegen die Mittel von 1.1 auf 3.6. In Freistadt hingegen war der mittlere Anstieg von 4.0 auf 5.3 nicht so stark ausgeprägt.

Sehr auffallend ist die Zunahme der maximalen Hitzetage. Der außergewöhnliche Sommer 2003 war derart ungewöhnlich, dass er in den „Box and Whisker“ Grafiken als „Ausreißer“ klassifiziert wird. In Hörsching stieg die Maximalanzahl von 15 Tagen auf etwa 28 Tage an, mit 36 im Ausreißerjahr 2003 und selbst in Freistadt stiegen die Maxima von 12 auf 23 Tage. Generell nahmen die Hitzetage an den beiden wärmeren Station Hörsching und Lambach um rund 20 Tage und an den beiden kühleren Stationen Kremsmünster und Freistadt immerhin noch um 10 Tage zu, und führten damit innerhalb dieser 15 Jahre faktisch zu einer Verdoppelung.

Bei den in den Abbildungen 4 bis 7 dargestellten A1B Szenario geht die Entwicklung der Hitzetage in diesem Jahrhundert in der selben Art weiter. Um das Jahr 2020 werden in Hörsching im Mittel rund dreimal so viele Hitzetage herrschen wie in der Klimanormalperiode, 2050 sind es schon viermal so viele und 2075 sogar sechsmal so viele. In besonders warmen Jahren gibt es dann bis zu 68 Hitzetage und die kühleren Jahre hätten mehr Hitzetage als das wärmste Jahr in der Klimanormalperiode. An den anderen Standorten ist die Entwicklung sehr ähnlich.

An allen vier Standorten wird die Verteilung der Hitzetage für die letzte Periode um 2075 immer symmetrischer, der Mittelwert ist ähnlich wie der Median und der Wert liegt fast gleich hoch wie der bisherige Rekord aus dem Jahr 2003. Dies bedeutet, dass Bedingungen wie im „Hitzesommer 2003“ nach dem A1B-Szenario um 2075 bereits jedes zweite Jahr überschritten werden und fast doppelt so viele Hitzetage wie 2003 möglich sind.

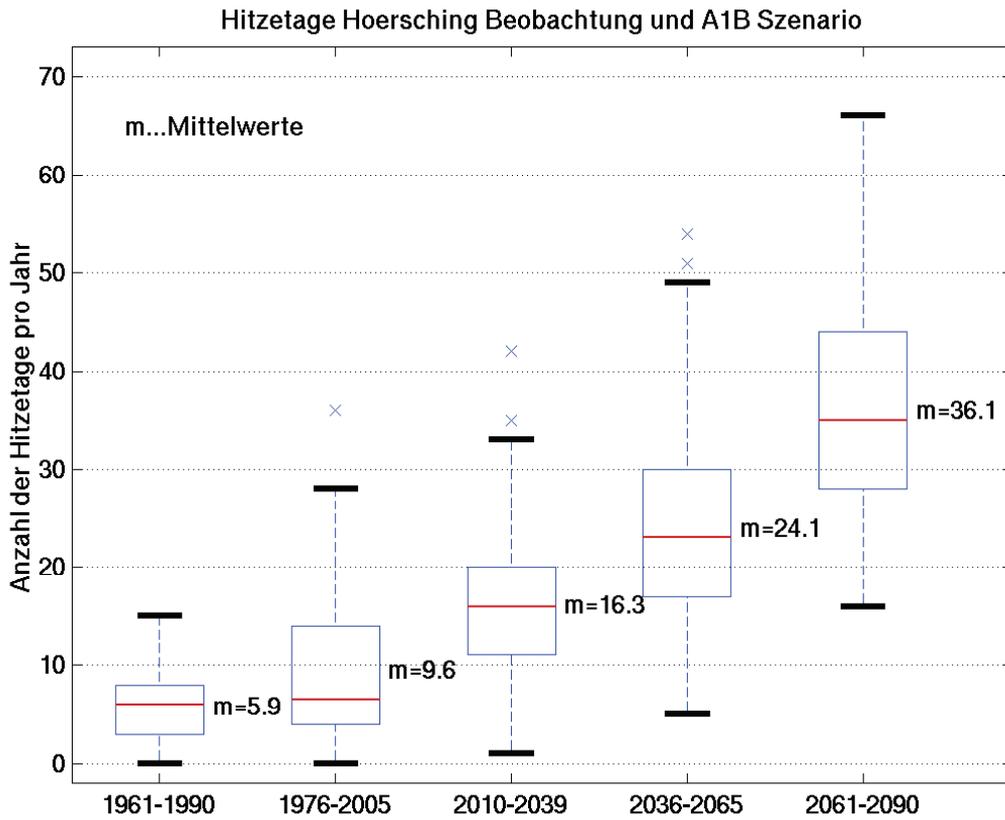


Abb. 4: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Hitzetagen und A1B-Szenario für die Station Hörsching.

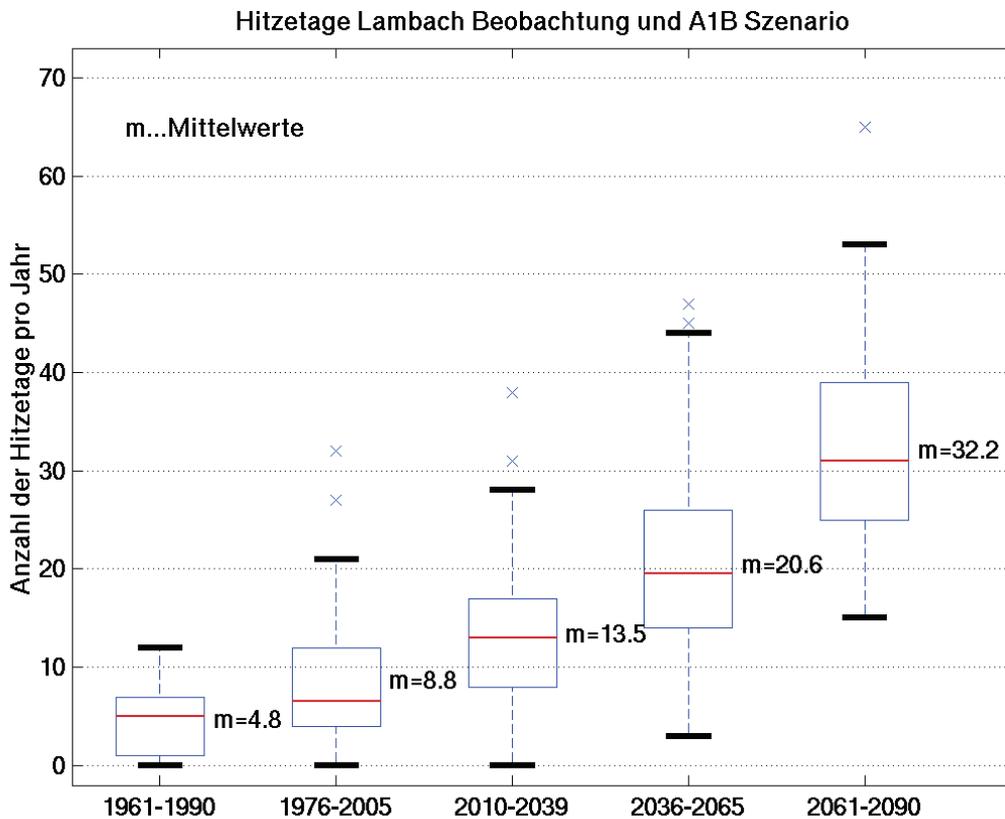


Abb. 5: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Hitzetagen und A1B-Szenario für die Station Lambach.

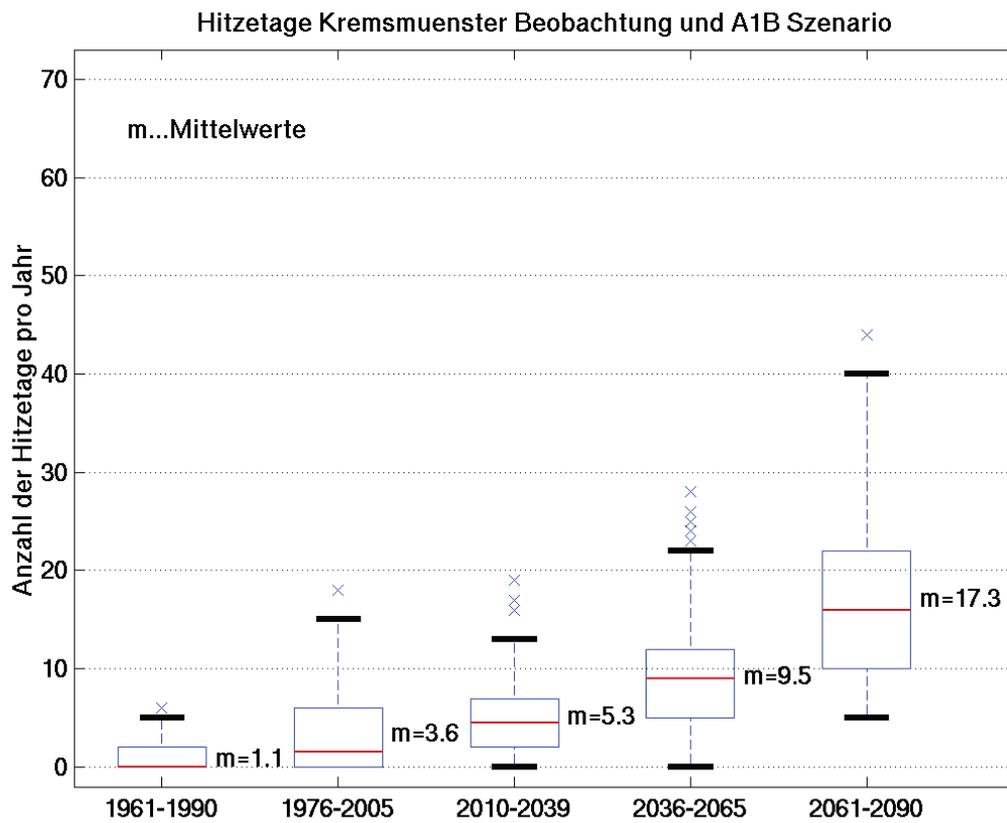


Abb. 6: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Hitzetagen und A1B-Szenario für die Station Kremsmünster.

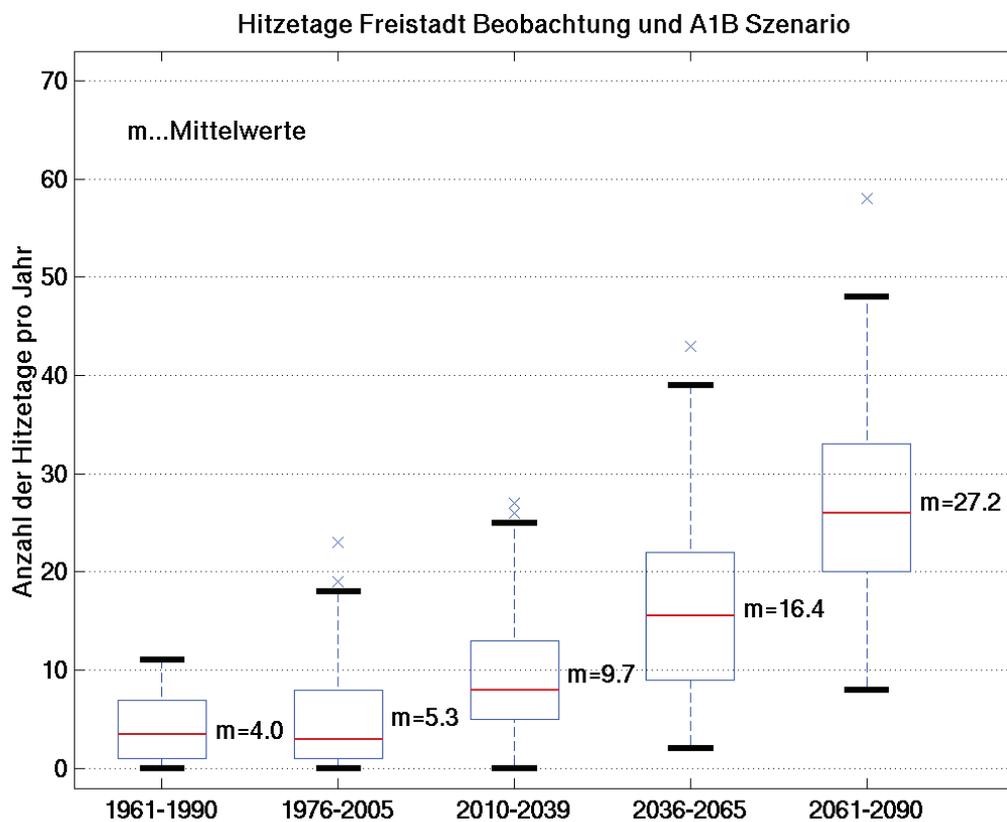


Abb. 7: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Hitzetagen und A1B-Szenario für die Station Freistadt.

Beobachtete Veränderungen und Szenarien für Kysely-Perioden

Bei der Darstellung der Kysely-Perioden wurde auf die Verwendung der „Box and Whisker“ Grafiken verzichtet, da diese Perioden bisher in Oberösterreich derart selten waren, dass in mehr als der Hälfte aller Jahre keine Kysely-Perioden vorgekommen sind und von den „Box and Whisker“ Darstellungen nur mehr der obere „Whisker“ übrig geblieben ist. Daher wurde nur der Mittelwert dargestellt. Weiters sind in den Abbildungen 8 bis 11 nicht die Anzahl der Kysely-Perioden, sondern die Anzahl der Tage innerhalb von Kysely-Perioden dargestellt, da dies die relevantere Information ist⁴. Zusätzlich sind in den Abbildungen die Ergebnisse für alle drei Emissionsszenarien dargestellt.

In der Klimanormalperiode ergaben sich im Mittel an den beiden wärmeren Standorten Hörsching und Lambach 3.3 und 2.2 Kysely-Tage, an den beiden kühleren Standorten Kremsmünster und Freistadt hingegen nur 0.6 und 1.8. Da aufgrund der Definition der Kysely-Perioden zumindest drei Tage notwendig sind um eine Periode zu ergeben, erkennt man allein an den niedrigen Mittelwerten, dass an allen Stationen bei weitem nicht jedes Jahr eine Kysely-Periode vorkommt.

Auch bei den Kysely-Tagen ergab sich bereits für die Periode 1976-2005 ein starker Anstieg. An den beiden wärmeren Stationen stiegen sie um das 2.5-fache auf 7.7 bzw. 6.4 und an den kühleren auf 2.1 bzw. 3.2. Somit ergaben sich in den letzten dreißig Jahren an den kühleren Stationen die selben Bedingungen wie an den wärmeren Stationen in der Klimanormalperiode.

Betrachtet man die Szenarien, so ergibt sich wie bei den Hitzetagen eine kontinuierliche Zunahme während des gesamten Jahrhunderts. Interessanterweise tritt ein stärkerer Anstieg der Kysely-Tage bei dem mittleren A1B-Szenario auf als beim Extrem-szenario A2. Anscheinend wirken sich die in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts höheren Emissionen im A1B Szenario noch voll im diesen Jahrhundert aus; die starke Reduktion in der zweiten Jahrhunderthälfte merkt man vermutlich erst im nächsten Jahrhundert. Dies zeigt deutlich die Trägheit des Klimasystems auf und wie notwendig es ist, rasch Emissionsreduktionen umzusetzen. Das „optimistische“ Stabilisierungsszenario B1 ergibt in allen Perioden die niedrigsten Werte, aber selbst hier ist bis zur letzten analysierten Periode ein Anstieg zu beobachten.

Für Hörsching bedeutet dies, dass sich im schlimmsten Falle (A1B) die Kysely-Tage bis 2075 mehr als verzehnfachen und selbst im günstigsten Falle (B1) mit knapp 20 Tagen versechsfachen. Das Szenario A2 liegt jeweils dazwischen, jedoch deutlich näher am höheren A1B-Szenario.

Für den Zeitraum um 2025 zeigt sich noch kein großer Unterschied in den verschiedenen Szenarien, alle liegen an den beiden wärmeren Stationen nur rund 3 Tage, an den kühleren rund 2 Tage auseinander. Für den Zeitraum um 2050 ist der Unterschied schon größer und beträgt an den wärmeren Stationen rund 8 Tage und an den kühleren rund 6 Tage. Um 2075 beträgt der Unterschied an den wärmeren Stationen etwa 15 Tage und an den kühleren liegt er etwa bei 13 Tagen in Freistadt und 8 Tage in Kremsmünster. Durch die Emissionsreduktion laut B1 Szenario kann der Anstieg der Kysely-Tage bis 2075 gegenüber dem A1B Szenario um etwa die Hälfte reduziert werden.

⁴ Im Extremfall, wenn der ganze Sommer heiß ist, würde sich die Anzahl der Kysely-Perioden auf eine reduzieren.

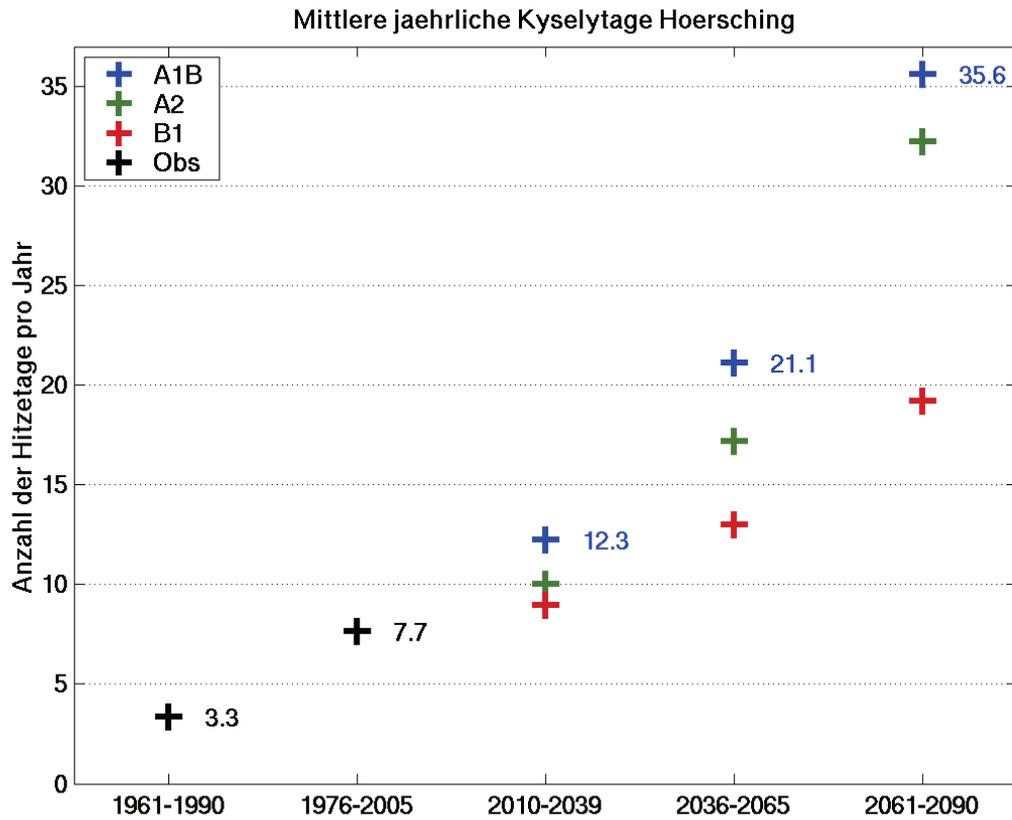


Abb. 8: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Kysely-Tagen und A1B-Szenario für die Station Hörsching.

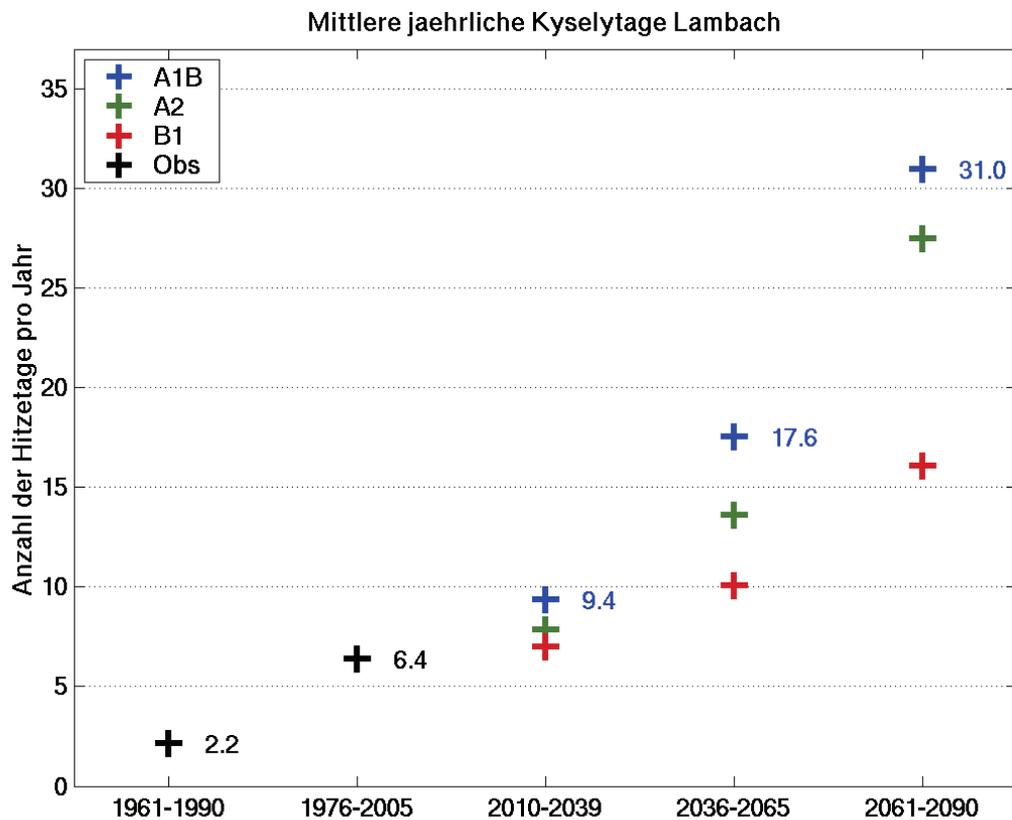


Abb. 9: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Kysely-Tagen und A1B-Szenario für die Station Lambach.

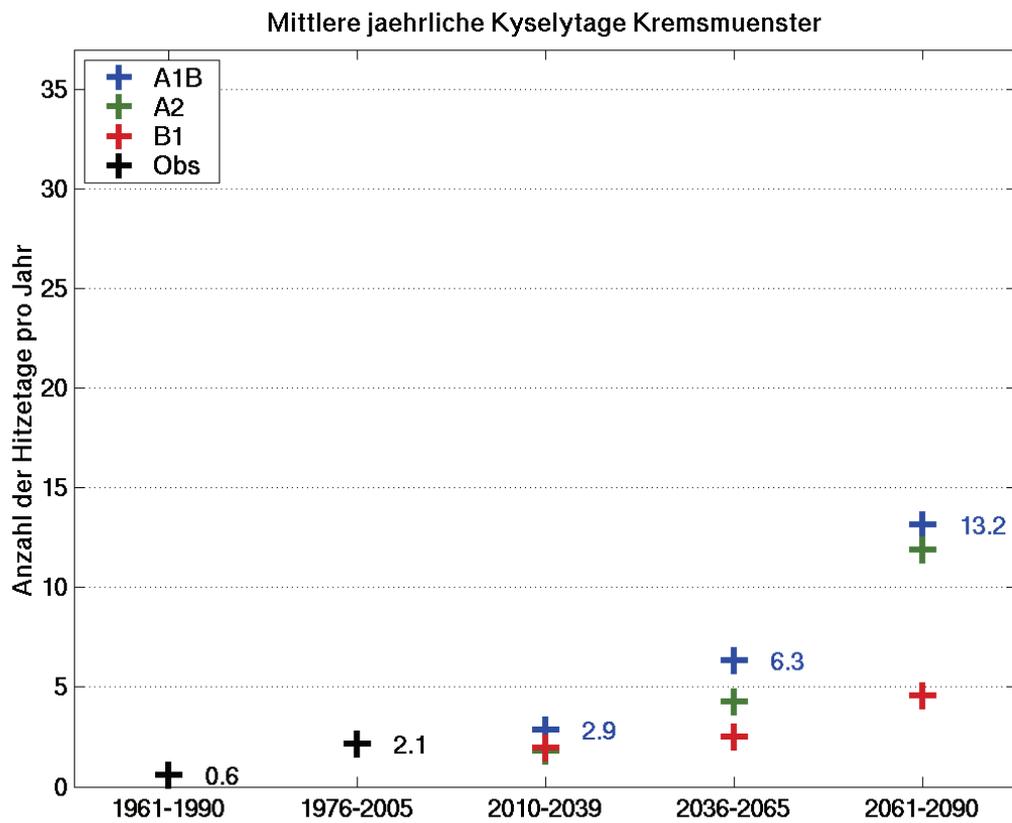


Abb. 10: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Kysely-Tagen und A1B-Szenario für die Station Kremsmünster.

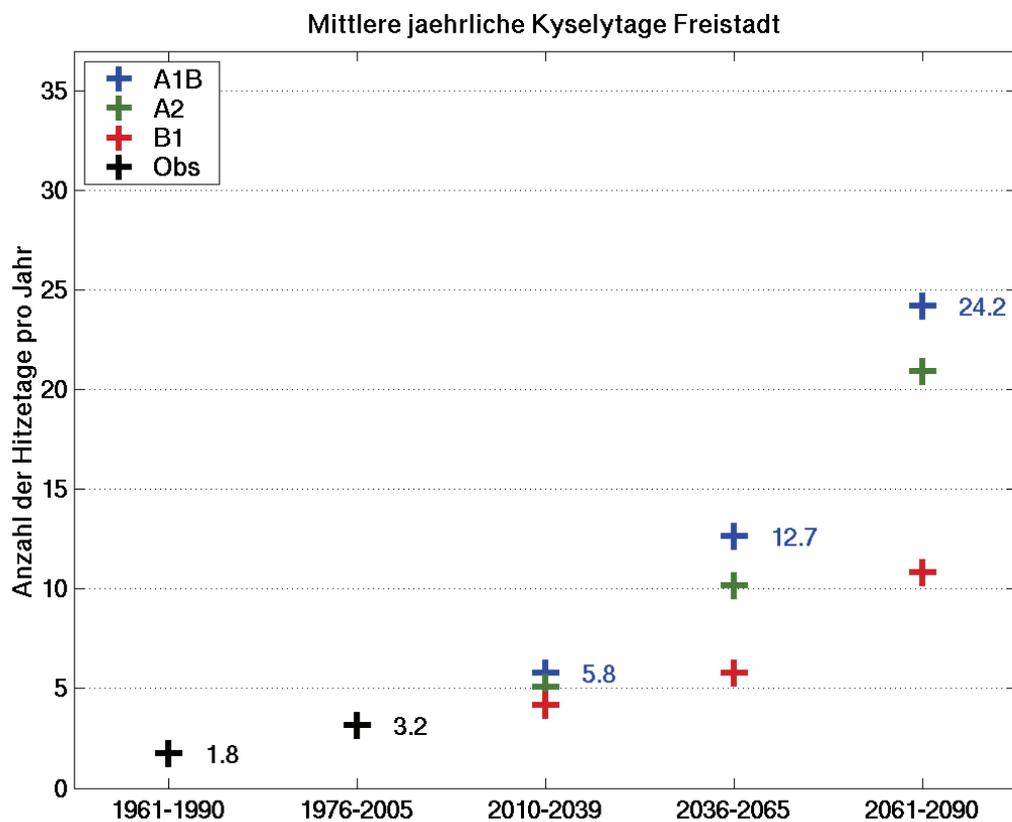


Abb. 11: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Kysely-Tagen und A1B-Szenario für die Station Freistadt.

Zeitliche Entwicklung der Hitzetage für verschiedene Emissionsszenarien

Die Entwicklung der Hitzetage verläuft sehr ähnlich wie die der Kysely-Tage. Auffallend ist, dass es immer mehr Hitzetage als Kysely-Tage gibt, obwohl nach der Definition nicht alle Kysely-Tage Hitzetage sein müssen. Das bedeutet, dass auch vereinzelte Hitzetage häufig vorkommen. Die Differenz wird jedoch mit zunehmender Anzahl an Kysely- bzw. Hitzetagen relativ kleiner. So beträgt der Unterschied in Hörsching in der letzten Periode für das A1B Szenario nur mehr 0.6 Tage und dies bei einer mittleren Anzahl von 36.1 Hitzetagen, somit rund 1.5 %. In der Periode davor (um 2050) beträgt der Unterschied noch rund 10 %. Derzeit beträgt der Unterschied in Hörsching etwa 25 %.

In den Abbildungen 12 bis 15 sind die Ergebnisse für die Hitzetage in der selben Art dargestellt wie für die Kysely-Tage in den Abbildungen 8 bis 11. Da hier Mittelwerte eingetragen sind, entsprechen die Ergebnisse für das A1B Szenario (blaue Kreuze) den in den Abbildungen 4 bis 7 als Zahlenwerte eingetragenen Mittelwerten.

Für das optimistische B1 Szenario ist diese Annäherung von Kysely- und Hitzetagen nicht so ausgeprägt und beträgt um 2050 etwa 25 % und um 2075 rund 20 %. Anscheinend beginnt ab einem Wertebereich von 20 bis 25 Tagen pro Jahr der Unterschied zwischen Kysely- und Hitzetagen abzunehmen um bei Werten um 35 Tagen pro Jahr nahezu zu verschwinden. Bei einem derart häufigen Auftreten von Werten über 30°C ergibt faktisch jede Schönwetterperiode während des Sommers eine Kysely - Periode.

4. Strategien und Maßnahmen

Minderungsstrategien und -maßnahmen

Wie aus dem Vergleich der Temperaturentwicklung für die vier unterschiedlichen Emissionsszenarien hervorgeht, ist die Reduktion der Emissionen eine vordringliche Maßnahme. Dazu stehen grundsätzlich vier Möglichkeiten zur Verfügung (Stern 2006):

1. Senkung des Bedarfes für emissionsintensive Güter und Leistungen
2. Erhöhung der Effizienz der Nutzung von emissionsintensiven Gütern und Leistungen, insbesondere der Energie
3. Setzen von Maßnahmen im Bereich der Nicht-Energie Emissionen, wie etwa Übergang zu Biologischer Landwirtschaft oder Aufforstung
4. Wechsel zu Technologien mit geringeren Kohlenstoffemissionen zur Energie- und Wärmeerzeugung und im Transport

Während der letzten und in vermehrtem Maße auch der zweiten Maßnahme in Österreich zunehmend Beachtung geschenkt wird, werden die anderen beiden, insbesondere die Bedarfssenkung noch kaum diskutiert. Zur Eindämmung des Klimaproblems, insbesondere wenn sich „Peak Oil“ auszuwirken beginnt, wird jedoch in den industrialisierten Staaten die Umsetzung aller Arten von Maßnahmen erforderlich sein, und dies in weit größerem Ausmaß als derzeit von Klimaschutzplänen und –strategien angestrebt wird. Die Möglichkeiten hierzu darzustellen sprengt den Rahmen dieser Analyse.

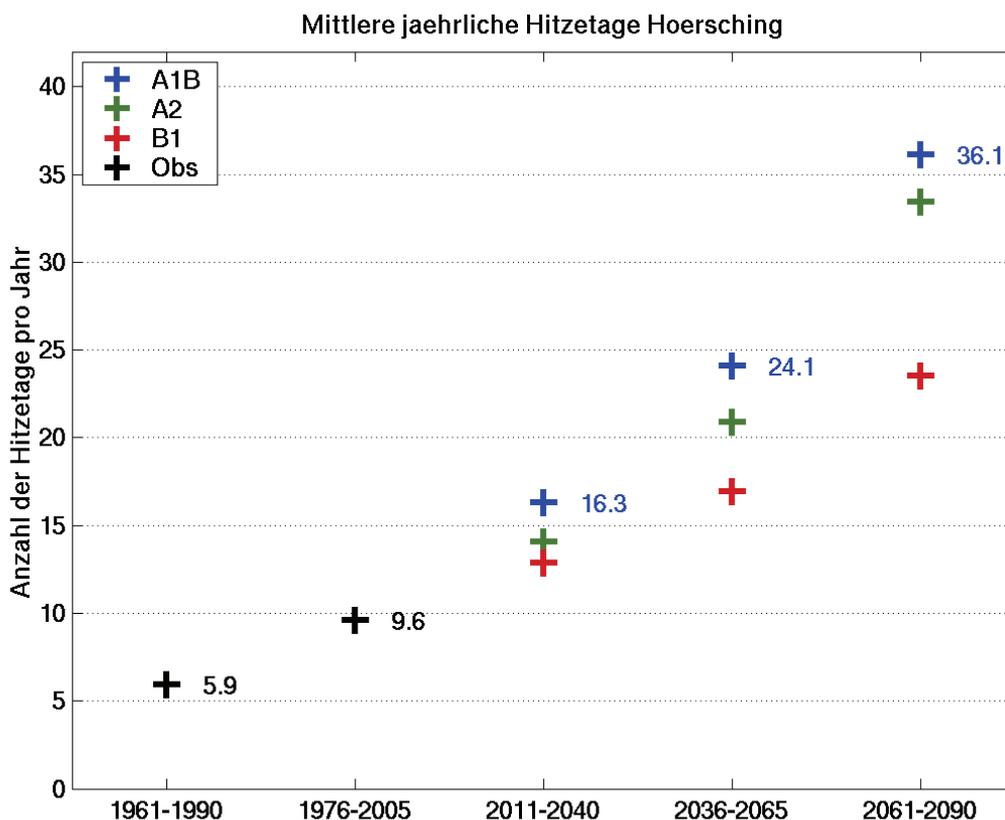


Abb. 12: Auswirkung der Emissionsszenarien auf die mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr an der Station Hörsching.

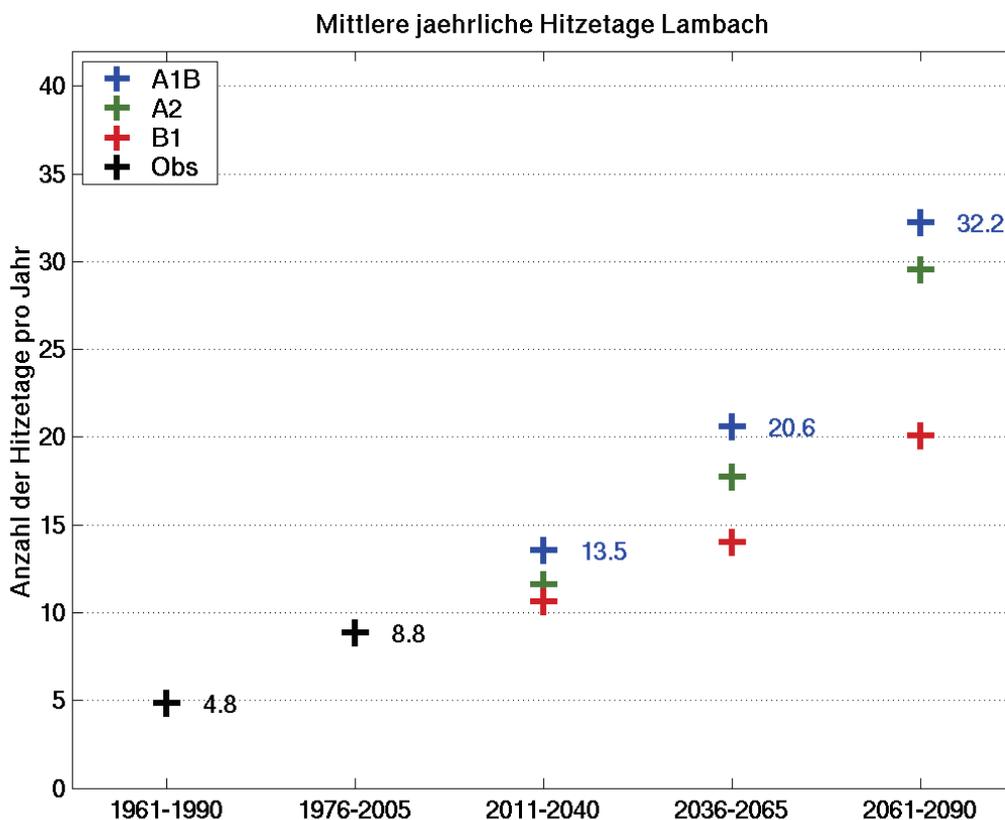


Abb. 13: Auswirkung der Emissionsszenarien auf die mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr an der Station Lambach.

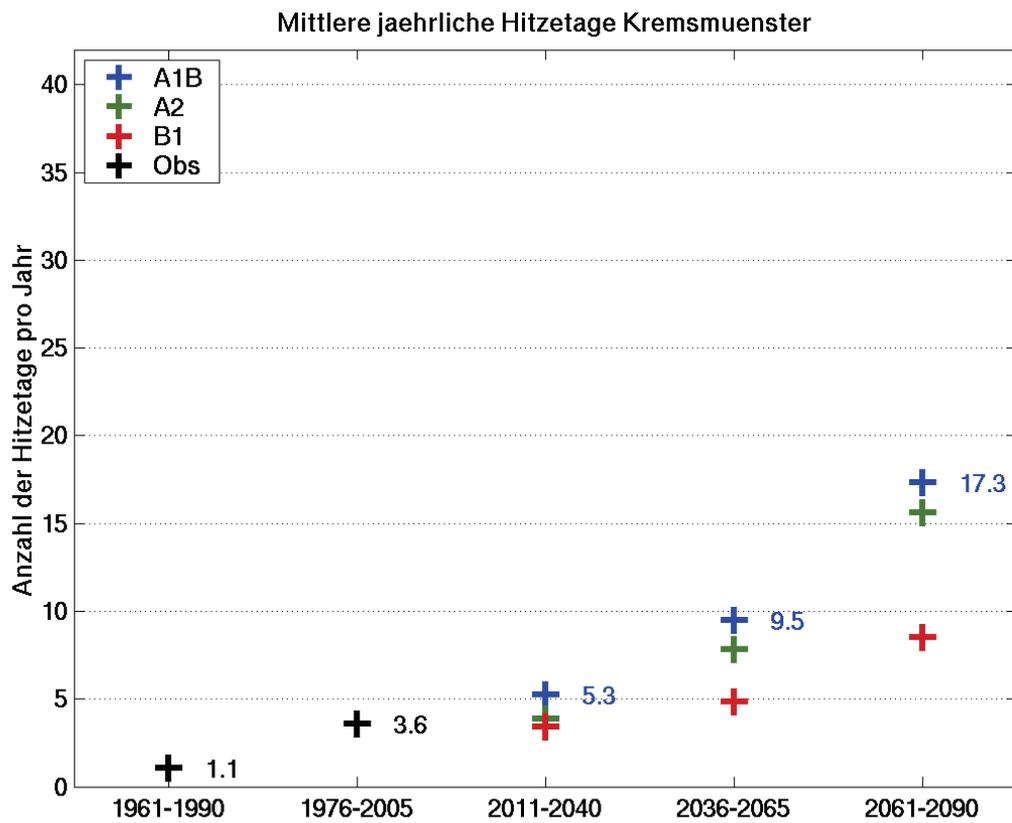


Abb. 14: Auswirkung der Emissionsszenarien auf die mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr an der Station Kremsmünster.

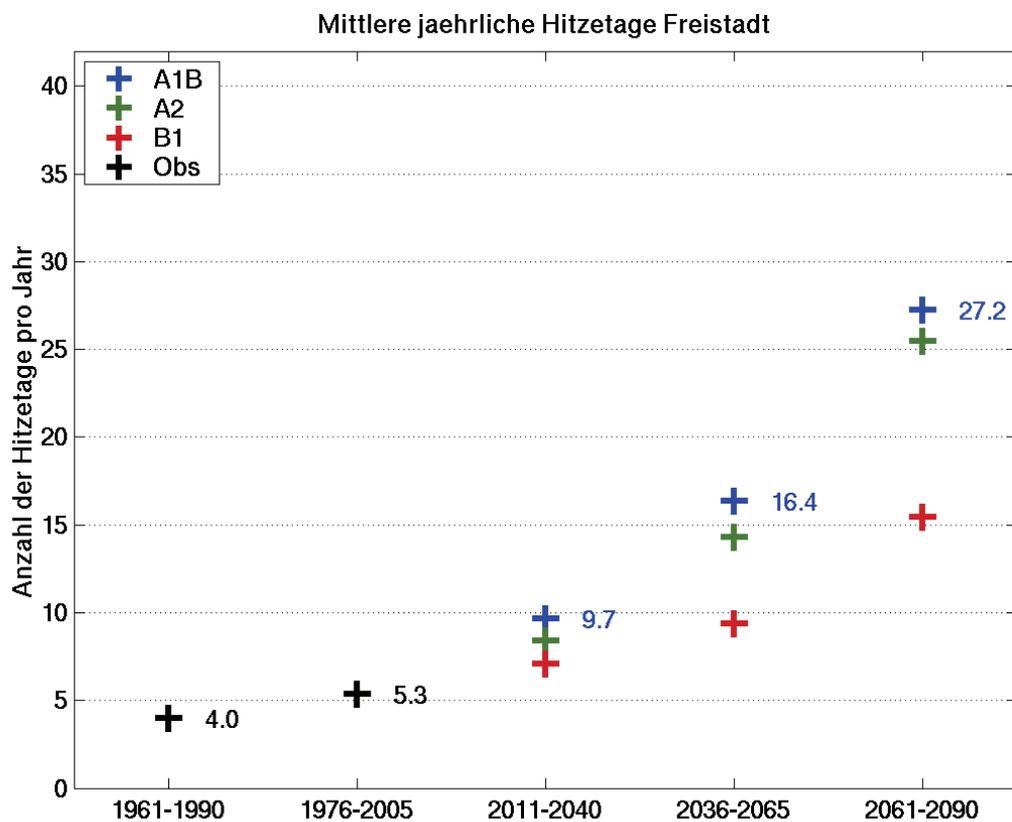


Abb. 15: Auswirkung der Emissionsszenarien auf die mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr an der Station Freistadt.

Anpassungsstrategien und –maßnahmen

In dem Maße, in dem der Klimawandel unvermeidbar geworden ist, müssen sich ökologische, Wirtschafts- und Gesellschaftssysteme an die veränderten Bedingungen anpassen. Dabei sind zwei Grundprinzipien zu beachten:

1. Die Anpassung muss sich am Klima der Zukunft orientieren, nicht am gegenwärtigen. Je längerfristig die Anpassungsmaßnahme wirksam bleiben soll, je länger der Zeitraum, für den die Investition gemacht wird, desto längerfristig muss der Klimawandel betrachtet werden. Für den Klimawandel vorzusorgen bedeutet sozusagen, ein bewegtes Ziel anzupeilen.
2. Exakte Klimaprognosen sind nicht möglich, nicht so sehr weil Modelle immer von der Realität abweichen, sondern vielmehr weil die Menschen selber ihre Zukunft mitbestimmen. Systeme müssen daher als Teil der Anpassungsstrategie flexibel gestaltet werden, d.h. sie müssen in die Lage versetzt werden, sich den Änderungen dynamisch anzupassen. Wälder z.B. sollten nicht auf ein bestimmte Klimasituation optimiert angepflanzt werden, sondern die Zusammensetzung der Baumarten sollte Spielraum für verschiedene Klimaentwicklungen geben.

Im Konkreten sollten der Erstellung von Anpassungsstrategien und –maßnahmen noch Analysen der Auswirkungen der Zunahme der Hitzetage und –perioden auf die verschiedenen natürlichen und anthropogenen Systeme vorangehen. Im Falle der Gesundheit, insbesondere der Mortalität, ist eine solche Studie für Oberösterreich in Arbeit.

Neben den direkten Auswirkungen auf Wohlbefinden und Gesundheit der Menschen wird es aber auch indirekte Auswirkungen und Interaktionen mit anderen Klimafolgen geben. So ist damit zu rechnen, dass aufgrund der heißen Sommerbedingungen speziell im oberösterreichischen Zentralraum der Bedarf an Gebäudekühlung dramatisch zunehmen wird. Sollte wie bisher ein Grossteil der Klimaanlagen elektrisch betrieben werden, könnte dies zu „US-amerikanischen“ Bedingungen führen, wo der Energie - und hier speziell der Stromverbrauch - im Sommer höher ist als im Winter.

Gerade die Stromversorgung im Sommer könnte in Mitteleuropa jedoch zum Problem werden. Neben dem Temperaturanstieg rechnet man im Sommer und Herbst mit einer Abnahme des Niederschlages bei uns im Alpenraum. In Kombination mit der früheren und geringeren Schneeschmelze und dem Rückgang der „Gletscherspende“ wird es zu deutlich größeren Schwankungen in der Wasserführung alpiner Flüsse in der zweiten Sommerhälfte kommen. Leider ist damit zu rechnen, dass gerade wenn aufgrund einer Hitzewelle besonders hoher Kühlenergiebedarf besteht, die Produktion aus Flusskraftwerken massiv zurückgehen wird, und es sogar soweit kommen kann, dass kalorische und Kernkraftwerke abgeschaltet werden müssen, da zu wenig Kühlwasser zur Verfügung steht, dieses zu stark aufgeheizt würde oder die Wassertemperaturen zu hoch sind, um die nötige Kühlung zu gewährleisten.

Nicht nur der Mensch reagiert auf Hitzebelastung, sondern natürlich auch Tiere und Pflanzen. Besonders bei Pflanzen kann die Kombination Hitzestress, Wasserstress und Ozonbelastung zu weit stärkeren Auswirkungen führen als die einzelnen Faktoren alleine. Günstigere Lebensbedingungen für Bakterien bei hohen Temperaturen wiederum könnten zu Problemen der Wasserqualität in den Seen oder gar im Trinkwasser führen. Aber auch die Auswirkung von extremer Hitze auf Materialien (z.B. Asphalt) sollten nicht unterschätzt werden.

Dies ist keine vollständige Aufzählung der möglichen Auswirkung zunehmender Hitzebelastung. Die Beispiele sollen nur aufzeigen, dass die unterschiedlichsten Sektoren und Bereiche schon durch diesen einen Aspekt des Klimawandels betroffen sind.

Aus diesen Beispielen ergeben sich bereits einige mögliche Anpassungsmaßnahmen:

Bestehende Gebäude thermisch sanieren oder wenigsten durch Anbringung von Außenjalousien, durch Begrünung von Wänden und Dächern, etc. vor zu großer Aufheizung im Sommer schützen. Wo das nicht möglich ist, sollte ein Abdunkelungs- und Lüftungsplan erstellt werden und möglichst emissionsarme Kühlmöglichkeiten, wie etwa solarbetriebene Ventilatoren oder im Extremfall Klimaanlage vorgesehen werden. Bei der künstlichen Klimatisierung, die immer energieintensiv ist, ist darauf zu achten, dass nur die notwendigen Räume gekühlt werden. Wärmequellen innerhalb des Wohnbereiches – etwa Computer – sind auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Diese Maßnahmen sind sowohl im Wohnbereich, in Schulen, Kindergärten, Pensionistenheimen und Spitälern, als auch in Büro- und Arbeitsräumen zu ergreifen.

Technologische Entwicklungen zur effizienten Klimatisierung mit alternativen Energien wären jedenfalls anzustreben.

Bei Neubauten kann die Architektur durch Ausrichtung der Gebäude, durch sorgfältige Dimensionierung der Fenster, durch regulierte Zwangsbe- und Entlüftung und durch geeignete Wärmedämmungsmaßnahmen (kurz, alles was für ein Passiv- oder Negativ-Energiehaus gut ist) für ein angenehmes Wohn- und Aufenthaltsklima auch bei großer Hitze sorgen. Die Politik kann durch entsprechende Finanzierungsanreize, Vorgaben, etc. derartige Entwicklungen vorantreiben.

Die Stadtplanung kann viel zur Milderung der Auswirkungen der Hitze auf die Menschen beitragen: Beschattung, Begrünung, Durchlüftung, Wasserflächen, Trinkmöglichkeiten sind nur ein paar der wichtigsten Maßnahmen. Die Schaffung von Erholungsräumen, die mit öffentlichen Verkehrsmitteln auch für ärmere und ältere Menschen bequem und schnell erreichbar sind, sollte gerade für die Stadt Linz kein Problem darstellen.

Durch Umstellung der Arbeitszeiten auf die Morgen- und Abendstunden könnte die größte Hitze im Arbeitsprozess vermieden werden, und damit auch die damit einhergehenden Probleme des Konzentrationsmangels und der Unfälle.

Um eventuellen Energieengpässen zu begegnen, ist die Bedarfsreduktion, die Effizienzsteigerung und der Übergang zu erneuerbaren Energien wesentlich. Diese Maßnahmen zählen daher nicht nur zu den Minderungsmaßnahmen, sondern sind auch Teil einer Anpassungsstrategie. Es ist allerdings zu beachten, dass Wasserkraft, aber auch Windenergie gerade in sommerlichen Hitzeperioden nur in geringem Maße zur Verfügung stehen könnten. Hingegen sind derartige Perioden natürlich für Solar- und Photovoltaik anlagen günstig. Es geht also auch hier um die Schaffung eines diversifizierten Systems der Energieversorgung, das auf die jeweiligen Verhältnisse flexibel reagieren kann.

Auch die Infrastruktur erfordert möglicherweise Anpassungsmaßnahmen. So sollten etwa die Straßenbeläge auf deren Hitzebeständigkeit überprüft werden, und - wo erforderlich – im Zuge der regelmäßig durchgeführten Reparaturen und Sanierungen durch hitzebeständigere ersetzt werden. Die Lage diverser Leitungen – auch unterirdisch – wäre zu überprüfen, ob eine Beeinträchtigung durch Hitze denkbar ist. Dies gilt z.B. für Wasserleitungen in Zusammenhang mit der Trinkwasserqualität, aber

auch für elektrische Leitungen, deren Isolierungen erhöhten Temperaturen ausgesetzt werden könnten.

Die Wasserqualität kann in Seen und Flüssen zum Problem werden – erfordert aber jedenfalls sorgfältige und vermehrte Überprüfungen im Fall von Hitzeperioden. Dasselbe gilt für die gesamte Kühlkette im Lebensmittelbereich, an die erhöhte Anforderungen gestellt werden.

Im Bereich der Land- und Forstwirtschaft machen vermehrte Hitzeperioden die Auswahl von Arten und Sorten erforderlich, die größere Hitze und Trockenheit vertragen. Gerade in der Landwirtschaft können jedoch auch geeignete Bearbeitungsmethoden die Anpassung an den Klimawandel erleichtern. Wo genug Wasser vorhanden ist, kann natürlich auch künstliche Bewässerung eine angemessene Anpassungsmethode darstellen. In jedem Fall wird aber darauf zu achten sein, dass möglichst wenig Wasser dabei verdunstet. Beim Wald kann auch die Waldbrandgefahr zunehmen.

Schon aus diesen beispielhaft angeführten Problemkreisen ist erkenntlich, dass die Anpassungserfordernisse, aber auch die -möglichkeiten vielfältig und groß sind. Wichtig ist, auf allen Ebenen rechtzeitig mit Anpassungsmaßnahmen zu beginnen und diese so zu wählen, dass sie dem Problem angemessen sind und dass sie nicht im Widerspruch zu den ebenfalls notwendigen Minderungsmaßnahmen stehen.

5. Interpretation und Zusammenfassung

Die Erwärmung der letzten drei Jahrzehnte hat sich bereits auf die Hitzebelastung in Oberösterreich ausgewirkt. Die hier verwendeten Indikatoren für die Hitzebelastung die „Hitzetage“ und die „Kysely-Perioden“ haben sich innerhalb der letzten 15 Jahre sowohl hinsichtlich der Mittelwerten als auch hinsichtlich der extrem warmen Jahre nahezu verdoppelt. Nicht nur der außergewöhnliche Sommer 2003 mit 36 Hitzetagen in Hörsching hat hierzu beigetragen - es ist eine kontinuierliche Entwicklung zu beobachten.

Betrachtet man die für vier oberösterreichische Stationen abgeleiteten Szenarien, basierend auf dem neuesten Klimamodell ECHAM5, so wird sich der beobachtete Anstieg der Hitzebelastung während des gesamten 21. Jahrhunderts fortsetzen. Zwar ist die weitere Entwicklung stark davon abhängig, welche Entscheidungen die Menschheit trifft – das optimistische Emissionsszenario führt in Oberösterreich nur zu einem halb so starken Anstieg der Hitzebelastung wie das pessimistische A1B Szenario –, dennoch muss man selbst im günstigsten Fall mit einem Anstieg der Hitzebelastung bis zum Ende des Jahrhunderts rechnen.

In dem hier abgeleiteten schlimmsten Szenario muss man in 70 Jahren im Zentralraum von Oberösterreich im Mittel mit Bedingungen rechnen, wie sie im Hitzesommer 2003 aufgetreten sind, aber es wird sogar Jahre geben, in denen 68 Hitzetage – faktisch die gesamten Sommerferienzeit – auftreten. Selbst im günstigen B1 Szenario werden um 2075 rund 20 bis 25 Hitzetage im Mittel erreicht werden und somit immer noch das 2.5-fache der derzeitigen Werte. Dieser Wertebereich wird im schlimmeren A1B Szenario bereits um 2050 erreicht.

Welche Folgen die zunehmende Hitzebelastung haben wird, und ab wann diese zum Problem werden, ist schwierig abzuschätzen. Das Jahr 2003 hat gezeigt, dass nur geringfügig wärmere Bedingungen und das kurzfristige Auftreten von besonders hohen Temperaturen in Frankreich und Teilen Deutschlands zu einem rasanten Anstieg

der Todesfälle geführt hat. Mit den konkreten Auswirkungen der Hitzebelastung auf den Menschen beschäftigt sich eine eigene Studie im Rahmen dieser Reihe.

Die Auswirkungen zunehmender Hitze beschränken sich aber nicht nur auf die direkten Gesundheitswirkungen. Es ist von einem erhöhten Kühlbedarf in Gebäuden zu rechnen, und dies zu Zeiten, in denen Strom aus kalorischen-, Wasser- und Kernkraftwerken infolge der geringen Wasserführung der Flüsse knapp werden könnte, und auch die Windenergie keine großen Beiträge liefern wird. Da Hitzeperioden in Europa meist mit großräumigen Hochdruckgebieten einhergehen, wären große Gebiete gleichzeitig betroffen. Die Hitze kann sich auch auf die Wasserqualität – Trinkwasser, Badeseen, Flüsse – auswirken, auf die landwirtschaftliche Produktion und auf die Wälder, die u.a. durch Waldbrand gefährdet sein können.

Wie aus dem Vergleich der Temperaturentwicklung für die vier unterschiedlichen Emissionsszenarien hervorgeht, ist die Reduktion der Emissionen eine vordringliche Maßnahme. Dies kann durch Senkung des Bedarfes für emissionsintensive Güter und Leistungen, Erhöhung der Effizienz, Setzen von Maßnahmen im Bereich der Nicht-Energie Emissionen und dem Wechsel zu Technologien mit geringeren Kohlenstoffemissionen zur Energie- und Wärmeerzeugung und im Transport erreicht werden. Zur Eindämmung des Klimaproblems, insbesondere wenn sich „Peak Oil“ auszuwirken beginnt, wird in den industrialisierten Staaten die Umsetzung aller Arten von Maßnahmen erforderlich sein.

In dem Maße, in dem der Klimawandel unvermeidbar geworden ist, müssen sich ökologische, Wirtschafts- und Gesellschaftssysteme an die veränderten Bedingungen anpassen. Die Anpassung muss sich am Klima der Zukunft orientieren und sie muss die Flexibilität der Systeme sicherstellen. Die Anpassungserfordernisse, aber auch die -möglichkeiten sind vielfältig. Sie können beim Verhalten, bei der Organisation oder bei der Technologie ansetzen. Wichtig ist, auf allen Ebenen rechtzeitig mit Anpassungsmaßnahmen zu beginnen und diese so zu wählen, dass sie dem Problem angemessen sind und dass sie nicht im Widerspruch zu den ebenfalls notwendigen Minderungsmaßnahmen stehen.

Literaturverzeichnis

- Auer, I., Böhm, R., Hammer, N., Koch, E., Lipa, W., Mohnl, H., Potzmann, R., Retitzky, C., Svabik, O., 1995: Klimatographie und Klimaatlas von Oberösterreich. Teil 1. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.
- 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.
- Frank, A., Seibert, P., Formayer, H., Haas, P. (2005): A new downscaling approach to derive heat episodes on a regional scale from GCM scenarios. In: European Geoscience Union: EGU General Assembly 2005, 24-29 April 2005, Wien; Geophysical Research Abstracts, CD-ROM, Volume 7; ISSN: 1029-7006.
- IPCC 2007a: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers.
- IPCC 2007b: Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers
- Kysely J. (2004): Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. Int J Biometeorol 49: 91–97
- Roeckner, Erich; Lautenschlager, Michael; Schneider, Heiko 2006; IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40 SRESA1B run no.1: tmosphere 6 HOUR raw data MPImet/MaD Germany. CERA-DB "EH5T63L31_OMGR1.5L40_A1B_1_RAW" http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=EH5T63L31_OMGR1.5L40_A1B_1_RAW
- Schöner, W., I. Auer, R. Böhm, and S. Thaler, 2003: Quality control and statistical characteristics of selected climate parameters on the basis of daily values in the face of Extreme Value Analysis (German). In: StartClim – Start Project: First analysis of extreme weather events and their impacts on Austria, H. Kromp-Kolb and I. Schwarzl (Eds.), Chapter 1, pp. pp 54. Institute of Meteorology and Physics, BOKU - University of Natural Resources and Applied Life sciences, Türkenschanzstraße 18, A-1180 Vienna, Austria. <http://www.austroclim.at/startclim/>.
- Stern, (2006): STERN REVIEW: The Economics of Climate Change. http://www.hm-treasury.gov.uk/Independent_Reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.c (Zugriffsdatum: 23.10.2006)
- Uppala, S., 2003: ECMWF ReAnalysis 1957–2001, ERA-40. Proceedings of the Workshop on Reanalysis. 5–9 Nov. 2001, ECMWF. 1–10.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Jahresmitteltemperatur in Oberösterreich (1961-1990) und Lage der im Beitrag bearbeiteten meteorologischen Stationen.	6
Abb. 2: Dreißigjährige Zeitperioden, die in der Analyse verwendet werden.	8
Abb. 3: Evaluierung des Regionalisierungsverfahrens an den 4 oberösterreichischen Stationen anhand der Hitzetage. Die Übereinstimmung der modellierten Daten mit den Beobachtungen ist in den mittleren Bereichen sehr gut. Die Variabilität von Jahr zu Jahr wird im Modell etwas unterschätzt.	10
Abb. 4: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Hitzetagen und A1B-Szenario für die Station Hörsching.	12
Abb. 5: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Hitzetagen und A1B-Szenario für die Station Lambach.	12
Abb. 6: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Hitzetagen und A1B-Szenario für die Station Kremsmünster.	13
Abb. 7: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Hitzetagen und A1B-Szenario für die Station Freistadt.	13
Abb. 8: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Kysely-Tagen und A1B-Szenario für die Station Hörsching.	15
Abb. 9: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Kysely-Tagen und A1B-Szenario für die Station Lambach.	15
Abb. 10: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Kysely-Tagen und A1B-Szenario für die Station Kremsmünster.	16
Abb. 11: Beobachtete Veränderung der Anzahl an Kysely-Tagen und A1B-Szenario für die Station Freistadt.	16
Abb. 12: Auswirkung der Emissionsszenarien auf die mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr an der Station Hörsching.	18
Abb. 13: Auswirkung der Emissionsszenarien auf die mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr an der Station Lambach.	18
Abb. 14: Auswirkung der Emissionsszenarien auf die mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr an der Station Kremsmünster.	19
Abb. 15: Auswirkung der Emissionsszenarien auf die mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr an der Station Freistadt.	19
Tab. 1: Temperaturkennzahlen für Linz-Stadt und Hörsching 1961-1990.	6

Forschungsreihe: „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“

Band 1: Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen

Band 2: Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich

Band 3: Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in Oberösterreich

Bisher erschienen in der Reihe BOKU-Met Report:

Berichte von 2003 – 2008

- 1 Eitzinger, J., Kubu, G., Formayer, H., Haas, P., Gerersdorfer, T., Kromp-Kolb, H. (2009): **Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedlersees** (Endbericht im Auftrag der Burgenländischen Landesregierung vom 15. Juli 2005).
- 2 Frank, A., Seibert, P. (2009): **Diagnose von Extremereignissen aus großräumigen meteorologischen Feldern** (Endbericht StartClim.4, November 2003).
- 3 Formayer, H., Matulla, C., Haas, P., Groll, N. (2009): **Statistische Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich aus GCM-Feldern** (Endbericht StartClim.5, November 2003).
- 4 Schwarzl, I., Haas, W. (2009): **Kommunikation an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung** (Endbericht StartClim.11, November 2003).
- 5 Formayer, H., Haas, P., Matulla, C., Frank, A., Seibert, P. (2009): **Untersuchungen regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich** (Endbericht StartClim2004.B, November 2003).
- 6 Schwarzl, I., Lang, E. (2009): **"Hängen Hitze und Leistungsfähigkeit zusammen?"** Ein Projekt an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung (Endbericht StartClim2004.G, Jänner 2005).
- 7 Formayer, H., Kromp-Kolb, H. (2009): **Hochwasser und Klimawandel**. Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Österreich (Endbericht WWF 2006).
- 8 Gerersdorfer, T., Frank, A., Formayer, H., Haas, P., Moshhammer, H. (2009): **Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima** (Endbericht StartClim2005.A1b, November 2006).
- 9 Krüger, B. C., Schicker, I., Formayer, H., Moshhammer, H. (2009): **Feinstaub und Klimawandel – Gibt es Zusammenhänge in Nordostösterreich?** (Endbericht StartClim2006.A, Juli 2007).
- 10 Rössler, M., Laube, W., Weihs, P. (2009): **Avoiding bird collisions with glass surfaces**. Experimental investigations of the efficacy of markings on glass panes under natural light conditions in Flight Tunnel II (Final report, March 2007).
- 11 Formayer, H., Hofstätter, M., Haas, P. (2009): **Untersuchung der Schneesicherheit und der potenziellen Beschneigungszeiten in Schladming und Ramsau** (Endbericht STRATEGE, Oktober 2007).
- 12 Kromp-Kolb, H., Formayer, H., Haas, P., Hofstätter, M., Schwarzl, I. (2009): **Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen** (Endbericht Band 1 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“, Februar 2007).

Alle Berichte sind unter <http://www.boku.ac.at/met/report/> online verfügbar.