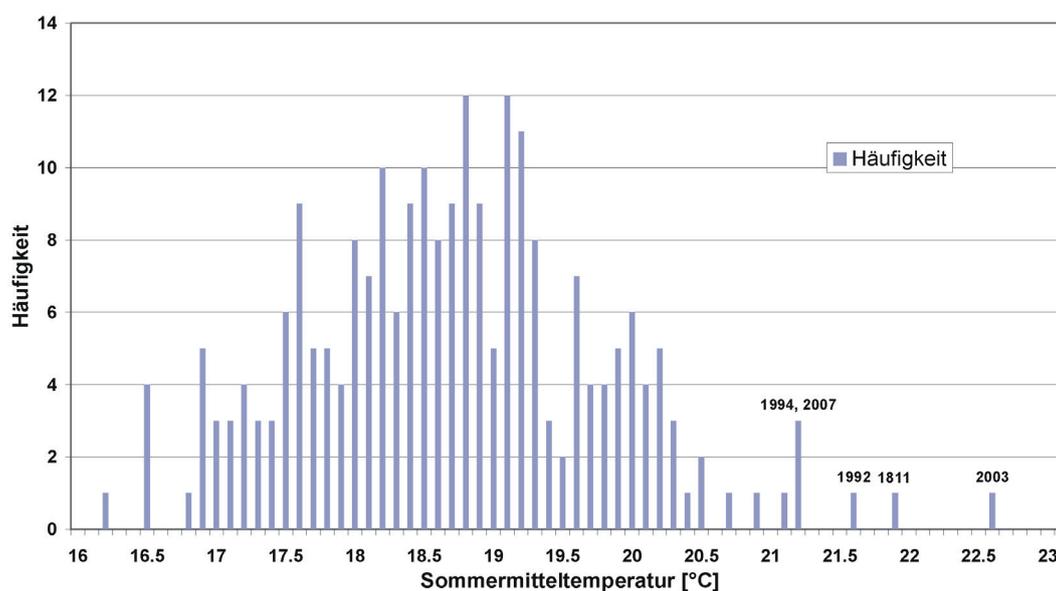


Vor Sicht Klima! Klimawandel in Österreich, regional betrachtet

Herbert Formayer, Lukas Clementschitsch, Michael Hofstätter,
Helga Kromp-Kolb

Sommertemperaturen in Wien von 1775 bis 2009



Endbericht
im Auftrag von Global 2000 Österreich

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

September 2009

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

**Herbert Formayer, Lukas Clementschitsch,
Michael Hofstätter, Helga Kromp-Kolb**

Vor Sicht Klima! Klimawandel in Österreich, regional betrachtet

Endbericht
im Auftrag von Global 2000 Österreich

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Formayer, H., Clementschitsch, L., Hofstätter, M., Kromp-Kolb, H. (2009): Vor Sicht Klima! Klimawandel in Österreich, regional betrachtet (Endbericht Global 2000, Mai 2008). BOKU-Met Report 16, ISSN 1994-4179 (Print), ISSN 1994-4187 (Online). Verfügbar unter: http://www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met_Report_16_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/>



Vor Sicht Klima!

Klimawandel in Österreich, regional betrachtet

**Herbert Formayer
Lukas Clementschitsch
Michael Hofstätter
und
Helga Kromp-Kolb**

Studie im Auftrage von Global 2000 Österreich

Wien, Mai 2008

Auftraggeber:

GLOBAL 2000
Umweltforschungsinstitut
Neustiftgasse 36
1070 Wien

Auftragnehmer:

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

Autoren:

Herbert Formayer,
Lukas Clementschitsch,
Michael Hofstätter,
und
Helga Kromp-Kolb

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

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	5
1	Der globale Klimawandel	7
1.1	<i>Klimaszenarien und ihre Grenzen</i>	11
2	Klima- und Naturlandschaften Österreichs	19
3	Klimawandel in Österreich	24
3.1	<i>Allgemeine Beobachtungen</i>	25
3.1.1	Temperatur.....	25
3.1.2	Niederschlag.....	27
3.1.3	Extremereignisse.....	28
3.2	<i>Klimaänderungsszenarien für Österreich</i>	38
3.2.1	Temperatur.....	38
3.2.2	Niederschlag.....	40
3.2.3	Extremereignisse.....	42
4	Auswirkungen des Klimawandels auf das österreichische Flachland	45
4.1	<i>Energie</i>	45
4.2	<i>Infrastruktur</i>	48
4.3	<i>Land- und Forstwirtschaft</i>	49
4.4	<i>Mögliche Anpassungsmaßnahmen</i>	54
4.4.1	Energie.....	54
4.4.2	Infrastruktur.....	55
4.4.3	Land- und Forstwirtschaft.....	56
5	Auswirkungen des Klimawandels auf den Alpenraum	58
5.1	<i>Energie</i>	59
5.2	<i>Infrastruktur</i>	60
5.3	<i>Land- und Forstwirtschaft</i>	63
5.4	<i>Mögliche Anpassungsmaßnahmen</i>	65
5.4.1	Energie.....	65
5.4.2	Infrastruktur.....	66
5.4.3	Land- und Forstwirtschaft.....	67

6	Auswirkungen des Klimawandels auf die Großstadt Wien	68
6.1	<i>Energie</i>	78
6.2	<i>Infrastruktur</i>	79
6.3	<i>Land- und Forstwirtschaft.....</i>	81
6.4	<i>Mögliche Anpassungsmaßnahmen</i>	81
6.4.1	Energie.....	81
6.4.2	Infrastruktur	82
6.4.3	Land- und Forstwirtschaft.....	83
7	Betrachtung auf Bundesländerebene	84
7.1	<i>Vorarlberg.....</i>	84
7.2	<i>Tirol.....</i>	85
7.3	<i>Salzburg</i>	86
7.4	<i>Kärnten</i>	88
7.5	<i>Steiermark</i>	89
7.6	<i>Oberösterreich.....</i>	91
7.7	<i>Niederösterreich</i>	91
7.8	<i>Wien.....</i>	93
7.9	<i>Burgenland</i>	93
8	Literaturverzeichnis	95

0 Einleitung

Seit erscheinen des letzten IPCC Berichtes zum globalen Klimawandel im letzten Jahr ist der menschenverursachte Klimawandel von der breiten Öffentlichkeit und auch von den politischen Entscheidungsträgern anerkannt worden. Das Wissen, dass ein gewisses Ausmaß an Klimaänderung nicht mehr verhindert werden kann, macht es notwendig, sich Gedanken über Anpassungsmaßnahmen an die lokale und sektorale Ausprägung des Klimawandels zu machen.

Alle globalen Klimamodelle zeigen für Mitteleuropa und speziell für den Alpenraum einen deutlich stärkeren Temperaturanstieg als im globalen Mittel. Generell muss man mit einem 1,5 bis 2 mal so starken Anstieg der Temperatur bei uns im Alpenraum rechnen. Bereits bis in die Mitte des 21. Jahrhunderts ist mit einem weiteren Temperaturanstieg von etwa 2 Grad zu rechnen. Dies ist etwa die selbe Größenordnung wie der bisher beobachtete Temperaturanstieg seit dem Ende der „kleinen Eiszeit“ in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert.

Neben dem Temperaturanstieg ist auch mit Veränderungen der Niederschlagsverhältnisse zu rechnen. Da jedoch die Berechnung des Niederschlages wesentlich schwieriger ist, sind die Unterschiede zwischen den Klimamodellen deutlich größer als bei der Temperatur. Dies gilt besonders im Alpenraum. Derzeit zeigen jedoch die Mehrzahl der Klimamodelle für Niederösterreich keine große Änderung der Jahresniederschlagssumme, jedoch eine Verschiebung des Niederschlages vom Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr. Weiters zeigt sich eine Zunahme der Niederschlagsintensität.

Die unterschiedlichen Veränderungen, ausgelöst durch den Klimawandel, werden sich in nahezu allen Lebenslagen bemerkbar machen. Durch die unterschiedliche Empfindlichkeit einzelner Regionen oder Wirtschaftssektoren, können jedoch die selben Veränderungen unterschiedliche Wirkungen erzielen.

Diese Studie hat sich zum Ziel gesetzt, anhand der drei wichtigen Lebensräume in Österreich, nämlich

- Östliches Flachland

Vor Sicht Klima!

- Alpiner Raum
- Großstadt Wien

Diese unterschiedlichen Empfindlichkeiten heraus zu arbeiten, relevante Prozesse zu beschreiben und die Wichtigkeit einzuschätzen. Dadurch soll der Leser in die Lage versetzt werden, für sich selbst abzuleiten, wie verletzlich er und sein Umfeld gegenüber dem Klimawandel sind.

1 Der globale Klimawandel

In der Erdgeschichte gab es immer schon Klimaschwankungen. Die derzeitige Erwärmung lässt sich aber nur mit dem menschlichen Einfluss erklären. Sie ist die schnellste und höchste der letzten 1.000 Jahre. Abhängig von der Treibhausgasentwicklung kann die Temperatur bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 6,4 °C im globalen Mittel ansteigen. Trotz vieler offener Fragen bei der Klimamodellierung, lassen sich schon eindeutige Änderungssignale erkennen. Aussagen über die Temperaturentwicklung sind robuster als jene über die Niederschlagsentwicklung. Besonders für Österreich, das in der Übergangzone mehrerer Klimazonen liegt, gestaltet sich die Niederschlagsmodellierung als äußerst schwierig.

Neben einer kontinuierlichen Veränderungen, wie sie von den Klimamodellen gezeigt wird, gibt es zusätzlich eine Reihe von möglichen Verstärkungseffekten, die zu einer deutlich stärkeren bzw. anderen Klimaentwicklung führen könnten. Beispiele hierfür sind das Zusammenbrechen des Golfstroms, oder die Umwandlung des Amazonasbeckens in eine Savanne. Gemeinsam ist diesen Effekten, dass sie zwar wenig Wahrscheinlich, jedoch nicht unmöglich sind. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten derartiger Phänomene nimmt mit der Höhe der Erwärmung zu.

In der Klimageschichte der Erde gab es immer Perioden kälterer und wärmerer Zeiten. Die historischen Veränderungen des Klimas können als natürliche Schwankungen angesehen werden. Die Temperaturschwankungen des derzeitigen Eiszeitalter, die Eis- und Zwischeneiszeiten, können mit Hilfe der von Milutin Milankovitsch (1879-1958) aufgestellten Zyklen-Theorie erklärt werden. Danach sind es drei Mechanismen, die für die Schwankungen des Strahlungsgenusses auf der Erdoberfläche verantwortlich sind: die Exzentrizität (Umlaufbahn der Erde um die Sonne), die Erdschiefe (Neigung der Erdachse um 23,5°) und die Präzision

Sonne), die Erdschiefe (Neigung der Erdachse um $23,5^\circ$) und die Präzision (Kreiselbewegung der Erdachse). Jeder dieser drei Mechanismen weist eine andere Periodizität auf. Sie reicht von 100.000 Jahre, über 41.000 Jahre bis hin zu 23.000 Jahre. Überschneiden sich die Minima dieser drei Größen entsteht eine neue Eiszeit. Weitere natürliche Ursachen für einen Klimawandel sind die Bewegung der Kontinente, die Land- Meerverteilung, Gebirgsbildung und der Vulkanismus. Der Großteil dieser natürlichen Klimafaktoren hat eine typische Reaktionszeit von Jahrtausenden bis hin zu Jahrmillionen.

Es gibt jedoch auch natürliche klimatische Schwankungen, die vom Menschen direkt wahrgenommen werden können, da sie auf einer Zeitskala von Jahrzehnten bis Jahrhunderten ablaufen. Derartige Schwankungen hängen in erster Linie mit Veränderungen in den Ozeanen zusammen.

Der derzeitige Temperaturanstieg, da sind sich die Klimaforscher jedoch einig, ist nicht alleine mit Hilfe natürlicherer Phänomene erklärbar. Die mittlere globale Temperaturzunahme von $0,8^\circ\text{C}$ im letzten Jahrhundert ist nur durch die Miteinbeziehung des menschlichen Einflusses auf die Umwelt ableitbar.

Beobachtungen belegen, dass der derzeitige Temperaturanstieg der rascheste und höchste der letzten 1.000 Jahren ist (Kromp-Kolb und Formayer, 2001). Als hauptverantwortlich gelten vor allem die vom Menschen emittierten Treibhausgase, wie z.B. Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und besonders das Kohlendioxid (CO_2). In den letzten 400.000 Jahren lag die Kohlendioxydkonzentration in der Atmosphäre nie höher als 280 ppm (parts per million). Erst mit dem Einsetzen der industriellen Revolution im 18. Jahrhundert stieg der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre deutlich an (Abbildung 1.1). Heute liegt er bei rund 385 ppm. Da diese Veränderung des Klimas durch den Menschen erfolgt, spricht man auch vom *anthropogenen* Klimawandel. Bereits im Jahr 1896 beschrieb der schwedische Wissenschaftler Svante Arrhenius (1859–1927), dass eine Anreicherung von Kohlendioxid in der Atmosphäre die Temperatur auf der Erde erhöhen könnte.

Da das Klimasystem sehr träge auf Veränderungen reagiert, ist auch ein Klimawandel mit allen seinen Auswirkungen für die nächsten 30 bis 50 Jahre unvermeidlich. Je weiter die Vorhersagen in die Zukunft reichen, umso unsicherer werden sie (zu Grenzen von Klimaszenarien siehe auch anschließendes Kapitel). Sie sind davon abhängig, welche Priorität der Klimaschutz und die Treibhausgasreduktion in Zukunft spielen werden.

Von dem anthropogenen Treibhauseffekt ist der *natürliche* Treibhauseffekt, der das Leben auf der Erde erst ermöglicht, zu unterscheiden. Der natürliche Treibhauseffekt führt zu einer Erhöhung der globalen Mitteltemperatur von -18 °C auf $+15\text{ °C}$. Treibhausgase haben die Eigenschaft, die von der Erde emittierten langwelligen Wärmestraahlen zu absorbieren, um so eine Auskühlung ins All zu verhindern. Die anthropogenen Treibhausgasemissionen stammen hauptsächlich aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe und aus der Rodung von Wäldern. Die Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen hat zur Folge, dass der Prozentsatz terrestrischer Wärmeabstrahlung ins All geschmälert wird. Gleichzeitig steigen die Temperaturen auf der Erdoberfläche und in der unteren Atmosphäre an.

Abbildung 1.1 beschreibt neben der Variabilität des Klimas auch die übereinstimmenden Kurvenverläufe der Treibhausgaskonzentrationen CO_2 und CH_4 mit der Temperatur für die letzten 400.000 Jahre. Diese historischen Schwankungen der Temperatur wurden jedoch nicht durch die Treibhausgaskonzentrationen ausgelöst, sondern stehen in Zusammenhang mit den Milankovitsch-Zyklen.

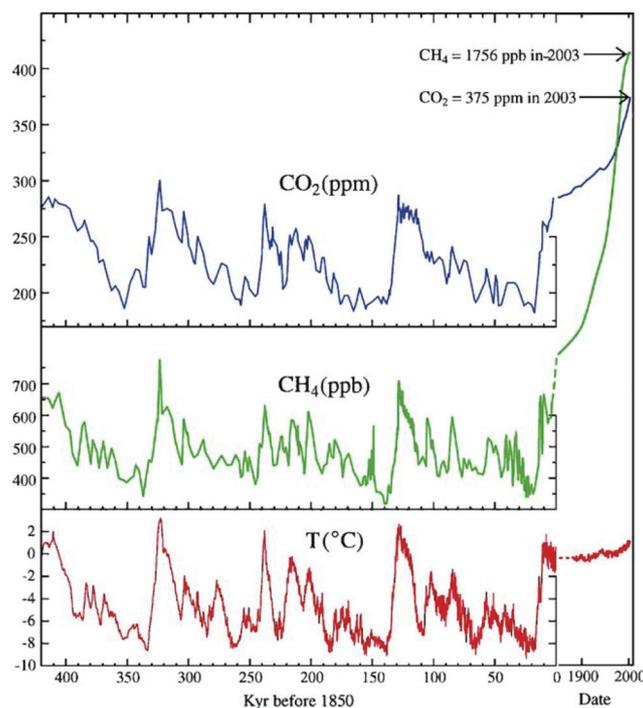


Abbildung 1.1: Verlauf von atmosphärischem Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Temperaturänderungen, gewonnen u.a. aus antarktischen Eisbohrkernen aus dem letzten Jahrhundert. Die mittlere Temperatur der Jahre 1880-1899 definiert den Temperaturnullpunkt. (Hansen, 2005)

Auch anhand von Klimamodellberechnungen kann der Einfluss des Menschen auf das Klima bzw. die Temperatur aufgezeigt werden. Der Vergleich von beobachteten und berechneten Temperaturentwicklungen bietet außerdem die Möglichkeit die Aussagekraft von Klimamodellen zu überprüfen (Bony et al., 2007). Das Ergebnis einer solchen Gegenüberstellung ist in den Abbildungen 1.2a und 1.2b abgebildet. Die schwarzen Linien stellen jeweils die beobachteten, die rote bzw. die dunkelblaue Linie zeigen, die aus mehreren Simulationen berechneten, mittleren Temperaturverläufe dar. Die rote Kurve unterscheidet sich zur dunkelblauen Kurve dadurch, dass sie den menschlichen Einfluss auf die Temperatur mit einbezieht. Die Schwankungsbreite der einzelnen Simulationen ist durch den gelben bzw. den hellblauen Bereich gekennzeichnet. In Abbildung 1.2a ist die weitgehende Übereinstimmung der Verläufe beider Kurven gut zu erkennen, in Abbildung 1.2b ist hingegen ab den 1960ern eine sichtbare Diskrepanz zwischen modelliertem und beobachtetem Klima festzustellen.

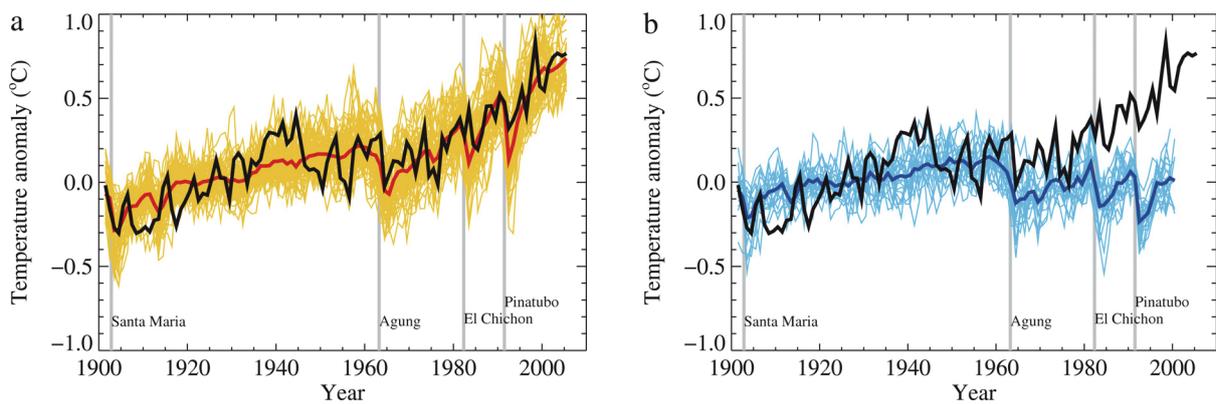


Abbildung 1.2: Modellberechnungen der Temperaturentwicklung für das 20. Jahrhundert (a) *mit* und (b) *ohne* menschlichen Einfluss. (Hegerl et al., 2007)

Die Frage, ob sich das Klima ändert, ist in den Fachkreisen beantwortet. Auch bei der Frage, dass diese Veränderungen nicht alleine auf natürliche Prozesse zurückzuführen sind, besteht weitgehender Konsens. Es bleibt aber noch zu klären, wie hoch der anthropogene Anteil an der beobachteten Klimaänderung tatsächlich ist. Eine vollständige Differenzierung zwischen „natürlicher Schwankung“ und „anthropogenem Einfluss“ wird aber niemals möglich sein, bzw. kann global nicht beantwortet werden, da durch Überlagerung dieser beiden Effekte sehr große regionale Unterschiede auftreten können. Durch Experimente mit realistischen Klimamodellen kann man jedoch zu der Beantwortung dieser Frage beitragen.

1.1 Klimaszenarien und ihre Grenzen

Klimaszenarien werden mit Hilfe von Klimamodellen simuliert. Klimamodelle bestehen aus einer Vielzahl von mathematischen Gleichungen, die versuchen das Klimasystem der Erde auf Grundlage von physikalischen Gesetzen zu beschreiben. Viele Komponenten des Klimasystems können nur vereinfacht dargestellt bzw. von berechneten Größen abgeleitet (parametrisiert) werden. Hierfür können verschiedene Ansätze verwendet werden. Dies führt dazu, dass sich die Ergebnisse der einzelnen Modelle unterscheiden. Auf Basis der Schnittpunkte eines dreidimensionalen Gitternetzes, welches über den Globus gelegt wird, werden die meteorologischen Größen wie Temperatur, Feuchte und Wind

Vor Sicht Klima!

schen Größen wie Temperatur, Feuchte und Wind berechnet. Je enger dieses Netz gespannt wird, desto feiner ist die Auflösung des Modells. Eine bessere Auflösung bedeutet aber auch mehr Rechenzeit am Computer. Die Maschenweite ist deshalb nicht beliebig wählbar. Die derzeitige mögliche räumliche Auflösung liegt bei einigen hundert Kilometern, wobei die Limitierung durch die Rechenleistung der Computer zustande kommt. Modelle mit denen das Weltklima simuliert wird, werden *Globale Klimamodelle* genannt (GCM).

Die geringe räumlichen Auflösung der GCMs lässt eine Interpretation der Ergebnisse nur auf globaler, höchstens aber auf kontinentaler Ebene zu (Kromp-Kolb und Formayer, 2005). Um dennoch Aussagen auf regionaler Ebene treffen zu können, bedient man sich verschiedenster Verfahren, die unter dem Begriff „Downscaling-Methoden“ (auch „Regionalisierung“) zusammengefasst sind. Dabei kommen Strategien zur Anwendung, die die GCM-Ergebnisse mit regionaler Information konsistent verbinden (Matulla et al., 2002).

Abbildung 1.3 zeigt die Funktionsweise eines dynamischen Downscalings mithilfe eines regionalen Klimamodells. Alle Modelle werden von GCMs angetrieben. Die Auflösung reicht von rund 300 km für ein GCM bis 10 km für ein regionales Klimamodell (RCM).

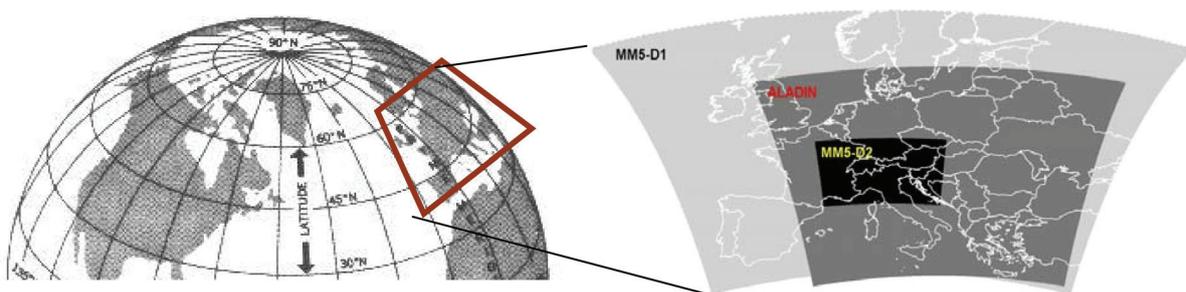


Abbildung 1.3: Schematische Darstellung eines Downscalings. (Reclip:More, 2007)

Globale und regionale Klimamodelle sollen anhand von Treibhausgasszenarien die zukünftige Entwicklung des Klimas berechnen. Hierbei gilt es aber Szenarien von

Vorhersagen zu unterscheiden. Im Gegensatz zu Vorhersagen beschreiben Szenarien nur eine mögliche Ausprägung der Zukunft, die durch unterschiedliche Eingangsgrößen bestimmt werden. Da das zukünftige Klima eng mit dem Ausstoß von Treibhausgasen zusammenhängt, diese aber nur schwer abschätzbar sind, hat das IPCC, in ihrem Special Report on Emissions Scenarios (SRES), insgesamt 40 verschiedene Emissionszenarien entworfen. Sie zeigen eine große Bandbreite möglicher, plausibler, zukünftiger Entwicklungen, auch „Storylines“ genannt. Demnach lassen sich die vier SRES-Basisszenarien (A1, A2, B1, B2) in mehrere Szenarienvariationen (A1B, A1FI, A1T ...) unterteilen. (Nakicenovic und Swart, 2000)

Tabelle 1.1: Die vier Basisszenarien des Third Assessment Report (Alley et al.) des IPCC (Döll et al., 2000)

	eher ökonomisch/ materiell orientiert	eher ökologisch/ auf gesellschaftliche Innovation orientiert
Globalisierung (homogene Welt)	A1	B1
Regionalisierung (heterogene Welt)	A2	B2

Die größte Menge an Treibhausgasen wird im Szenario A2, die geringste im Szenario B1 emittiert. Die geläufigsten Variationen sind A1B, A1FI und A1T. Sie unterscheiden sich im Nutzungsverhältnis von fossilen zu nicht-fossilen Rohstoffen: im A1FI-Szenario findet eine intensive Nutzung fossiler Rohstoffe statt, das A1T-Szenario setzt verstärkt auf alternative Energiequellen und das A1B-Szenario liegt in der Mitte der beiden zuvor genannten. Es trachtet nach einer ausgewogenen Nutzung aller Rohstoffe (IPCC, 2002). Abhängig von dem gewählten Szenario schwankt die Temperaturerhöhung zwischen 1,1 °C und 6,4 °C. Selbst wenn die CO₂ Konzentration auf heutigem Niveau eingefroren werden würde, stiege die Temperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um immerhin noch 1 °C an (Abbildung 1.4).

Vor Sicht Klima!

Ebenfalls vom IPCC entwickelt wurden die IS 92a Szenarien. Im Vergleich zu den neuen SRES Szenarien liegen sie bezüglich der Temperaturzunahme im Mittelfeld und stehen für ein business-as-usual Verhalten, wie es 1992 geschätzt wurde (BAU, weitermachen wie bisher).

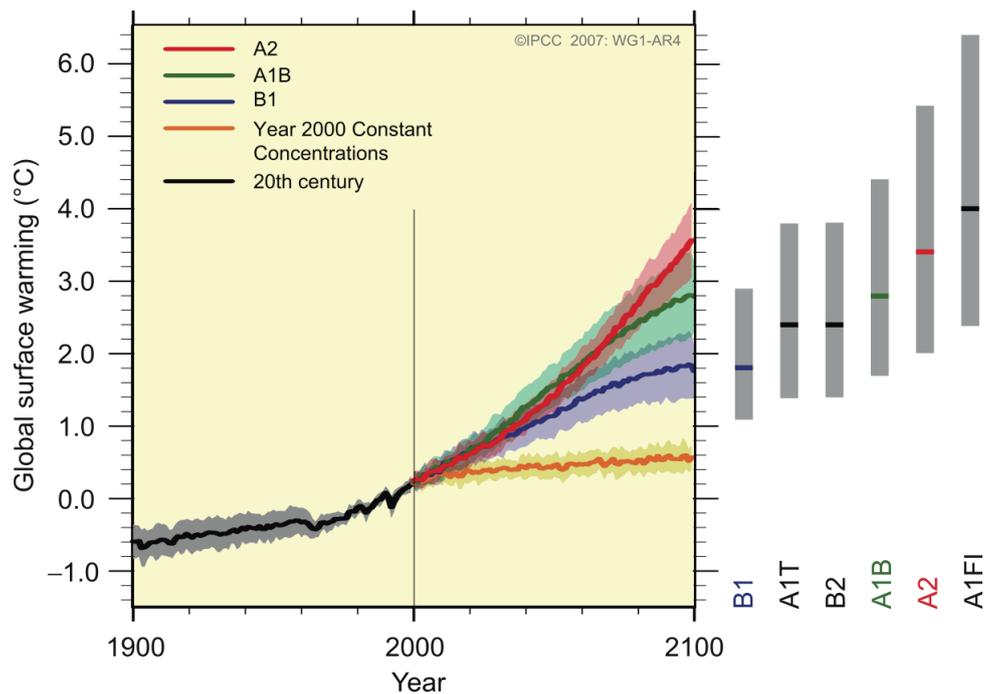


Abbildung 1.4: Globale mittlere Oberflächentemperatur für ausgewählte SRES Szenarien bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. (IPCC, 2007)

Bei der Erstellung von regionalen bzw. lokalen Klimaszenarien ergeben sich eine Vielzahl an Unsicherheitsfaktoren, die auf folgenden Prozessebenen auftreten können:

- Zukünftige Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen
- Unterschiede der globalen Klimamodelle in Mitteleuropa
- Unterschiede bei den Regionalisierungsmethoden

Die einzige Möglichkeit mit diesen Unsicherheiten seriös umzugehen, ist nicht nur ein regionales Szenario zu betrachten, sondern möglichst verschiedene Realisierungen auf allen Prozessebenen - also Ensembleuntersuchungen durchzuführen.

Bezüglich der Unsicherheit bei den Treibhausgaskonzentrationen werden derzeit bevorzugt die drei Szenarien B1, A1B und A2 verwendet (siehe auch Beginn des Kapitels).

Die Unsicherheiten der Klimamodelle und der Regionalisierungsverfahren zeigen deutliche Unterschiede, je nachdem welchen meteorologischen Parameter man betrachtet.

Die Temperatur ist hierbei ein sehr günstiger Parameter, da die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Modellen und Regionalisierungsansätzen im Vergleich zum Klimaänderungssignal meist gering sind. Weiters gibt es bei der Temperatur klare Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der mittleren Monatswerte und den täglichen Werten, wodurch Aussagen auf Tagesbasis und damit auch Auswertungen bezüglich Extremereignissen wie Hitzewellen möglich sind.

Beim Niederschlag, der ja für viele Klimafolgenuntersuchungen wichtiger ist als die Temperatur, sind die Bedingungen deutlich schlechter. Zwar zeigen die Globalen Klimamodelle für Europa eine recht einheitliche Entwicklung, nämlich Niederschlagsabnahme im Mittelmeerraum und Westeuropa und Niederschlagszunahme in Nordosteuropa, jedoch liegt der Alpenraum und auch Wien gerade in dem Übergangsgebiet dieser beiden Regionen und damit sind die Unterschiede der GCMs im Alpenraum wieder deutlich größer und können sogar das Vorzeichen wechseln. Dennoch zeigt sich großräumig für unser Gebiet eine Niederschlagsverlagerung aus dem Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr.

Auch die Regionalisierungsverfahren haben mit dem Niederschlag große Schwierigkeiten. Dies liegt daran, dass im alpinen und pannonischen Raum durch kurzfristige, kleinräumige Gewitterzellen große Niederschlagsmengen produziert werden können, die speziell im Sommer wesentlich zum Gesamtniederschlag beitragen. Diese Prozesse werden aber sowohl von den dynamischen regionalen

Diese Prozesse werden aber sowohl von den dynamischen regionalen Klimamodellen aber insbesondere durch statistische Regionalisierungsverfahren nur sehr schlecht wiedergegeben. Da derartige Ereignisse jedoch für viele Extremereignisse verantwortlich sind, muss man bezüglich Aussagen zu Niederschlagsextremen besonders vorsichtig sein. Generell zeigen die regionalen Klimamodelle aber eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten. Diese Entwicklung scheint auch plausibel, da eine wärmere Atmosphäre mehr Wasserdampf halten kann und daher bei Auftreten eines konvektiven Niederschlagsereignisses mehr Feuchtigkeit zur Verfügung steht. Aus physikalischen Gründen sollte daher die Niederschlagsintensität zunehmen. Über die Häufigkeit derartiger Ereignisse lässt sich jedoch mit rein physikalischen Überlegungen nichts sagen.

Der Mangel an Niederschlag, also Trockenperioden, können sowohl von den globalen Modellen als auch von den Regionalisierungsansätzen recht gut reproduziert werden. Dies liegt daran, dass Auslöser von Trockenperioden großräumige stabile Hochdruckgebiete sind, die sogar von den globalen Modellen aufgelöst werden können. Aussagen bezüglich Trockenperioden sind daher wesentlich verlässlicher als Aussagen zum Niederschlag.

Die globale Erwärmung mit einem Temperaturanstieg von bis zu 6.4 °C birgt neben der kontinuierlichen Entwicklung, wie sie in GCMs dargestellt wird, auch noch die Gefahr von sich selbst beschleunigenden Rückkopplungsprozessen. Hierfür kommen Prozesse in Frage, die nicht explizite in den GCMs gerechnet werden, oder bei nichtlinearen Vorgängen, wo gewisse Schwellenwerte überschritten werden. Derartige Prozesse werden in der Öffentlichkeit auch „runaway greenhouse effekt“ bezeichnet und auch die Begriffe „Tipping point“ oder „point of no return“ werden für das Überschreiten von Schwellenwerten verwendet. Bekannte mögliche Verstärker des Klimawandels sind:

- Zusammenbruch des Golfstromes
- Austrocknung des Amazonasbecken

- Waldbrand und Schädlingsbefall borealer Wälder
- Auftauen des Permafrostes und damit Freisetzung von Methan

Der Englische Klimaforscher Lenton (Lenton et al., 2008) hat vor kurzem zusammen mit einer Reihe von renommierten Klimaforschern eine Liste von 9 derartigen Ereignissen zusammengestellt (siehe Abb. 1.5). Das Gemeinsame an diesen Ereignissen ist, das ihr Eintreffen äußerst ungewiss ist, aber nicht ausgeschlossen werden kann. Sollten sie jedoch eintreffen, wäre ihre Wirkung extrem groß. So wäre der Zusammenbruch des Golfstromes für Nord- und Westeuropa sowie die Ostküste Nordamerikas fatal. Oder die Umwandlung des Amazonasregenwaldes in Savanne würde fast ebenso viel CO₂ freisetzen wie die bisherige Verbrennung an Fossilen Brennstoffen und daher den Treibhauseffekt massiv verstärken.

Je stärker die globale Erwärmung ausfällt, umso wahrscheinlicher wird es, dass einer dieser Verstärkungseffekte in Gang kommt. Dies ist auch der Hintergrund für die Empfehlung der EU-Kommission alles zu unternehmen, um die globale Erwärmung geringer als 2 Grad über das Niveau vor der Industriellen Revolution und dem beginnenden Treibhausgasausstoß durch den Menschen zu halten, da darüber das Risiko für das Einsetzen derartiger nichtlinearer Prozesse überproportional ansteigt.

Da einige diese Verstärkungseffekte erst ab einer gewissen Klimaänderung einsetzen, sind diese Effekte in den Beobachtungsreihen natürlich nicht enthalten. Deshalb können auch viele Faktoren von Klimaänderungsszenarien anders aussehen, als der Trend der letzten Jahrzehnte vermuten lässt. Speziell beim Niederschlag spielen derartige nichtlineare Verhältnisse eine wichtige Rolle.

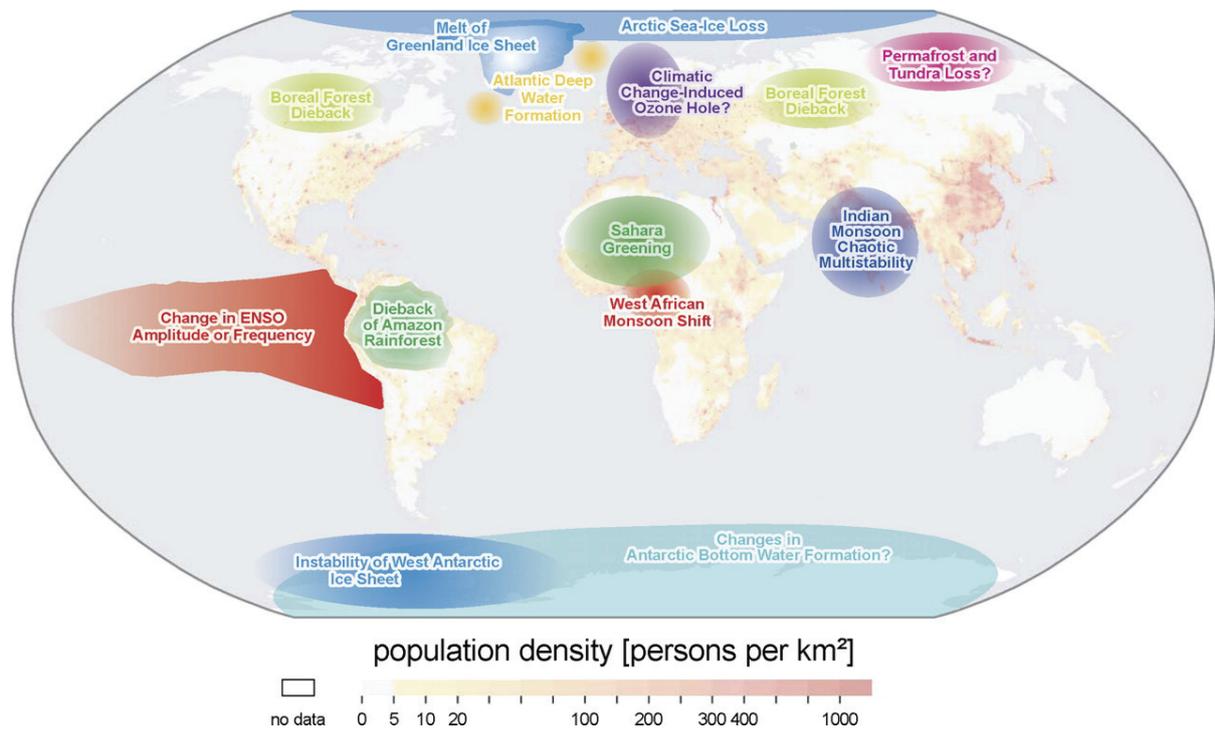


Abbildung 1.5: Mögliche nichtlineare Rückkopplungsprozesse, die den Klimawandel massiv verstärken könnten (Lenton et al., 2008)

2 Klima- und Naturlandschaften Österreichs

Österreich hat trotz seiner geringen Größe eine landschaftliche und klimatische Vielfalt zu bieten. Das Bundesgebiet lässt sich sehr vereinfacht in zwei Großlandschaften unterteilen: die Alpen und das Flachland. Die Alpen bedecken rund 60 Prozent des Staatsgebietes, und sind somit prägend für das Erscheinungsbild Österreichs. Die Alpen haben nicht nur einen klaren Effekt auf die Temperatur, diese nimmt mit etwa 6 Grad pro 1000 m ab, sondern wirken auch stark differenzierend auf den Niederschlag. Durch Luv/Lee- und Staueffekte kann es kleinräumig zu großen Unterschieden in den Niederschlagsverhältnissen kommen. Das östliche Flachland wiederum ist bereits stärker kontinental geprägt. Dies bedeutet geringere Niederschlagsmengen und einen größeren Unterschied zwischen Sommer- und Wintertemperaturen. Neben diesen natürlichen Unterscheidungen kommt durch die Urbanisierung zusätzlich eine menschliche Beeinflussung dazu. Der Stadteffekt führt in erster Linie zu einem Temperaturanstieg, der in der Nacht am stärksten ausgeprägt ist und mehr als 5 Grad betragen kann.

Bevor die Auswirkungen des Klimawandels auf Österreich untersucht werden, müssen die unterschiedlichen Klima- und Naturlandschaften Österreichs bekannt sein. Dies ist deshalb wichtig, weil jede Region differenziert auf Änderungen des Klimas reagiert.

Die Einzigartigkeit Österreichs wird durch sein abwechslungsreiches Landschaftsbild mitbestimmt. Trotz der geringen Ausdehnung von 83.850 km² kann Österreich eine Vielfalt an landschaftlichen und klimatischen Regionen aufweisen. Diese gilt es zu bewahren und vor Veränderungen zu schützen bzw. bestmöglich an diese anzupassen. Eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel kann jedoch nur geschehen, wenn die Eigenheiten jeder einzelnen Region bei der Umsetzung notwendiger Maßnahmen berücksichtigt werden. Der hochalpine Raum wird anders auf Temperaturänderungen reagieren wie das dicht besiedelte Wiener

auf Temperaturänderungen reagieren wie das dicht besiedelte Wiener Becken – in Hinblick dieser Erkenntnis sind auch die Anpassungsstrategien zu gestalten.

Österreich lässt sich sehr vereinfacht in zwei große Landschaften unterteilen: die Alpen und das Flachland. Die Alpen bedecken rund 60 % des österreichischen Staatsgebietes und sind für das Erscheinungsbild prägend. Sie zeichnen sich aufgrund der hohen Schroffheit durch ein sehr kleinräumiges Klima- und Wettergeschehen aus. Hinsichtlich der Niederschlags- und Temperaturverteilung kann gesagt werden, dass sich ein West-Ostgefälle und eine Höhenabhängigkeit bemerkbar machen. In höheren Regionen regnet es tendenziell mehr und öfter. Der Alpenhauptkamm bewirkt einen Stau- und Steigungseffekt, wodurch es zu intensiven Niederschlägen bis über 2.500 mm pro Jahr kommen kann. Luftmassen aus dem Mittelmeergebiet stehen zumeist in Zusammenhang mit extensiven Regenfällen. Eine spezielle Situation hierbei wird in der Meteorologie als Vb-Wetterlage charakterisiert. Bei Vb-Wetterlagen wird im Laufe von 2 bis 3 Tagen das gesamte Bundesgebiet intensiv beregnet.

Die Bundesländer mit dem höchsten alpinen Anteil sind Voralberberg, Tirol und Salzburg. Kärnten und Teile der Steiermark sind ebenfalls alpin geprägt. Eine Besonderheit in Kärnten ist das Klagenfurter Becken. Es zeichnet sich durch eine hohe Inversionspersistenz aus, dies begünstigt tiefe Wintertemperaturen und Hochnebelhäufigkeiten. Das ist auch der Grund warum die Schneedecke relativ lang im Becken liegen bleibt, obwohl die Winterniederschlagsmenge eher gering ausfällt.

Luftströmungen aus westlichen bis nordwestlichen Richtungen haben den größten Einfluss auf das Niederschlagsverhalten nördlich des Alpenhauptkammes. Sie bringen die feuchte Nordatlantikluft in die Gebiete der Nordalpen und des Alpenvorlandes. Die Nordalpen wirken als Wetterscheide. An der windzugewandten Seite (Luv) kann es aufgrund des Staueffektes zu lang anhaltenden Niederschlägen kommen. Ein bekanntes Phänomen ist der „Schnürlregen“ im Salzkammergut. Im Windschatten des Gebirgsmassives (Lee) kann ein deutlicher Rückgang des Niederschlages verzeichnet werden. Dies führt zu dem Effekt der inneralpinen Trockentäler, wie das obere Inntal, in denen Niederschlagssummen

ckentäler, wie das obere Inntal, in denen Niederschlagssummen wie im östlichen Flachland mit rund 700 mm vorkommen.

Die Bundesländer Ober- und Niederösterreich, Wien, Burgenland sowie die südlichöstliche Teil der Steiermark bilden die zweite Großlandschaft – das österreichische Flachland.

Das Gebiet vom mittleren Burgenland bis hin zum steirischen Riedelland, bietet die besten Voraussetzungen für eine Landwirtschaft. Es kann als schwach kontinentales, sommerwarmes und mäßig winterkaltes Klima beschrieben werden. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge von 700 mm bis 900 mm bietet ausreichend Feuchtigkeit für eine produktive Landwirtschaft. Ein markantes Merkmal dieses Landschaftsabschnittes sind die häufig auftretenden Gewitter und Hagelunwetter. Das Wiener Becken und Nordburgenland werden wesentlich von den kontinentalen Luftmassen beeinflusst. Typisch für diesen Klimaraum ist eine große Jahrestemperaturamplitude - trockene heiße Sommer stehen sehr kalten Winterperioden gegenüber. Der ozeanische Klimaeinfluss nimmt nach Westen hin zu. So verursacht der Nordstauereffekt am Alpennordrand mitunter ergiebige Regenfälle. Spitzenwerte werden im Salzkammergut erzielt. (Fink, 1993, Harlfinger und Knees, 1999)

Die drei prägenden Großräume Österreichs

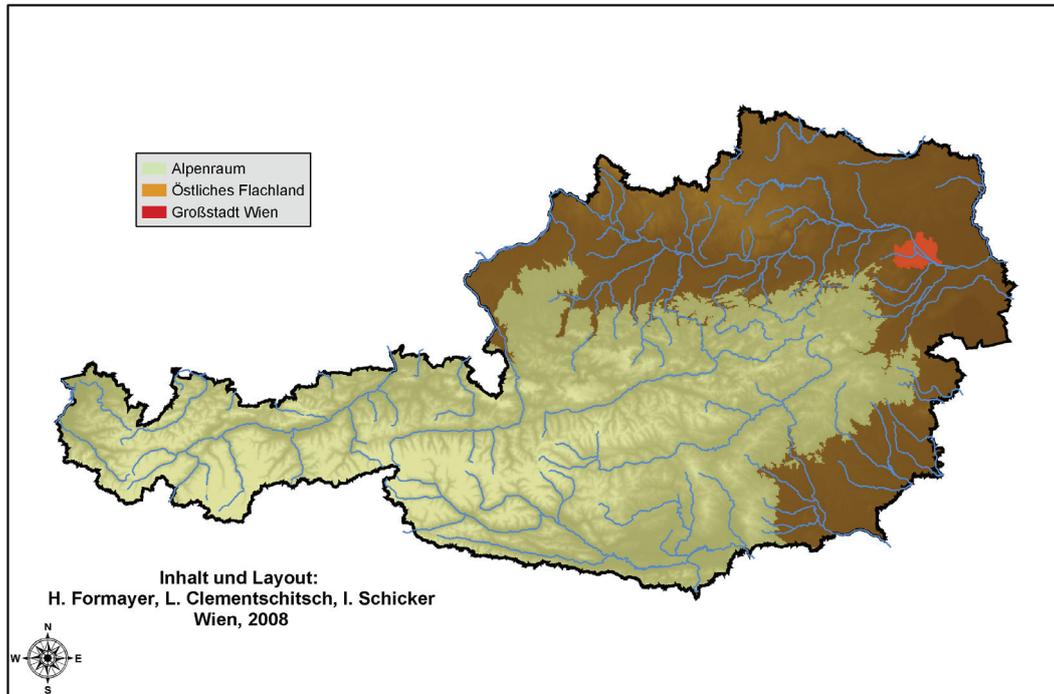


Abbildung 2.1: Die drei prägenden Großräume Österreichs.

In Abbildung 2.1 ist die räumliche Zuordnung der prägenden Großräume dargestellt. Der alpine Bereich Österreichs umfasst alle alpinen Klimaregionen, einschließlich dem Klagenfurter Becken. Das östliche Flachland wiederum besteht aus dem nördlichen Alpenvorland, dem Pannonischen Flach- und Hügelland sowie dem südöstlichen Alpenvorland. Das Wald- und Mühlviertel wird ebenfalls diesem Großraum zugeordnet, wobei hier natürlich auch montane Effekte zum Tragen kommen.

Die Grenzen zwischen den einzelnen Klimaregionen dürfen nicht als scharfe Trennung gesehen werden, sondern viel mehr als ein langsamer Übergang des einen Klimaraumes in die anschließenden.

Neben dieser großräumlichen Einteilung Österreichs, gibt es auch eine kleinräumige Beeinflussung des Klimas durch den Menschen, und zwar die Urbanisierung. Diese intensive Verbauung auf kleinstem Raume führt zu einer unterschiedlichen Reaktion wie das Umland, dem sogenannten *Stadteffekt*. Durch die Speicherung der Sonnenenergie in der Gebäudemasse und die Reduzierung der Verdunstungskühlung kommt es innerhalb der Stadt zu einer deutlich stärkeren Erwärmung, welche besonders in der Nacht ausgeprägt ist und durchaus mehr als 5 Grad betragen kann. Neben dem Temperatureffekt kann es aufgrund der erhöhten Rauigkeit der Gebäude noch zusätzlich zu einer Reduzierung der Windgeschwindigkeit kommen. Aufgrund dieses Stadteffektes sind die Innenbereiche großer Städte besonders sensibel hinsichtlich zunehmender Hitzebelastung unter Klimaänderungsbedingungen. Als Beispiel hierfür wird Wien explizite untersucht.

3 Klimawandel in Österreich

In den letzten 150 Jahren hat Österreich eine überdurchschnittliche Erwärmung erfahren. Während global die Temperatur um „nur“ 0,8 °C anstieg, konnte in der Alpenrepublik eine Temperaturerhöhung um 1,8 °C beobachtet werden. Dies ist jedoch teilweise auf die sehr kalte Periode zu Ende des 19. Jahrhunderts zurückzuführen. Erst die Erwärmung seit Mitte der 1970er Jahre kann direkt auf den anthropogenen Klimawandel zurückgeführt werden. Bis zum Jahr 2050 wird die Temperatur im Mittel weiter um 2 bis 2,5 °C ansteigen, am Alpenhauptkamm etwas mehr.

Für den Niederschlag zeigt sich eine größere Klimavariabilität. Der Niederschlagstrend zeigt sowohl bei den Beobachtungen als auch bei den Szenarien größere saisonale und regionale Abhängigkeiten. Die Niederschläge werden übers Jahr gesehen gleich bleiben, jedoch zeichnet sich eine Verlagerung der Niederschläge vom Sommerhalbjahr ins Winterhalbjahr ab.

Aussagen über Extremereignisse sind aufgrund der Modellunsicherheiten nicht sehr robust. Am glaubwürdigsten sind noch Untersuchungen von Trocken- oder Dürreperioden, da diese durch großflächige Hochdruckgebiete verursacht werden. Hier zeigen die Mehrzahl der Modelle eine Zunahme. Starkniederschläge werden wahrscheinlich an Häufigkeit verlieren, aber an Intensität gewinnen.

Zu der künftigen Entwicklung von Starkwinden im Alpenraum gibt es derzeit noch keine Untersuchungen. Aussagen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Hagelhäufigkeit und Intensität können aufgrund der Kleineräumigkeit dieser Phänomene derzeit noch nicht abgegeben werden. Großwetterlagen, die Hagelunterwetter auslösen können, zeigten in den letzten 120 Jahren aber in der Schweiz einen steigenden Trend auf.

3.1 Allgemeine Beobachtungen

3.1.1 Temperatur

Aufzeichnungen belegen, dass die Temperatur in Österreich in den letzten 150 Jahren um 1,8 °C gestiegen ist. Davon wurde die größte Zunahme innerhalb der letzten 100 Jahre gemessen. Der Trend ist sowohl in den Alpen als auch im österreichischen Flachland ersichtlich (Abbildung 3.1). Verglichen mit dem Anstieg der globalen Mitteltemperatur (rund 0,8 °C) ist der Anstieg im Alpenraum deutlich höher, dies liegt aber zu einem guten Teil daran, dass gerade zu Ende des 19. Jahrhunderts im Alpenraum der letzte Höhepunkt der „Kleinen Eiszeit“ und somit eine sehr kalte Phase herrschte. Der Anstieg in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts muss daher zu einem Gutteil als „natürliche „ Rückkehr in die Normalität betrachtet werden. Erst die Entwicklung seit Mitte der 1970er Jahre kann nur mehr durch den anthropogenen Klimawandel erklärt werden.

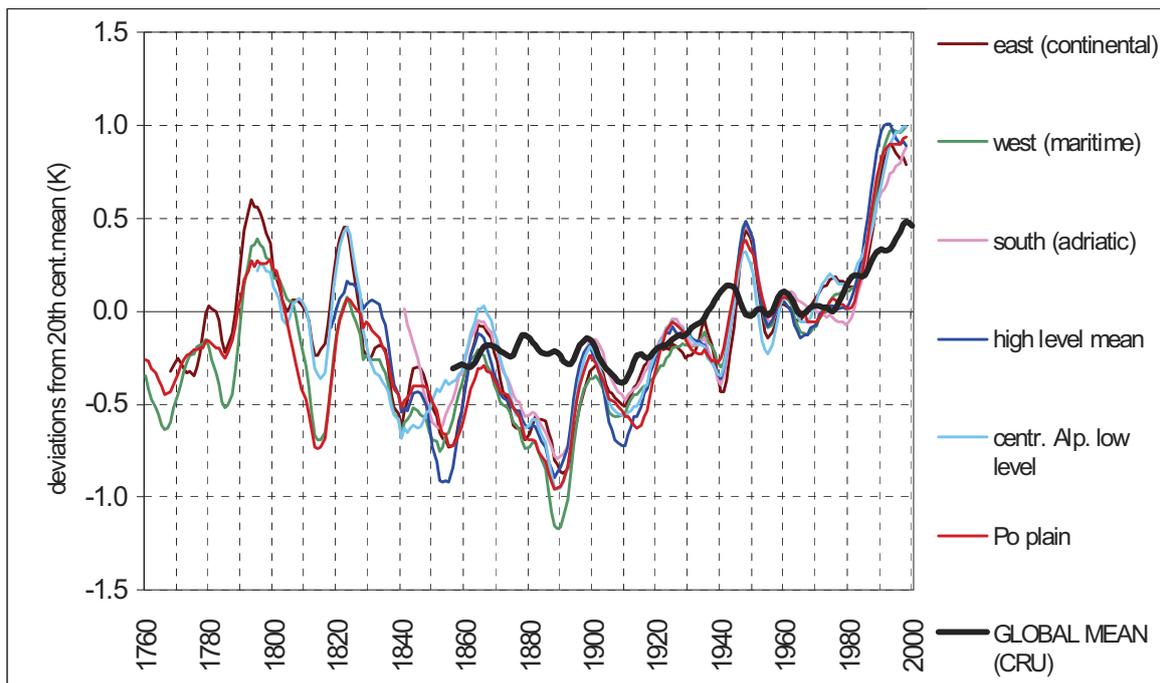


Abbildung 3.1: Jahresmitteltemperatur der letzten 240 im alpinen Raum und weltweit. *East (continental)* steht für das ostösterreichische Flachland, *high level mean* für den alpinen Raum. (Auer, 2003)

Seit den 1990er Jahren haben sich bei uns besonders die Sommertemperaturen stark erhöht. Die Häufigkeitsverteilung der Sommertemperaturen für die Monate Juni, Juli und August in Wien seit 1775 stellt Abbildung 3.2 dar. Sie sind annähernd normal um den Mittelwert von 18,7 °C verteilt, jedoch gibt es deutliche Ausreißer zur heißen Seite hin. Diese Ausreißer kann man dadurch erklären, dass sehr warme Sommer auch trocken sind und dadurch wird die Verdunstungskühlung der Pflanzen reduziert. Bemerkenswert ist jedoch, dass drei der vier Ausreißersommer nach 1990 aufgetreten sind. Der Hitzesommer 2003 war der heißeste seit Beginn der systematischen Aufzeichnungen.

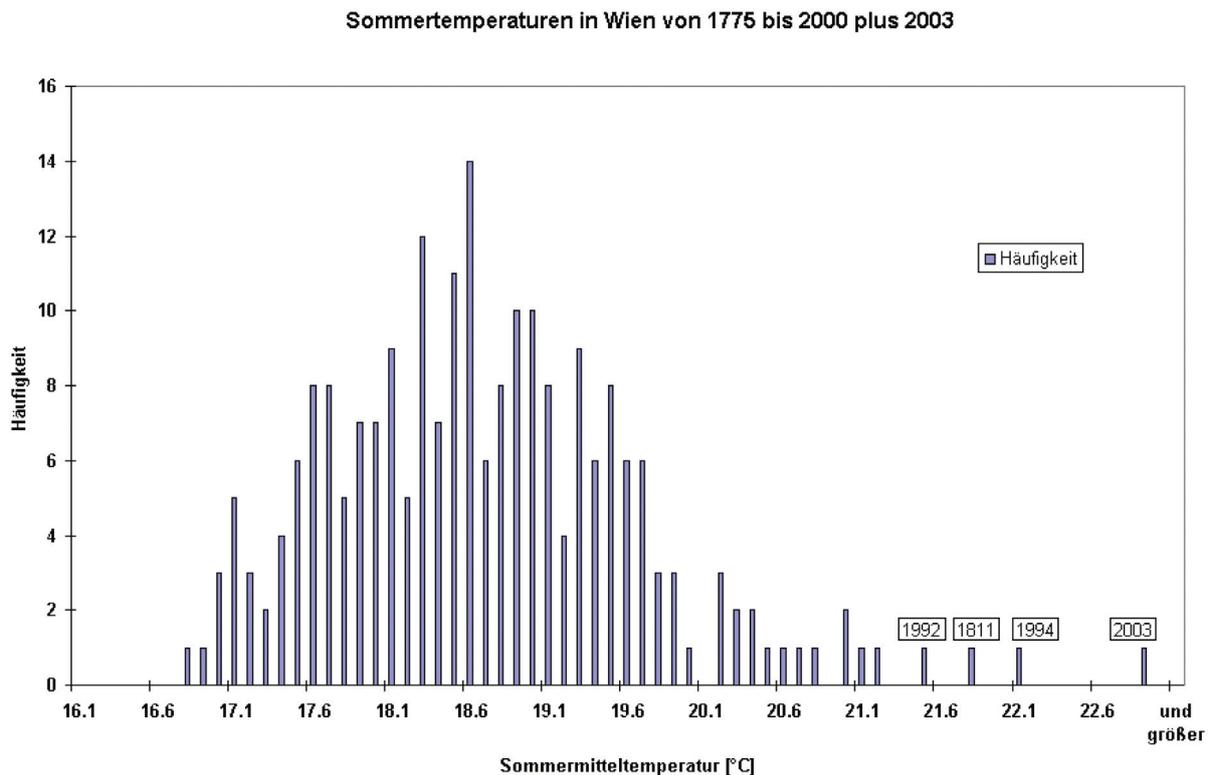


Abbildung 3.2: Häufigkeitsverteilung der Sommertemperaturen (Juni, Juli, August) in Wien seit 1775. (Formayer und Frischauf, 2004)

3.1.2 Niederschlag

Verglichen zu den Temperaturen zeigen Niederschlagsverteilungen stärkere regionale sowie saisonale Abhängigkeiten. Die komplexe Niederschlagsverteilung in Österreich lässt daher keinen einheitlichen Trend erwarten. Abbildung 3.3 verdeutlicht die unterschiedlichen Niederschlagstrends für Graz und Innsbruck. Während in Innsbruck der Winter kontinuierlich feuchter wurde, verzeichnet Graz einen gegenläufigen Trend. Besonders seit den 1990ern kann in der steiermärkischen Hauptstadt eine Niederschlagsabnahme beobachtet werden. Für Innsbruck hingegen stieg die Niederschlagsmenge bis zum Jahr 2000 kontinuierlich an. Erst nach der Jahrtausendwende setzte eine Gegenbewegung ein.

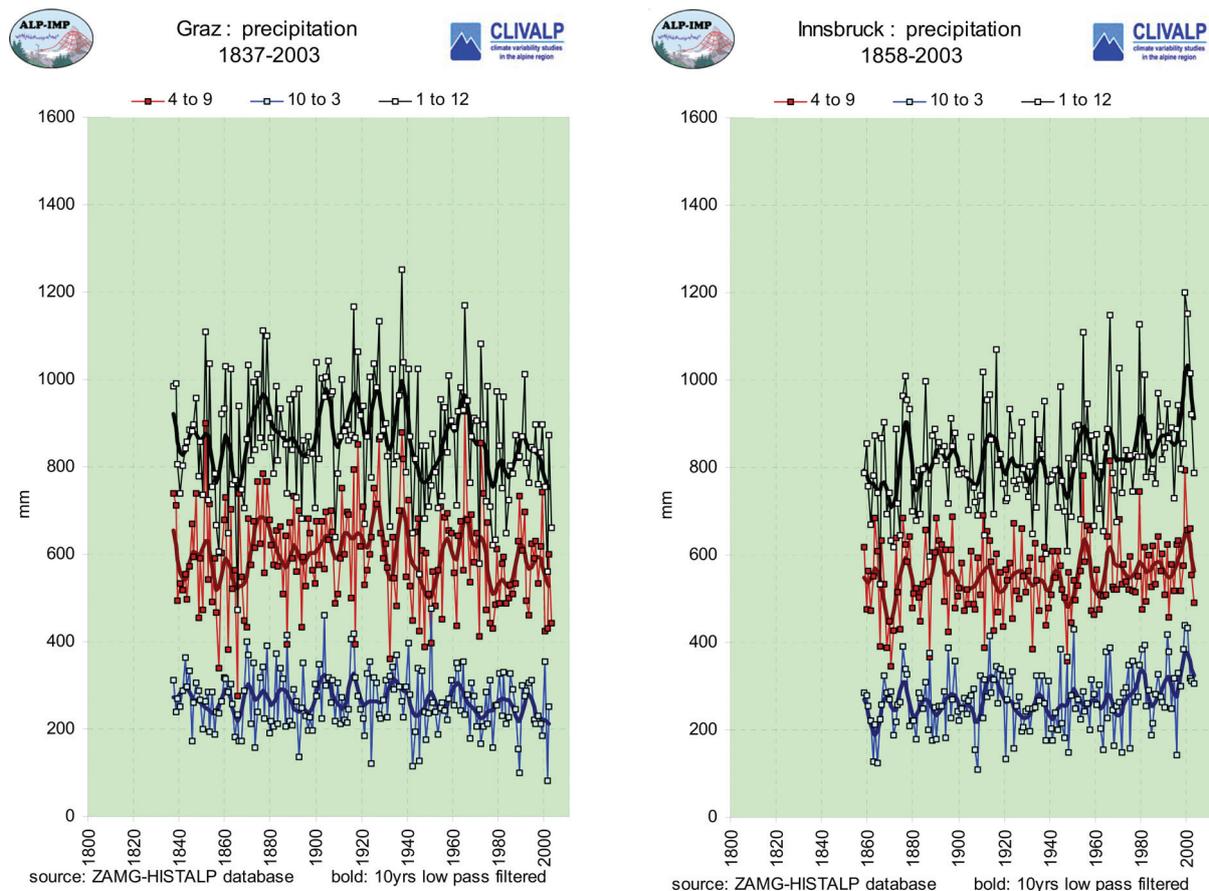


Abbildung 3.3: Zwei Beispiele für saisonal unterschiedliche Niederschlagstrends: Graz und Innsbruck. (siehe: www.zamg.ac.at/ALP-IMP/)

3.1.3 Extremereignisse

Um einen Trend von Extremereignissen nachweisen zu können, sind lange Datenreihen notwendig, da sie per Definition „extrem“ und dadurch sehr selten auftreten. Sie weichen stark vom Mittelwert ab und bei kurzen Datenreihen besteht die Gefahr den Trend nicht richtig wiederzugeben.

Ergebnisse des Projektes HISTALP belegen, dass bei den Monatssummen und Mittelwerten zwar eine Mittelwertverschiebung im Großraum der Alpen in den letzten 120 Jahren stattgefunden hat, aber eine Zunahme der Klimavariabilität von Jahr zu Jahr konnte nicht festgestellt werden. (Auer et al., 2007).

3.1.3.1 Starkwinde

Starkwinde sind Winde ab einer Geschwindigkeit von 62 km/h oder 8 Bft¹. Sie lassen sich einteilen in stürmische Winde (62-74 km/h), Sturm (75-88 km/h), schwerer (89-102 km/h) und orkanartiger Sturm (103-117 km/h) sowie in Orkan (>118). Schwere und orkanartige Stürme sowie Orkane selbst treten in Binnenländern nur sehr selten auf. Wenn sie erscheinen verursachen sie mitunter schwere bis schwerste Schäden an Wäldern (Windbruch) und an Häusern (z.B. ganze Dächer werden abgedeckt). Von den 10 teuersten Wetterkatastrophen in Europa für die Versicherungswirtschaft gehen 9 auf Winterstürme zurück. Die Orkane „Vivian“ und „Wiebke“ wüteten in den 90ern auch in Österreich und rangieren auf Platz 7 und 9 der oben erwähnten zehenteiligen Skala (Reinhart, 2005).

In Mitteleuropa, und auch in Österreich, haben drei Sturmtypen besondere Relevanz:

- Winterstürme
- Lokale Unwetter (Sommergewitter und Tornados)
- Föhn

Winterstürme treten in der Zeit von Oktober bis April auf und sind zumeist sehr großräumige Wetterphänomene. Am häufigsten findet man sie über der Nordsee und in den nördlichen Teilen Mitteleuropas, vereinzelt auch im südlichen und südöstlichen Mitteleuropa. (Münchner Rückversicherung, 2007)

¹ Bft. = Beaufort. Die *Beaufortskala* beschreibt die Windgeschwindigkeit anhand von phänomenologischen Kriterien.

Die letzten größeren Winterstürme, die in Österreich wütenden, waren der Orkan „Kyrill“ (Jänner 2007) sowie die Sturmtiefs „Paula“ (Jänner 2008) und „Emma“ (März 2008). Kyrill hatte eine Windgeschwindigkeit von bis zu 140 km/h und verursachte mehr als 150.000 Einzelschäden und unterbrach die Stormversorgung für rund 20.000 Haushalte (Münchner Rückversicherung, 2007).

Vom Sturmtief Paula waren vor allem die Bundesländer Steiermark, das südliche Niederösterreich, Kärnten und Teile von Oberösterreich betroffen. Die Spitzengeschwindigkeit von 165 km/h wurde am Feuerkogel gemessen. Am Flughafen Graz zeigten die Messgeräte Windgeschwindigkeiten von 119 km/h. In der gesamten Steiermark lagen die Windgeschwindigkeiten bei rund 100 km/h. (Robert et al., 2008)

Eine traurige Bilanz hinterließ das Sturmtief „Emma“. Neben Sachschäden in Millionenhöhe, forderte es auch 12 Menschenleben in Europa, vier davon in Österreich.

Lokale Unwetter sind räumlich begrenzt und treten vor allem im Sommer auf. Die Begleiterscheinungen wie Starkniederschläge, Hagel, Fallböen und Blitzschlag können erhebliche Schäden anrichten.

Der Föhn ist ein warmer trockener Fallwind. Die gängigste Erklärung dieses Phänomens ist, dass Luftmassen aus dem Süden am Luv der Alpen gezwungen werden aufzusteigen. Dabei kühlen sie sich ab und regnen aus. Durch Druckunterschiede auf der Nordseite der Alpen sinken die Luftmassen wieder ab und erwärmen sich dabei stärker als sie zuvor ausgekühlt sind. Berechnungen für die Schweiz gehen von einer Abnahme der Föhnhäufigkeit aus (Beniston, 2007).



Abbildung 3.4: Der Orkan Paula entwurzelte nicht nur Bäume sondern löste auch durch herabhängende Leitungen Waldbrände aus. (Fotos: www.diepresse.at)

Trotz der Schäden, welche die Sturmtiefes „Kyrill“, „Paula“ und „Emma“ anrichteten, zeigt die Studie von Matulla et al. (2007) einen abnehmenden Trend der Starkwindentwicklung. Die Autoren analysierten den Verlauf der Winde für Europa vom späten 19. Jahrhundert bis 2005. Die Berechnungen fanden anhand von Druckgradienten auf Tagesbasis statt. Daraus leiteten sie den geostrophischen Wind² ab (Abbildung 3.5). Zur größten Anzahl von Starkwindereignissen kam es um 1900. Während sich die nachfolgende Abnahme für Westeuropa langsam vollzog, konnte für Mitteleuropa ein rascherer Rückgang beobachtet werden. Nach 1920 kam es wieder zu einem stufenweisen Anstieg bis zur Mitte der 90er (für Mitteleuropa). Seit den 1980ern findet eine dekadisch-oszillierende Annäherung an das langjährige Mittel statt.

² Der *geostrophische Wind* ist ein vereinfachtes Windmodell, bei dem der Wind parallel zu den Isobaren weht. Er gilt dort, wo die Bodenrauigkeit keinen Einfluss mehr auf Windrichtung nimmt – d.h. in der Regel ab einer Höhe von 1-2 km.

Ein in der ersten Hälfte der Periode ähnliches Bild ergab sich für die Messdaten der Station Wien-Hohe Warte. Die höchste Anzahl an Starkwinden wurde um 1910 aufgezeichnet, gefolgt von einem rapiden Abfall. Erst zwischen 1940 bis 1960 traten sie wieder vermehrt auf. Dieser Verlauf ist auch in der geglätteten Kurve (21-jährig) ersichtlich. Es gibt zwei Maxima: eines um 1910 und ein anderes um 1960. Nach dem zweiten ist ein Abwärtstrend zu verzeichnen, der bis zum Ende der Messreihe 1992 anhält. Da die Windmessungen sehr sensitiv auf Standortverlegungen reagieren, kann die Windreihe der Hohen Warte nicht bis heute dargestellt werden, weil 1992 eine Verlegung des Windmessers erfolgte.

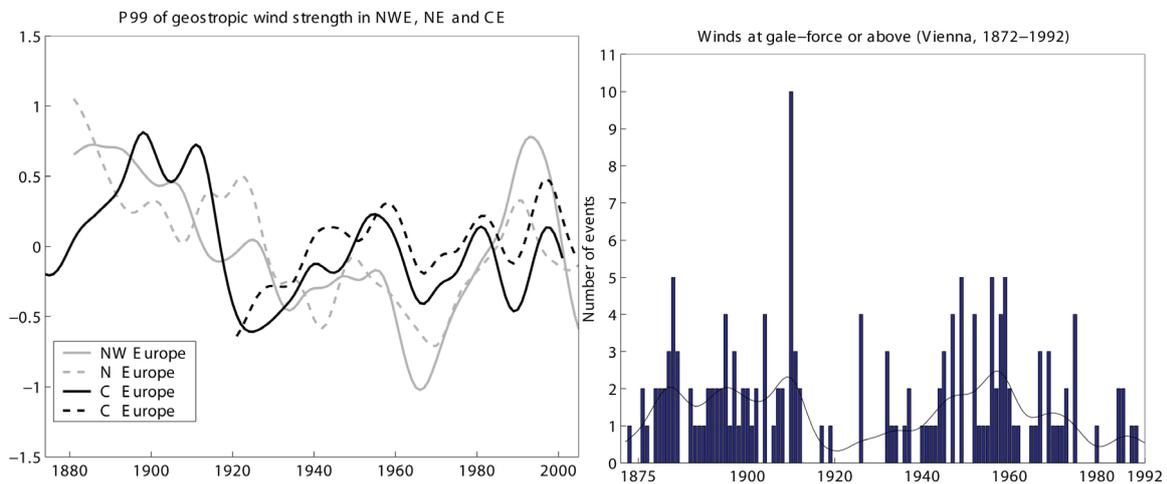


Abbildung 3.5: Das 99er Perzentil für geostrophische Windstärken in Nordwesteuropa (NW Europe), Nordeuropa (N Europe) und Mitteleuropa (C Europa) (links) und die Anzahl der Starkwinde (Nov.-Feb.) gleich oder größer acht Beaufort für die Station Wien Hohe Warte (rechts).

Der subjektive Eindruck von einer Zunahme der Wintersturmaktivitäten ist u.a. auf die bessere Medienberichterstattung und auf verstärkte Aufklärungskampagnen in den vergangenen Jahren zurückzuführen. Das gestiegene Schadenpotenzial der Winterstürme liegt vor allem an einem geänderten Lebensstil und an einer Wertekonzentration in den urbanen Gebieten.

3.1.3.2 Starkniederschläge

Niederschläge, die im Verhältnis zur Dauer eine hohe Niederschlagsintensität aufweisen und daher selten auftreten, werden als Starkniederschläge bezeichnet. Sie gehören zu jenen extremen Wetterereignissen, die erheblichen wirtschaftlichen Schaden anrichten können, und stehen zumeist in Verbindung mit Hochwasserereignissen.

Aus österreichischer Sicht sind zwei Niederschlagsformen von Interesse:

- konvektiver (Schauer und Gewitter) und
- stratiformer (Landregen) Niederschlag

Konvektive Niederschläge sind von kurzer Dauer (einige Stunden) und kleinräumiger Wirksamkeit, aber hoher Intensität. Die Schäden sind lokal begrenzt und werden durch Murenabgänge, Hochwässer in Wildbächen und kleinräumigen Einzugsgebieten sowie von Sturmböen und Hagel verursacht (Blöchliger und Neidhöfer, 1998). Von konvektiven Niederschlägen sind vor allem das steirische Randgebirge und Teile des Salzkammerguts betroffen (Abbildung 3.6) (Formayer und Kromp-Kolb, 2006).

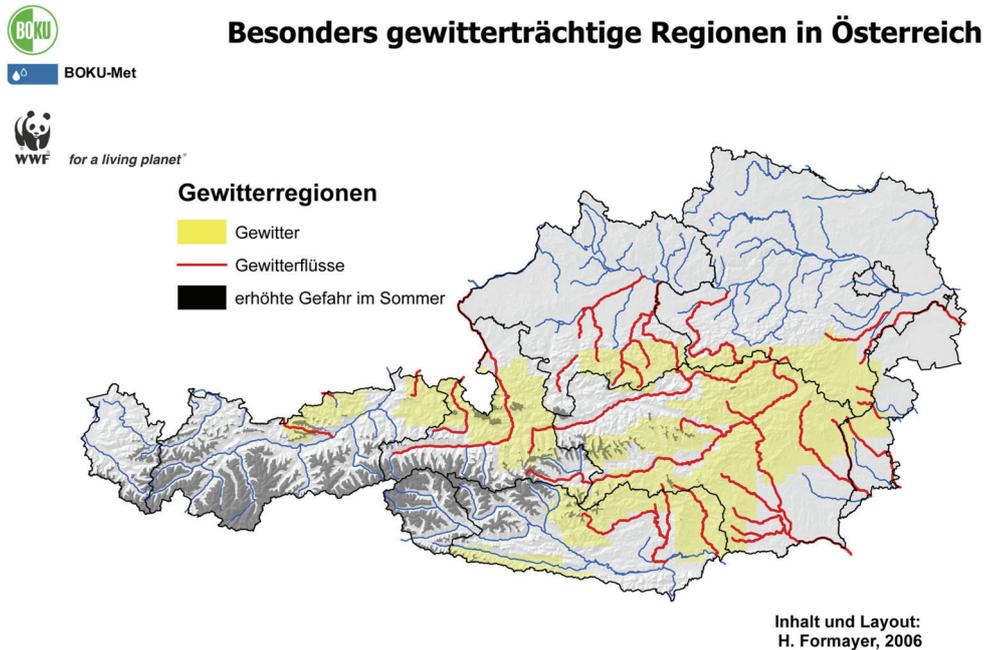


Abbildung 3.6: Besonders gewitterträchtige Regionen in Österreich. Basis 10jährige Klimatologie der ALDIS-Biltzortung. (Formayer und Kromp-Kolb, 2006)

Stratiforme Niederschläge verursachen Regenfälle, die bis zu drei Tagen andauern können. Verglichen mit konvektiven Niederschlägen liefern sie in einer Stunde nur 20 % der Regenmenge (Blöchliger und Neidhöfer, 1998).

In Abbildung 3.7 sind Niederschlagsregionen Österreichs dargestellt, an denen gleichzeitig großflächige Starkniederschläge auftreten. Den jeweiligen Regionen können Wetterlagen zugeordnet werden, bei denen Starkniederschläge in den Regionen auftreten (Formayer und Kromp-Kolb, 2006).

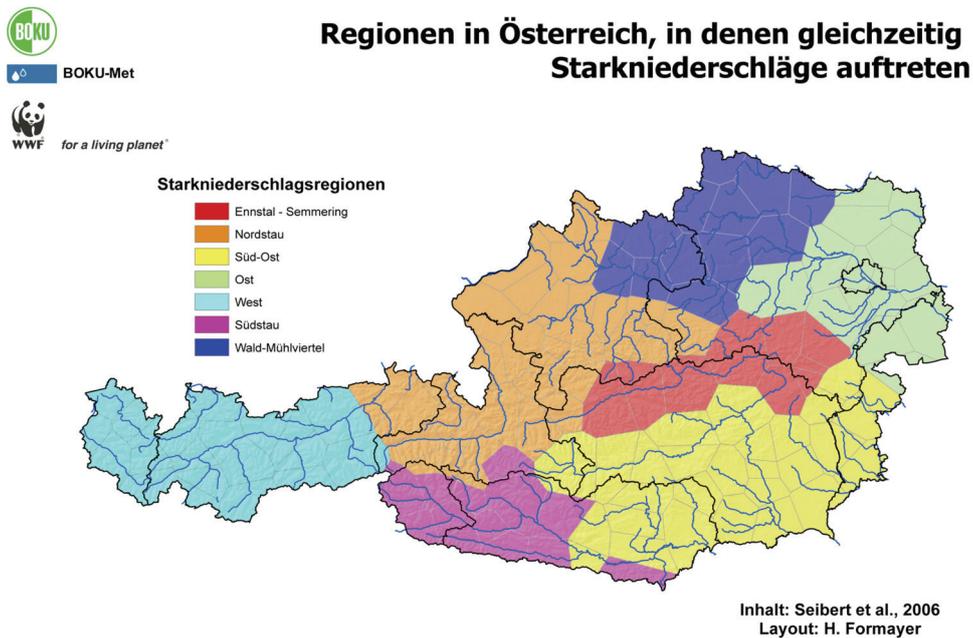


Abbildung 3.7: Regionen Österreichs, in denen gleichzeitig Starkniederschläge auftreten. (Formayer und Kromp-Kolb, 2006)

Ab einer Niederschlagssumme von 20 mm pro Tag kann von einem Starkregenereignis gesprochen werden. Abbildung 3.8 zeigt den Verlauf von Starkregenereignissen für Wien Hohe Warte für die Periode 1948-2005. Mit 12 Ereignissen hat das Jahr 1960 die höchste Anzahl zu verzeichnen. Durchschnittlich gab es zwischen vier bis sechs Ereignisse pro Jahr. Nur die Jahre um 1984 (1981-88) lagen darunter. Für den gesamten beobachteten Zeitraum ist jedoch kein eindeutiger Trend ersichtlich.

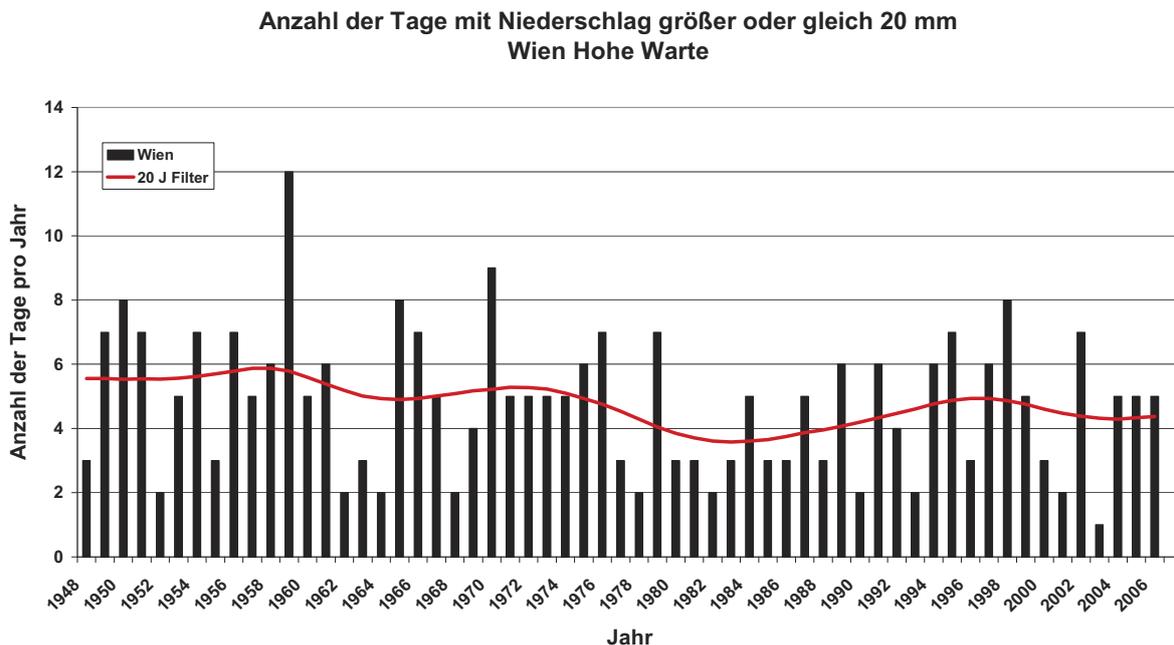


Abbildung 3.8: Anzahl der Tage mit Niederschlägen größer oder gleich 20 mm in Wien Hohe Warte. (Inhalt und Layout: Formayer, H., 2008)

3.1.3.3 Hagel

Als Hagel werden Eiskörner mit einem Durchmesser von mindestens 0,5 cm bezeichnet. Sie entstehen in Gewitterwolken. Auf- und Abwinde transportieren die Körner nach oben bzw. nach unten. Bei jedem Steigen und Sinken der Körner kann sich eine neue Eisschicht anlagern. Dieser Vorgang wiederholt sich solange bis die Eiskörner für die Aufwinde zu schwer werden und schlussendlich zu Boden fallen. Hagelschauer treten oft in Verbindung mit Gewitterereignissen auf. Die gewitterträchtigsten Regionen sind auch zugleich die Hagelregionen Österreichs. Besonders das steirische Randgebirge und Teile des Salzkammerguts sind an dieser Stelle zu erwähnen. Da diese Regionen intensiv landwirtschaftlich genutzt werden, können Hagelunwetter erhebliche Schäden an den Kulturen anrichten.

Obwohl Österreich geographisch im Hagelzentrum Europas liegt, fehlen derzeit noch Langzeituntersuchungen hinsichtlich der Eintrittshäufigkeit von Hagelereignissen. Schweizer Untersuchungen belegen jedoch ein Ansteigen der Häufigkeit der Großwetterlagen, die zu Hagelereignissen führen können (Abbildung

Großwetterlagen, die zu Hagelereignissen führen können (Abbildung 3.9). Einschränkend muss hier erwähnt werden, dass sich die Ergebnisse höchstens auf das Bundesland Vorarlberg direkt umlegen lassen.

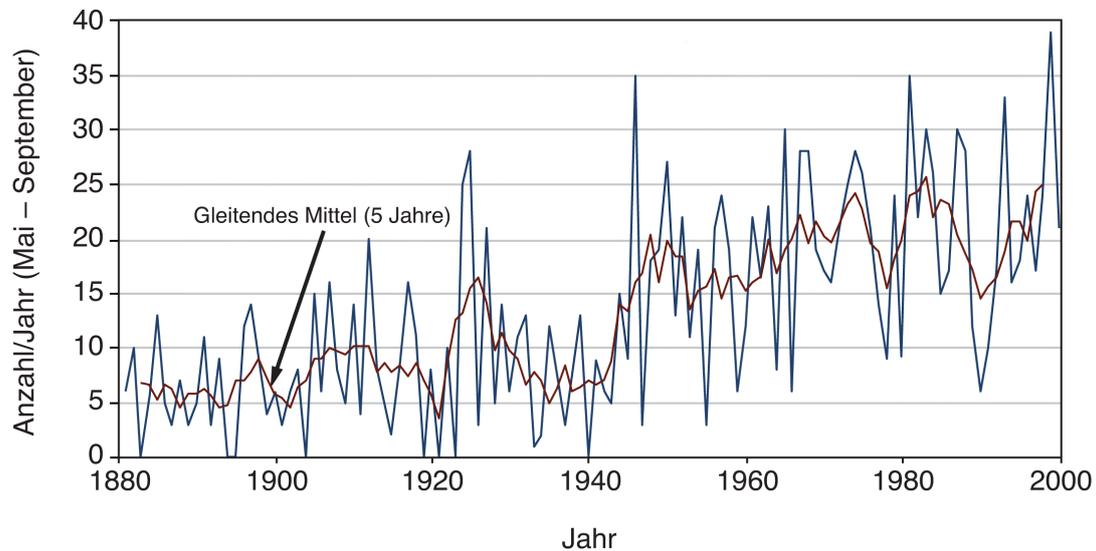


Abbildung 3.9: Häufigkeit des Auftretens von Großwetterlagen, die in der Schweiz zu Hagelunterwetter auslösen können. (Schiesser, 2007)

3.1.3.4 Trocken- und Dürreperioden

Eine einheitliche Definition dieses Begriffes ist nicht vorhanden.³ Eine häufig verwendete Erklärung bedient sich der Niederschlagssumme innerhalb von 24

³ Genaugenommen gilt es Trocken- von Dürreperioden zu unterscheiden. Dürre ist eine außergewöhnliche Trockenheit, hervorgerufen durch großen Niederschlagsmangel bei gleichzeitig hohen Temperaturen und damit hoher Verdunstung. Dürreperioden können große Schäden in der Landwirtschaft anrichten. Trockenperioden hingegen beziehen sich auf den Wasserbedarf einzelner Bereiche (Land-, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Binnenschifffahrt etc.) und stehen mit einer trockenen Witterung in Zusammenhang. (Auer et al., 2005)

Stunden. Eine Trocken- bzw. Dürreperiode liegt dann vor, wenn die Niederschlagssumme innerhalb von 24 Stunden unter 1 mm bleibt und die Andauer der niederschlagsfreien Periode bei zumindest 10 Tagen liegt.

Von 30 beobachteten Klimastationen in Österreich zeigen jene im Westen allgemein einen abnehmende, jene im Osten eine zunehmende Häufigkeit von Trockenperioden auf. Trockenperioden von einer Länge von mindestens 10 Tagen treten im Osten, Norden und Süden Österreichs häufiger auf als im Westen. Auch ist in den erstgenannten Gebieten ein steigender Trend zu erkennen, während im Westen ein fallender Trend von Trockenperioden zu beobachten ist. Die stärkste Zunahme verzeichnet die Station Klagenfurt, die stärkste Abnahme die Station Galtür. Trockenperioden von mindestens 20 Tagen zeigen im Westen aber auch im Nordosten (Hohenau, Laa, Retz, Wien) einen abnehmenden Trend auf. Graz und Umgebung sowie Bereiche Klagenfurts weisen die größten Zunahmen auf. (Auer et al., 2005)

3.2 Klimaänderungsszenarien für Österreich

3.2.1 Temperatur

Trotz vieler offener Fragen und Grenzen in der Klimaszenarienmodellierung, können gewisse Aussagen hinsichtlich der Temperaturentwicklung auch schon auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse getroffen werden. Sie legen einen regional und saisonal unterschiedlich ausfallenden Temperaturanstieg nahe.

Ausgehend von den Ergebnissen des Forschungsprojektes reclip:more (2007) ergeben sich für die Wintermonate Dezember, Jänner und Februar eine Erwärmung für Österreichs bis Mitte des 21. Jahrhunderts mit einer Temperaturänderung von +1,3 bis 2 °C. Das Frühjahr wird generell +1,8 bis 2,5 °C wärmer sein als noch 1981 bis 1990. Der Westen und der gesamte Alpenraum kann sogar mit einem Temperaturplus von +2 bis 3 °C rechnen. Die Sommermonate Juni, Juli und August werden +2 bis 2,5 °C wärmer sein als heute. Auch hier stechen der Westen und der gesamte Alpenraum mit einem Plus von bis zu +3 °C heraus. Der Herbst wird mit einer allgemeinen Erwärmung von rund +2,5 bis 3 °C

einer allgemeinen Erwärmung von rund +2,5 bis 3 °C die höchste Temperatursteigerung erfahren. Der stärkere Temperaturanstieg im Sommer und Herbst ist hauptsächlich auf den Niederschlagsrückgang in diesen Jahreszeiten zurück zu führen.

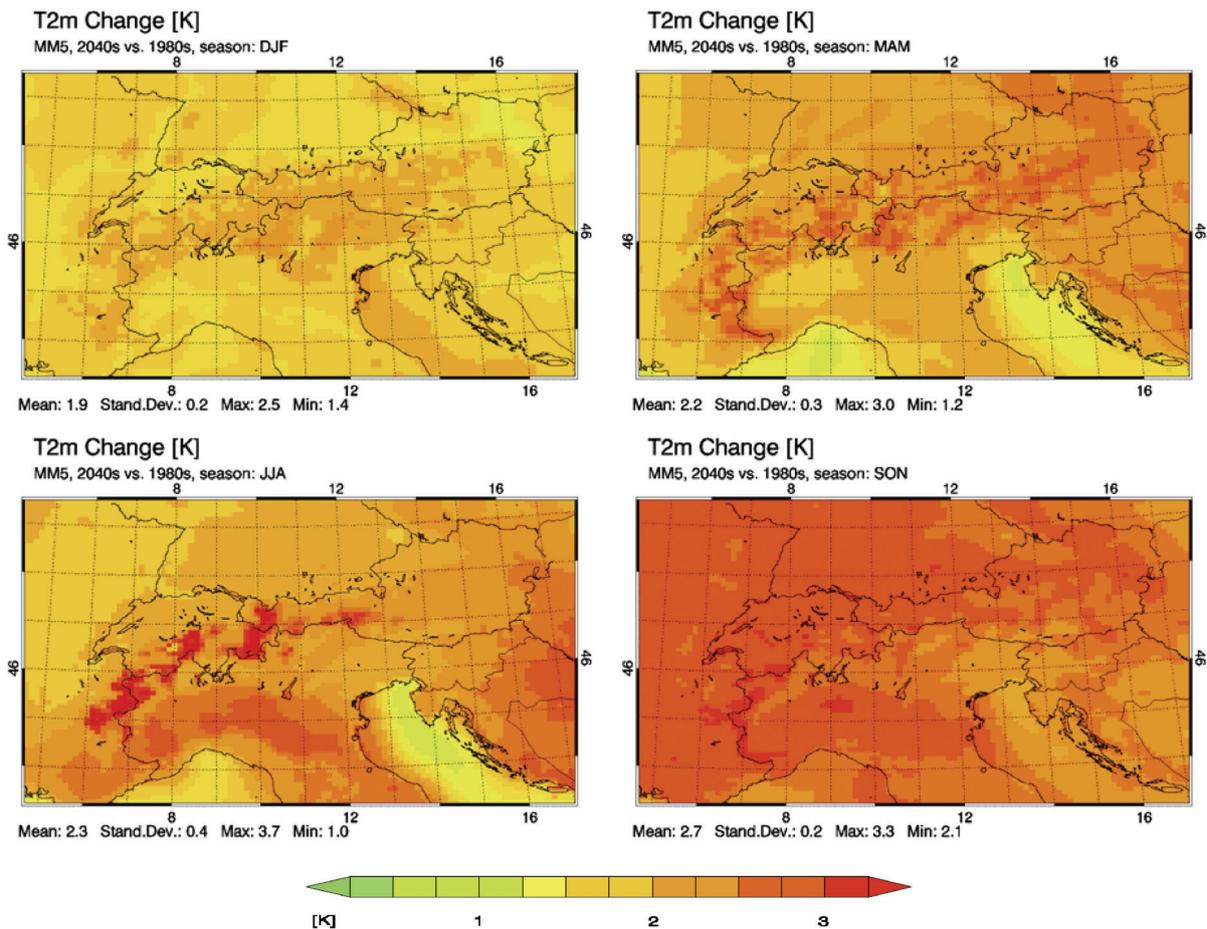


Abbildung 3.10: Änderung des saisonalen Temperaturdurchschnitts (T2m) in °C für 2041-2050 im Vergleich zu 1981- 1990. Dargestellt für das Regionalmodell MM5. (Loibl et al., 2007)

Abbildung 3.13 bildet die Temperaturentwicklung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ab. Verglichen werden die Sommer-, Winter- und Jahrestemperaturen. Als Klimamodellierungsgrundlage dient das A1B-Szenario. Bis zum Ende 2100 wird es im Jahresdurchschnitt mehr als 4 °C wärmer sein als noch heute. Im Jahresgang werden die höchsten Erwärmungen im Sommer und

werden die höchsten Erwärmungen im Sommer und Winter erwartet. Eine Überschreitung der 5 °C bis zum Jahrhundertwechsel ist nicht auszuschließen.

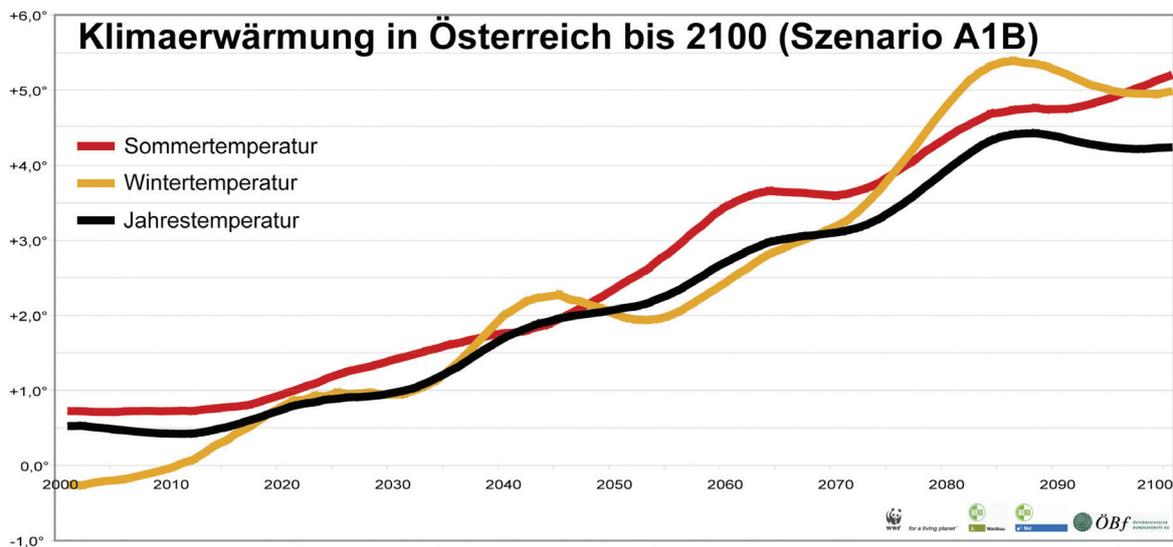


Abbildung 3.11: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperaturen in Österreich nach dem A1B Szenario bis Ende 2100. (Niedermair et al., 2007)

3.2.2 Niederschlag

Die für Österreich berechneten Niederschlagsmuster bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts zeigen saisonale und regionale unterschiedliche Tendenzen auf. Die Niederschläge werden insgesamt abnehmen, vor allem im Osten. Den stärksten Niederschlagsrückgang verzeichnen die Jahreszeiten Sommer und Herbst, wobei hier erwähnt werden muss, dass die Modelle zu gegenläufigen Trends gekommen sind. Im Osten Österreichs kann es zu einer Abnahme von -15 % bis zu einer Zunahme +15 bis 30 % im Sommer kommen. Im Winter und Frühling ist gelegentlich eine regionale differenzierte Zunahme möglich. Der Osten Österreichs wird in den Wintermonaten Dezember, Jänner und Februar z.B. mit einer Niederschlagszunahme von +15 bis 30 % rechnen müssen.

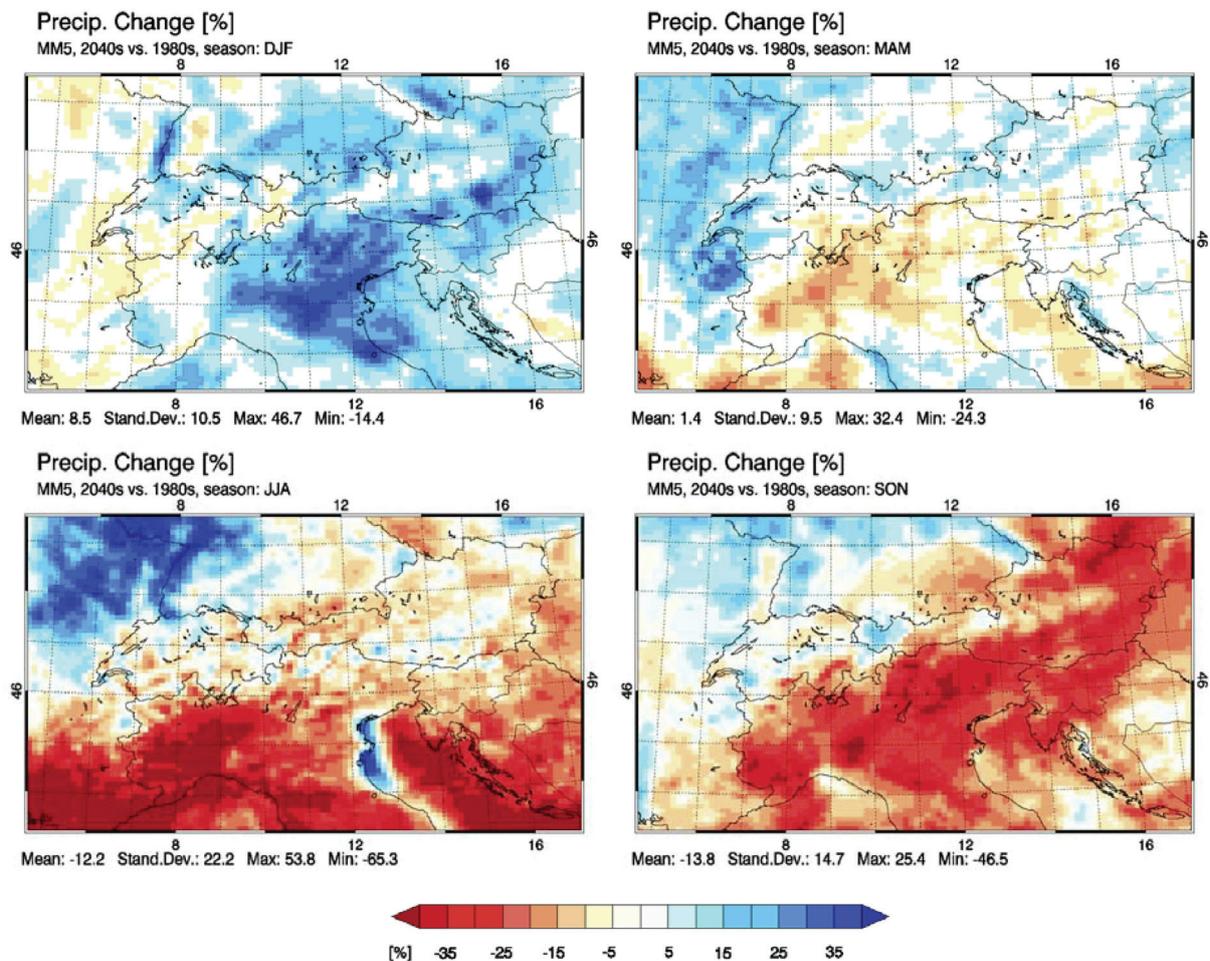


Abbildung 3.12: Änderung des saisonalen Niederschlages in Prozent für 2041-2050 im Vergleich zu 1981-1990. Dargestellt für das Regionalmodell MM5. (Loibl et al., 2007)

Der aufgezeigte Niederschlagstrend setzt sich bis Ende 2100 weiter fort. Verglichen zu derzeitigen Niederschlagssummen werden im Sommer die Niederschläge bis zu 50 % abnehmen, im Winter hingegen rund 40 % zunehmen. Allgemein verschiebt das sommerliche Niederschlagsmaximum in den Winter. Die Gefahr von Dürreperioden steigt.

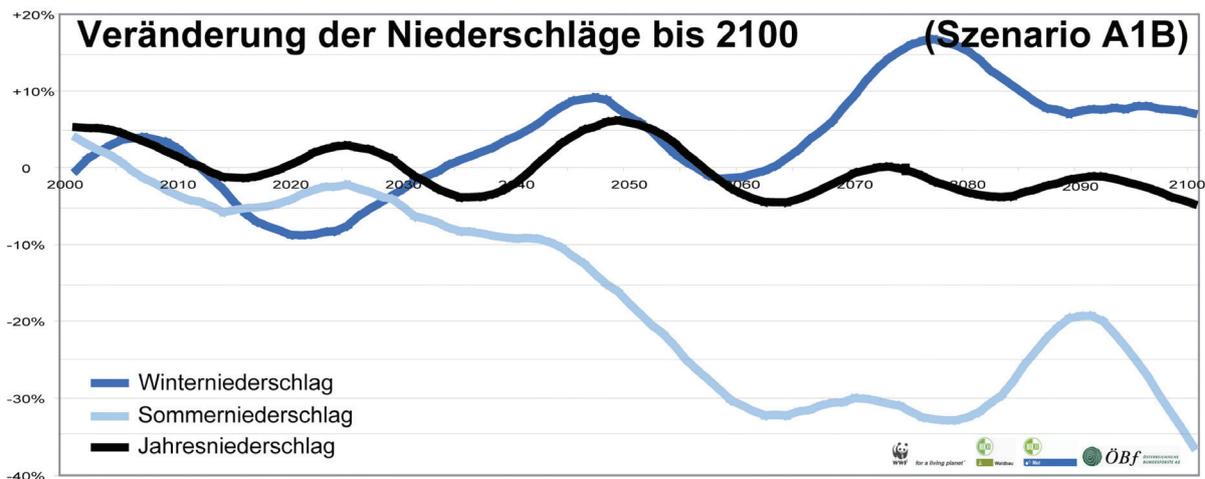


Abbildung 3.13: Entwicklung der Jahresniederschläge in Österreich nach dem A1B Szenario bis Ende 2100. (Niedermair et al., 2007)

3.2.3 Extremereignisse

3.2.3.1 Starkwinde

Studien, welche die zukünftige Entwicklung von Starkwindereignissen in Österreich aufzeigen, sind derzeit nicht vorhanden. Rezente Beobachtungen für Wien ergaben eine abnehmende Häufigkeiten (vgl. Kapitel 3.1.3.1).

Im Zuge des Projektes „Reclip:Miore“ wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf *bodennahe Luftströmungen* für den Alpenraum und das Wiener Becken analysiert.

Die Berechnungen belegen ebenfalls einen abnehmenden Trend der mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten von -3.3 % für den Alpenraum bzw. -2.9 % für das Wiener Becken bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts. Bei einer genaueren Betrachtung ergeben sich regionale und saisonale Unterschiede. Nördlich und nordwestlich der Alpen ergeben sich nahezu keine Änderungen der Windgeschwindigkeit, während südlich und südöstlich der Alpen mit einer Reduktion von -5 % zu rechnen sein wird. Im Gebirge treten die stärksten Rückgänge auf (-20.8 %). Nur im Sommer und während des Herbstes können

während des Herbstes können höhere Windgeschwindigkeiten nördlich und nordwestlich der Alpen auftreten (+5 % bis +7 %). (Truhetz et al., 2007)

3.2.3.2 Starkniederschläge

Aussagen über die Entwicklung von Starkniederschlägen in Österreich sind nicht eindeutig. Die derzeit wahrscheinlichste Interpretation der Forschungsergebnisse ist, dass die Niederschlagsmenge abnehmen, die Niederschlagsintensität jedoch zunehmen wird – d.h. dass das Hochwasserrisiko steigen wird. (Formayer und Kromp-Kolb, 2006)

3.2.3.3 Hagel

Eine Häufung von Hagelereignissen hängt davon ab, wie die Klimaänderung die hagelverursachenden Wetterlagen beeinflussen wird. Aussagen darüber können derzeit noch nicht getätigt werden.

3.2.3.4 Trocken- und Dürreperioden

Aufgrund der Niederschlagsreduktion kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft Trocken- und Dürreperioden häufiger auftreten werden. Besonders der landwirtschaftlich intensiv genutzte Osten und Südosten Österreichs werden einer erhöhten Trockengefährdung ausgesetzt sein. Die Häufigkeit und Anzahl von Trockenperioden wird sich in Niederösterreich und Wien (in Abbildung 3.14: Region Nord) sowie in Südoststeiermark und Nordburgenlands (Region Süd) bis zum Ende des Jahrhunderts (2070-2100) deutlich erhöhen. Trockenperioden von 1 Woche treten vermehrt in Niederösterreich und Wien auf, bis zu 5mal pro Jahr. Die 2-4wöchigen Perioden steigen stärker in der Südregion an.

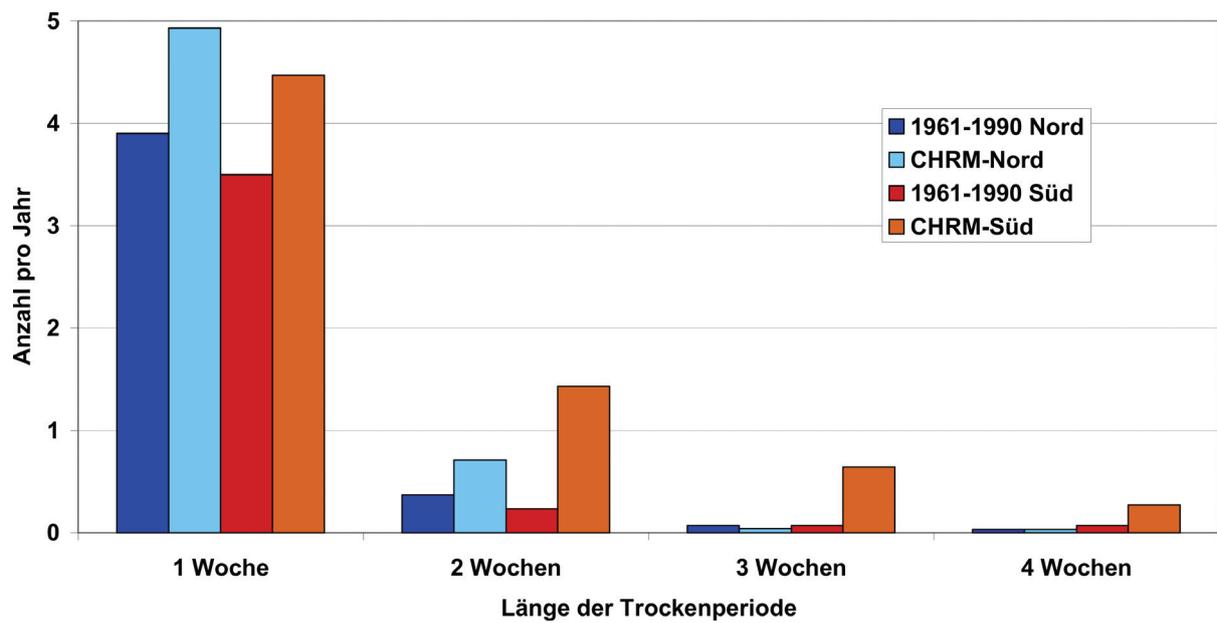


Abbildung 3.14: Häufigkeit von Trockenperioden (Niederschlag kleiner gleich 1 mm) beobachtet und CHRM-Szenarien (2070-2100; korrigiert) für die Nord und Süd Regionen (Formayer et al., 2005).

4 Auswirkungen des Klimawandels auf das österreichische Flachland

Spezielle die hohe Wirtschaftsleistung und Bevölkerungsdichte des österreichische Flachlands macht diese Region gegenüber einer Klimaänderung verletzlich. Eine geringe Wasserführung der Flüsse wirkt sich negativ auf die an ihnen angesiedelten Wasserkraftwerke aus. Das Flachland Österreichs wird in Zukunft mit einem gestiegenen Kühlenergiebedarf zu rechnen haben. Der Sommer wird aufgrund der steigenden Temperaturen als energieintensivste Jahreszeit zu betrachten sein. Wetterextreme gefährden nicht nur Funktionalität von Gebäuden, Schienen und Strassen, sondern erhöhen auch den Druck auf Naherholungsgebiete großer Städte (z.B. Wienerwald) und Grünflächen innerhalb der Stadt. Die drei wichtigsten landwirtschaftlichen Produktionsregionen liegen im Osten Österreichs. Sie werden unter den steigenden Temperaturen und den häufiger auftretenden Dürreperioden in zunehmendem Maße leiden. Besonders die Fichte dürfte zu den Verlierern einer Klimaerwärmung gehören, ganz im Gegensatz zum Weinbau. Da Frosttage und kühlfeuchte Tage abnehmen werden, kann mit einer Ertragssteigerung und der Bewirtschaftung neuer Flächen gerechnet werden.

Das österreichische Flachland ist jene Region mit der höchsten Wirtschaftsleistung und Bevölkerungsdichte. Temperaturerhöhungen und Niederschlagsänderungen spielen nicht nur für Land- und Forstwirtschaft eine Rolle, sondern auch für Infrastruktur und Energiewirtschaft.

4.1 *Energie*

Ein Großteil der heimischen Energieproduktion findet in Regionen des österreichischen Flachlandes statt. Hierbei nimmt die Wasserkraft eine Sonderstellung ein.

Die Wasserkraft ist der größte heimische Erzeuger elektrischer Energie. Sie liefert 58 % des Strombedarfes, der in Österreich verbraucht wird (Proidl, 2006). Der Anteil der Donaukraftwerke bei der Elektrizitätsgewinnung beträgt alleine rund 25 %. Eine Herabsetzung der Wasserverfügbarkeit wirkt sich nicht nur negativ auf die Energiewirtschaft, sondern auch auf Kraftwerke, die mit Oberflächenwasser gekühlt werden, aus. Aufgrund fehlenden Kühlwassers besteht die Gefahr, dass die Leistung der Wärmekraftwerke gedrosselt werden muss. Erste Berechnungen zeigen, dass Dürreperioden im Sommer vermehrt auftreten werden, und dass der Niedrigwasserabfluss am Oberlauf der Donau in Zukunft weiter sinken wird. (siehe: www.glowa-danube.de)

Der steigende Energiebedarf in den Sommermonaten in Verbindung mit einer geringeren Wasserführung der Donau könnte zu Engpässen in der Energieversorgung führen und die Abhängigkeit Österreichs von Energieimporten erhöhen. Da sommerliche Schönwetterperioden jedoch großräumige Phänomene sind – der Hitzesommer 2003 betraf ganz Mittel- und Westeuropa – wird die Stromproduktion in diesem ganzen Gebiet reduziert, gleichzeitig erhöht sich aber der Kühlenergiebedarf. Großräumige Stromausfälle sind künftig während derartiger Hitzewellen nicht auszuschließen.

Die Mehrheit der vorhandenen Studien, die sich mit Klima und Energie befassen, analysieren die Auswirkung der Energieerzeugung auf das Klima. Wesentlich weniger Studien untersuchen die Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem (KlimAdapt, 2007). Eine der wenigen Studien, die die Auswirkungen des Klimawandels auf Energiewirtschaft untersuchen, fand im Rahmen des Forschungsprogramms *StartClim* statt. *Prettenthaler et al.* (2006) untersuchten für Österreich die Auswirkungen des Klimawandels auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf. Hierfür haben sie auf die Klimamodellberechnungen des Projektes „Reclip:More“ zurückgegriffen. Für die Periode 2041-2050 wird mit einem österreichweiten 20 %igen Rückgang des mittleren Heizenergiebedarfs gegenüber der Vergleichsperiode 1981-1990 gerechnet. Auffällig ist, dass die Abnahme im alpinen Raum deutlich ausgeprägter ist als im Flachland. Die Zentralalpen sind hierbei besonders zu erwähnen. Gleichzeitig steigt die Anzahl der Kühlgradtage an.

wähnen. Gleichzeitig steigt die Anzahl der Kühlgradtage an. Es ist deutlich zu erkennen, dass Ostösterreich und speziell das nördliche Bürgenland mit einer signifikanten Steigerung des Kühlenergiebedarfes zu rechnen haben wird. Ebenfalls betroffen sind der Donauraum und Umgebung. Eine Verschiebung der energieintensiven Zeit vom Winter in den Sommer zeichnet sich ab.

Die Höhenabhängigkeit von Heiz- und Kühlgradtagen verdeutlicht Abbildung 4.1. Darüber hinaus ist das Substitutionsverhältnis zwischen diesen beiden Größen zu erkennen. In Gebieten, in denen die Anzahl der Kühlgradtage am stärksten zunimmt, ist die geringste Abnahme an Heizgradtagen zu verzeichnen. So ersetzen in 650 m Seehöhe 1 Kühlgradtag 10 Heiztage, in 100 m Seehöhe beträgt dieses Verhältnis nur mehr 1 zu 2. Die Interpretation dieser Ergebnisse deutet darauf hin, dass der Energiebedarf im Flachland verglichen zu höheren Lagen stärker ansteigen wird.

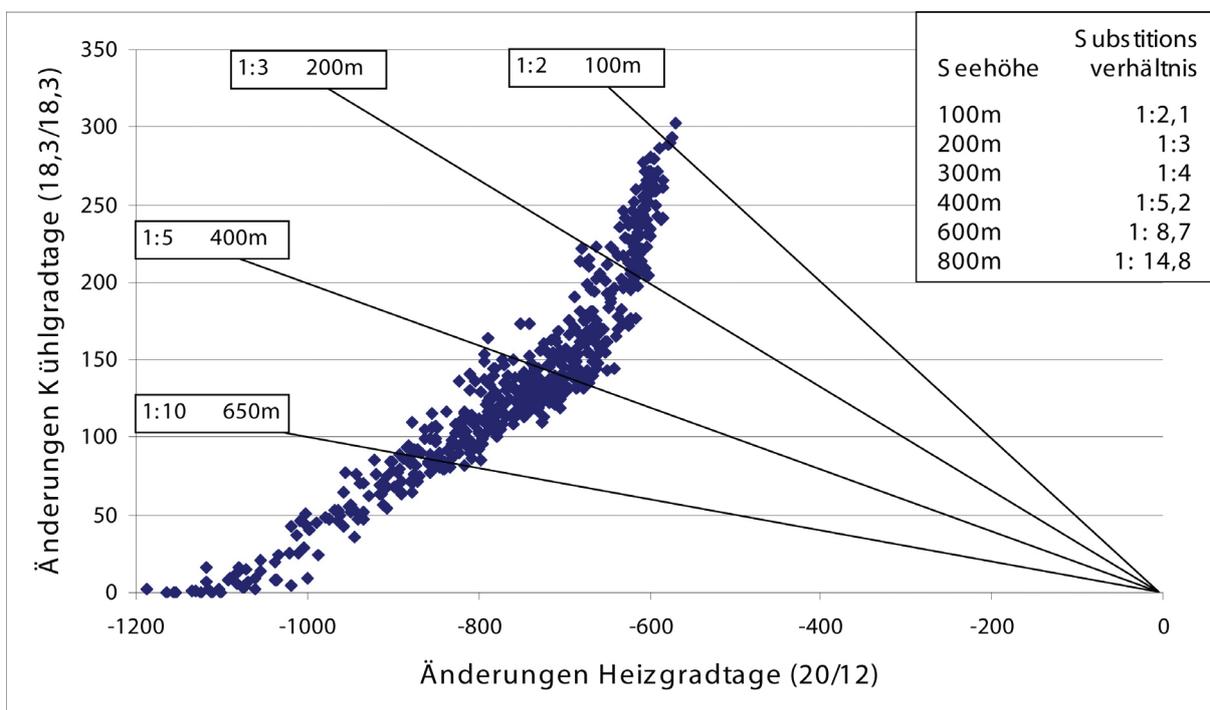


Abbildung 4.1: Verschiebung der Heizgradtage zu Kühlgradtage in Österreich. (Prettenthaler et al., 2007)

4.2 Infrastruktur

Besonders Wetterextreme haben in der Vergangenheit oftmals bewiesen, dass sie erhebliche Schäden an Bauten für Wohn- und Arbeitswelt, Transport- und Verkehrswege sowie für die Siedlungswasserwirtschaft anrichten können. Auch die Infrastruktur der Energiewirtschaft muss sich in Zukunft an die geänderten Bedingungen anpassen (siehe dazu vorangegangenes Kapitel).

Das größte Schadenspotential haben hierbei Hochwasserereignisse. Speziell Donauhochwässer können großflächige Schäden an der Infrastruktur verursachen, wie die Auguthochwässer 2002 bewiesen haben. Um die Häufigkeit von Donauhochwässern zu beeinflussen, müssten sich die Eigenschaften der großräumigen, langanhaltenden Starkniederschläge verändern. Dies kann bei Vb-ähnlichen Wetterlagen nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Aber auch kleinräumige Hochwasserereignisse spielen im östlichen Flachland eine wichtige Rolle, da der Übergangsbereich zu den Alpen die größte Gewitterdichte von Österreich aufweist, welche Zerstörungen in kleineren Einzugsgebieten verursachen können

Aber auch höhere Temperaturen können die Infrastruktur von Bahn und Straße beschädigen. Schienenwölbungen und schmelzender Asphalt können zu Betriebsstörungen und Einbußen im Benutzerkomfort führen. Nicht klimatisierte U-Bahnstationen und U-Bahngarnituren erhöhen die gesundheitlichen Risiken der Benutzer.

Starkstürme haben ebenfalls ein hohes Schadenspotential. Das Sturmtief „Emma“ z.B. machte eine vorübergehende Sperrung des Wiener Südbahnhofs für mehrere Tage notwendig. Ein Kran kippte um und zog Gleise, Signale, Strom- und Oberleitungen, Bahnsteigkanten und eine Außenwand in Mitleidenschaft. Zugausfälle und Verspätungen waren die Folge. Sollten Veränderungen bei der Häufigkeit oder der Stärke von atlantischen Stürmen in Mitteleuropa eintreten, wäre gerade der Donaauraum besonders betroffen.

4.3 Land- und Forstwirtschaft

Die drei wichtigsten *landwirtschaftlichen* Produktionsregionen liegen im Osten Österreichs. Sie schließen die Bundesländer Nieder- und Oberösterreich und die Steiermark mit ein. Etwa zwei Drittel aller landwirtschaftlichen Betriebe liegen in diesen drei Bundesländern (BMLFUW, 2007). Die Bundesländer mit den wenigsten Betriebszahlen sind Salzburg, Vorarlberg und Wien. Das meiste Ackerland befindet sich im österreichischen Flachland. Grünlandwirtschaft wird vor allem in den westlichen Bundesländern betrieben (Abbildung 4.3).

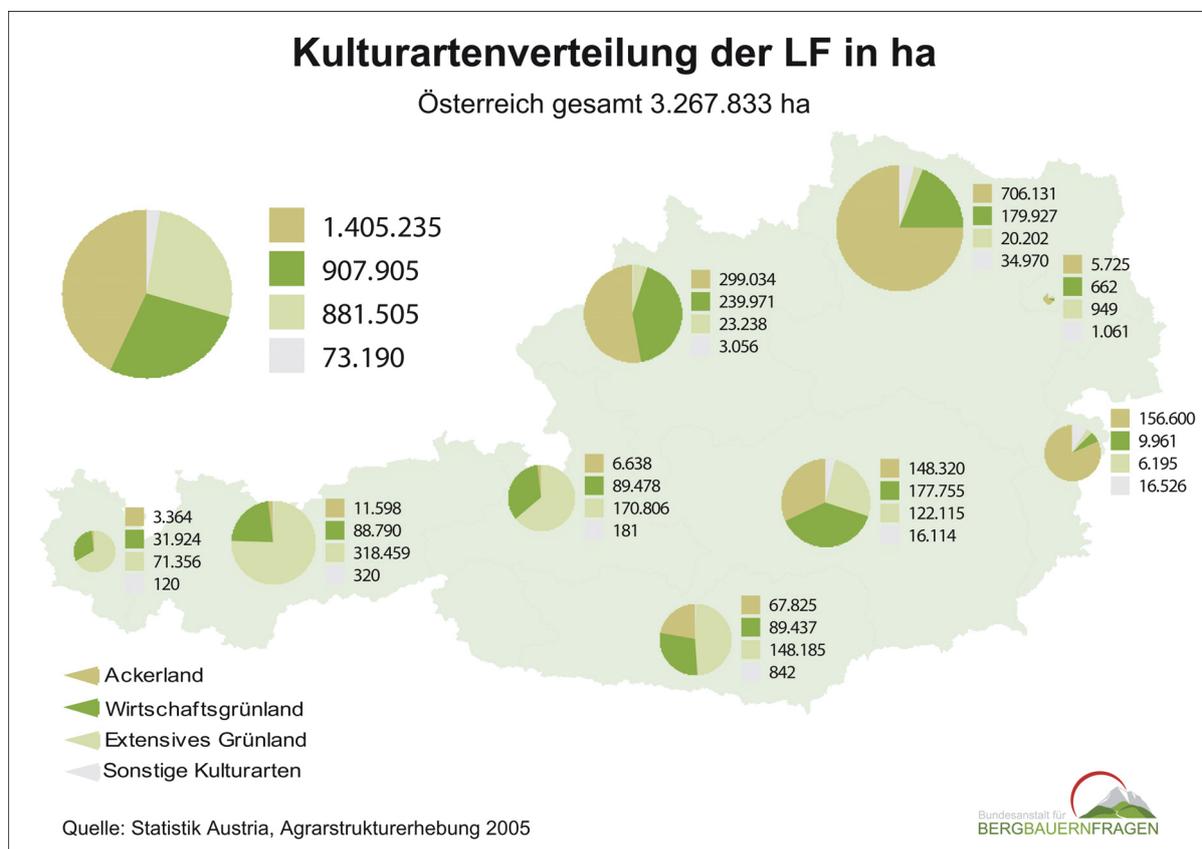


Abbildung 4.2: Kulturartenverteilung der landwirtschaftlich genutzte Flächen (LF) in ha. (BMLFUW, 2007)

In Soja und Soja (2003) sind die Auswirkungen von Extremereignissen für 7 landwirtschaftliche Kulturpflanzen (Winterweizen, Sommergerste, Mais, Kartoffeln, Zuckerrübe, Wein, Apfel), die in den Bundesländer Ober- und Niederösterreich

ckerrübe, Wein, Apfel), die in den Bundesländer Ober- und Niederösterreich sowie der Steiermark kultiviert werden, untersucht worden. Dabei wurden agrarstatistische Erhebungen der Flächenerträge mit meteorologischen Monatsmittelwerten verknüpft. Der untersuchte Zeitraum erstreckt sich von 1869 bis 2002. Die Ergebnisse sind:

Den Ertrag von Sommergerste und Mais schmälern sommerliche Trockenperioden erheblich. Für alle Getreidearten gilt, dass Schlechtwetter im Erntemonat ein signifikanter Risikofaktor ist. Jahre mit hohen durchschnittlichen Niederschlagsmengen sind schlechte Kartoffeljahre. Die Missernten der letzten Jahre sind jedoch auf die große Trockenheit zurückzuführen. Eine trockene Witterung im Anbaumonat April und ausreichend Wärme während der Wachstumsphase versprechen den höchsten Zuckerrübenertrag. In den Sommermonaten kann aber eine zu ausgeprägte Trockenheit den Ertrag reduzieren. Der Weinanbau kann zu den klimatischen Gewinnern einer Klimaänderung gehören. Frosttage und kühlfeuchte Tage im ganzen Sommer sind hauptverantwortlich für Missernten und Ertragseinbußen. Für die Apfelproduktion sind vor allem hohe Temperaturen im März und eine kalte Witterung im Februar und April ertragshemmend. Ebenso schadet zu viel Niederschlag im April und Mai (Blütezeit) sowie im Juli. Tabelle 4.1 bietet eine Übersicht der Risikofaktoren für die jeweiligen landwirtschaftlichen Erzeugnisse.

Tabelle 4.1: Risikofaktoren für Missernten in den drei wichtigsten landwirtschaftlichen Produktionsregionen. Gegliedert nach Erzeugnissen und Monaten. (Soja und Soja, 2003)

Risikofaktoren für Missernten in drei Regionen Österreichs 1869 - 2002							
	Winterweizen	Sommergerste	Mais	Kartoffel	Zucker- rübe	Wein	Apfel
Jänner							
Februar							
März							
April							
Mai							
Juni							
Juli							
August							
September							
Oktober							

Klimatische Veränderungen haben nicht nur negative Auswirkungen, sondern stellen auch, bei richtig gesetzten Maßnahmen, eine Chance für die heimische Land- und Forstwirtschaft dar. Veränderte klimatische Bedingungen können z.B. die Vegetationsperiode verlängern und den Ertrag steigern lassen. Auch können Regionen, die vorher nur unzureichend kultiviert werden konnten, als neu Produktionsstandorte in Betracht gezogen werden. Der kurze zeitliche Zyklus von Anbau und Ernte ermöglicht eine hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Ackerwirtschaft. Limitierende Faktoren wie Wasserverfügbarkeit und Temperatur können jedoch zu Zuwachsverlusten führen.

Die *Forstwirtschaft* ist aufgrund der Langlebigkeit von Bäumen in besonderer Art und Weise von klimatischen Veränderungen betroffen. Rasche Umweltveränderungen machen eine natürliche Anpassung über genetische Prozesse oder natürlicher Migration von Baumarten nahezu unmöglich (Lexner und Seidl, 2007). Die Klimaerwärmung wird darüber hinaus die natürliche Ausbreitung von Schadensorganismen beschleunigen. War bislang die Temperatur ein limitierender Faktor für viele, nicht einheimische Tier- und Pflanzenarten sich

einheimische Tier- und Pflanzenarten sich dauerhaft in Österreich anzusiedeln, so wird diese Schranke mit zunehmender Erwärmung abgeschwächt. Auch ein Ansteigen der Borkenkäferpopulation gilt als wahrscheinlich. Mit der Erwärmung werden auch höher gelegene Waldgebiete vom Borkenkäferbefall betroffen sein (Krehan und Steyrer, 2006).

Fichte: Veränderung von Stress im Klimawandel unter Berücksichtigung von Störungen durch Borkenkäfer

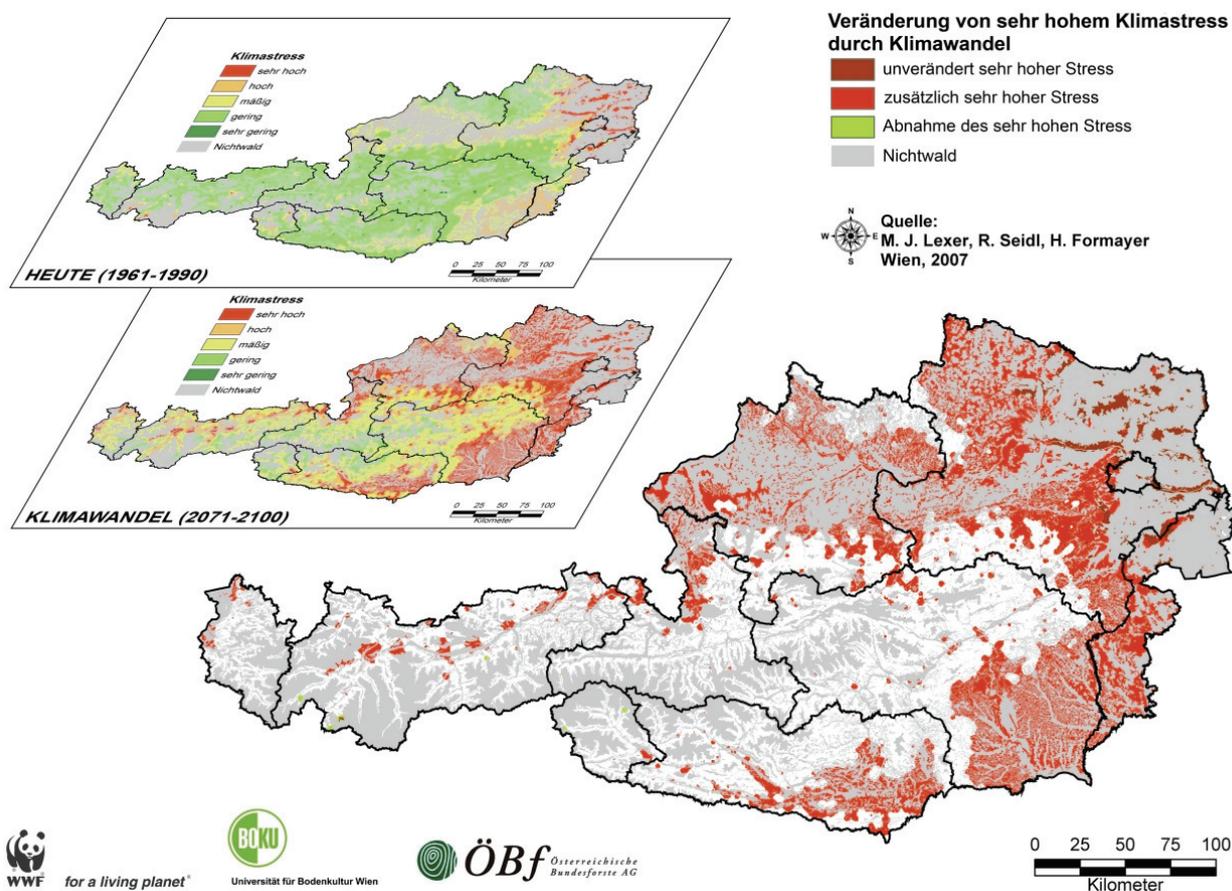


Abbildung 4.3: Veränderung der Stressbelastung für Fichte durch Klimawandel unter Berücksichtigung von Borkenkäferstörungen. Im Insert sind anhand von zwei Karten die Klimastress-Belastung der Fichte heute und unter Klimawandel in fünf Stress-Kategorien dargestellt. (Niedermaier et al., 2007)

Die für die Holzwirtschaft wichtige Fichte wird massiv unter der Klimaänderung leiden. Nach der österreichischen Waldinventur 2000 bis 2002 nimmt sie in Österreich etwa 56 % der Ertragswalfläche ein und liegt somit weit vor der Buche (9,7 %) und der Weißkiefer (5,3 %), die die zweit- bzw. dritthäufigsten Baumarten in Österreich darstellen. Ihr natürliches Verbreitungsgebiet sind montane (ca. 800 bis 1.500 Höhenmeter) und subalpine (ca. 1.500 bis 2.500 Höhenmeter) Regionen. Aufgrund der starken anthropogenen Förderung dominieren Fichten in Regionen, in denen sie von Natur aus nicht oder nur vereinzelt vorkommen würden (z.B. im Flach- und Hügelland der Oststeiermark). Diese sekundären Fichtenbestände sind gegenüber klimatischen Veränderungen besonders anfällig. Das Hauptproblem der Fichte ist die extreme Kalamitätsanfälligkeit (Borkenkäfer) bei höheren Temperaturen und Niederschlagsmangel. Besonders der Osten Österreichs, wo bereits jetzt schon die Niederschlagssummen für die Fichte stellenweise kritische Werte erreichen, könnte an Attraktivität als Wuchsgebiet verlieren. Das Zusammenspiel von prognostizierten, abnehmenden Niederschlagssummen und einem zu erwartenden Mehrverbrauch an Wasser, aufgrund gesteigerter Temperaturen, erhöhen den Trockenstress. Als Konsequenz werden trockenresistentere Baumarten, wie z.B. Eiche an Bedeutung gewinnen.

Lexner und Seidl (2007) berechneten die *potentielle Vegetation* bei einer Temperaturerhöhung von 2 °C bei gleichzeitiger Abnahme der Sommerniederschläge um - 15 %. Die optimale Waldgesellschaft würde sich nachhaltig verändern. Der Anteil des Buchenwaldtyps wird von derzeit 14 % auf knapp 50 % ansteigen. Eichenwälder werden rund 5 % an Fläche dazu gewinnen. Fichten-Tannen und montane Fichten Waldgesellschaften werden an Konkurrenzfähigkeit verlieren. (Lexner und Seidl, 2007)

Der Zuwachs des Buchenwaldtyps findet hauptsächlich in alpinen Regionen statt. Im Flachland, wo sie derzeit eine bestandsbildende Baumart darstellen (z.B. Buchenwälder des Wienerwaldes), wird wegen abnehmender Niederschlagsmengen und längeren Dürreperioden der Bestand abnehmen (Niedermair et al., 2007).

Während der Übergangszeit zwischen der alten und der neuen Waldgesellschaft reagiert der Wald besonders sensibel auf Schädlinge. Ertrags- und Einkommensausfälle können die Folge sein. Um die Übergangszeit zwischen den Waldgesellschaften zu verkürzen, besteht ein aktiver Handlungsbedarf.

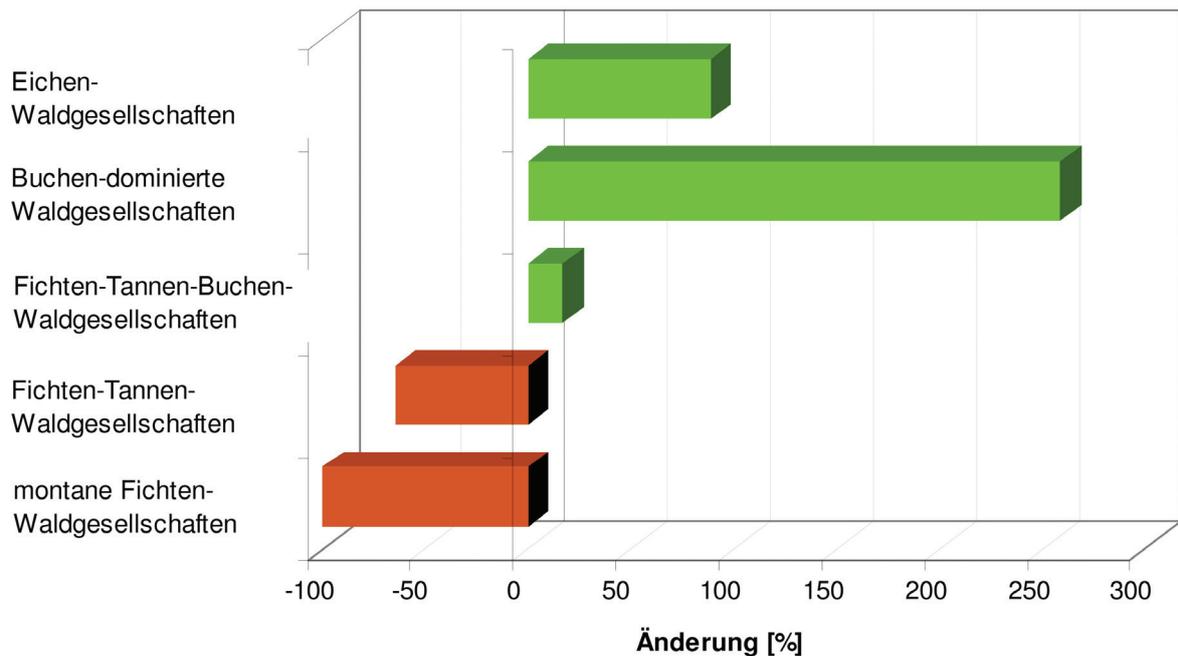


Abbildung 4.4: Relative Änderung wichtiger Walntypen unter einem Klimaänderungsszenario (+2 °C und -15 % Sommerniederschlag). (Lexner und Seidl, 2007)

4.4 Mögliche Anpassungsmaßnahmen

4.4.1 Energie

Alle Maßnahmen, die den Energieverbrauch senken, können als Anpassungsmaßnahmen angesehen werden. Sie schmälern nicht nur den Ausstoß von klimaschädlichen Treibhausgasen, gleichzeitig mindern sie auch die Abhängigkeit von Energieimporten aus dem Ausland. Hierzu zählen, wie in allen Teilregionen Österreichs, die thermische Sanierung von Gebäuden, und eine Reduktion des motorisierten Individualverkehrs durch raumplanerische Maßnahmen.

Die sich abzeichnende saisonale Energieproduktionsverlagerung vom Sommer in den Winter bei der Wasserkraft, erleichtert zwar die Stromaufbringung im Winter (Beleuchtung, Heizen), erhöht jedoch im Sommer das Risiko von Stromausfällen, durch die Überlagerung von geringer Produktion aus Wasserkraft und unter Extrembedingungen den Ausfall an Kalorischen- und Atomkraftwerken aufgrund fehlenden Kühlwassers. Um die Verletzlichkeit gegenüber derartigen Ausfällen zu reduzieren, sollte der Strombedarf speziell im Hochsommer möglichst klein gehalten werden (geringe technische Kühlung mittels Strom). Ebenfalls sollten Stromimporte aus Italien, Frankreich und Deutschland keinen zu Großen Anteil haben, da die Stromproduktion dieser Länder stark am Abfluss der Flüsse Rhein, Rhone und Po abhängt und daher bei einer Trockenheit im Alpenraum gleichzeitig betroffen sind.

4.4.2 *Infrastruktur*

Jakob et al. (2006) berechnete die Überhitzungsschutzkosten anhand der Schweizer Gebäudeinfrastruktur. Danach würde ein verbesserter Überhitzungsschutz 10 Franken (ca. 6,07 Euro) pro Quadratmeter und Jahr verursachen (Aller et al., 2007 zit. Jakob et al. 2006). Legt man diese Berechnungen auf den Wiener Büroflächenbestand mit 9,8 Millionen Quadratmeter aus dem Jahre 2007 um, so sind mit Mehrkosten von rund 60 Millionen Euro im Jahr zu rechnen.

Nicht nur die bestehenden Gebäude müssen an die Klimaänderung angepasst werden, sondern auch geplante Bauten müssen auf ihre Klimatauglichkeit hin untersucht werden. Diesbezüglich benötigt es einer Anpassung der Baunormen. In einer Studie des beratenden Organs für Fragen der Klimaänderung der Schweiz (OcCC) wird eine „frühzeitige Anpassung von Baunormen“ als besonders wichtig empfunden. „Diese beruhen derzeit auf Mittelwerten vergangener Beobachtungsperioden, sollten jedoch dringend auf das künftige Klima ausgerichtet werden.“ (Aller et al., 2007)

4.4.3 Land- und Forstwirtschaft

Die hier präsentierten Anpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft an den Klimawandel stammen aus Eitzinger (2007):

Aufgrund klimatischer Änderungen ist mit einer Verlängerung der Vegetationsperioden zu rechnen. Werden die Anbaumaßnahmen (frühere Anbauzeitbaupunkte im Frühjahr, Auswahl spätreifenderer Sorten) an diesen Umstand angepasst, können sie die Erträge positiv beeinflussen (vor allem bei Sommergetreide und Mais). Die Empfindlichkeit gegenüber sommerlichen Trockenperioden kann durch Maßnahmen, die die Abhängigkeit vom Bodenwasserspeichervermögen herabsetzt, minimiert werden. Dazu zählen u.a. landschaftsgestalterische Maßnahmen, wie der Wind und Verdunstungsschutz durch Hecken, bodenwasserschonende Fruchtfolgegestaltung, Bodenbedeckungen als Verdunstungs- und Erosionsschutz (Mulchdecken), auf Bodenvariationen reagierende und/oder effiziente Bewässerungssysteme, Auswahl trocken- und hitzeresistentere Sorten bzw. Kulturen mit geringem Wasserverbrauch, usw.. Bei Obst- und Weinkulturen ist eine Erschließung neuer Regionen, die bisher zu kühl waren, denkbar. Hagelversicherungen können helfen Ernteauffälle aufgrund von Hagelschäden finanziell abzumildern. (Eitzinger, 2007)

Bei Anpassungsmaßnahmen der Waldwirtschaft an den Klimawandel muss der längere Zeithorizont der Entscheidungen in Betracht gezogen werden. Daher muss die Waldbewirtschaftler schon heute die Entwicklungen der nächsten Dekaden mit berücksichtigen. *Bürgi und Brang* (2001) stellen fünf Thesen auf, wie sich der Waldbau an geänderte Verhältnisse anpassen kann:

- Baumarten- und Strukturvielfalt sind zu erhöhen

- In Wäldern mit Produktions- und Schutzfunktion sind die Vorräte deutlich zu senken
- Die Prinzipien der „Minimalen Pflege⁴“ sind in allen bewirtschafteten Wäldern anzuwenden
- Die Betriebseinheiten müssen wesentlich größer werden
- Die Praxis muss für ein wirksames Controlling waldbaulicher Maßnahmen sorgen

⁴ Nach diesem Bewirtschaftungsmodell sollen nur Eingriffe durchgeführt werden, die zugleich nötig, wirksam und verhältnismäßig sind. Bei Beständen, die von sich aus in die gewünschte Richtung gehen, sind Eingriffe zu unterlassen (Bürgi und Brang, 2001).

5 Auswirkungen des Klimawandels auf den Alpenraum

Der Alpenraum kann als Klimafrühwarnsystem, in dem die Folgen des Klimawandels verstärkt auftreten, angesehen werden. Ein geändertes Abflussverhalten der Gletscher hat massive Auswirkungen auf die alpinen Speicherkraftwerke. So könnte es beispielsweise bei raschen Speicherpegelabsenkungen zu Hangrutschungen und zu Zerstörungen kommen. Die Folgen einer Gletscherschmelze beschränken sich nicht nur auf den Alpenraum, sondern wirken sich bis in das Flachland hinein aus, das die alpine Wasserspende für landwirtschaftliche, touristische und energetische Zwecke nutzt. Eine zweite Gefahr für die Infrastruktur geht vom Auftauen des Permafrostes aus. Mit zunehmendem Schwund des Dauerfrostbodens findet eine Destabilisierung des Untergrundes statt. Das verstärkte Auftreten von Massenbewegungen, insbesondere Steinschlag- Felssturzprozesse in steilen Felsflanken und eine zunehmende Gefährdung von Straßen, Wanderwege, Klettertouren, Schipisten und vor allem Schiliften und Seilbahnen können die Folgen sein. Aufgrund der höheren Temperaturen ist ein Ansteigen der Baumgrenze absehbar. Dies hat Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion in den Alpen. Das für die Almwirtschaft wichtige Dauergrünland geht verloren und stellt die Bergbauern vor neue Herausforderungen.

Der Alpenraum reagiert sehr sensibel auf Klimaänderungen und kann daher als Klimafrühwarnsystem angesehen werden, in dem auch die Folgen des Klimawandels verstärkt auftreten (Seiler, 2006). Die EU zählt in ihrem Grünbuch die „Berggebiete, insbesondere die Alpen“ (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2007) zu den verwundbarsten Gebieten Europas. Der überdurchschnittliche Temperaturanstieg von 1,8 °C in den letzten 1.000 Jahren hat weitreichende Folgen für die sensiblen Ökosysteme der Alpen. In weiterer Folge müssen sich auch die vom Menschen geschaffenen Systeme (Tourismus,

Menschen geschaffenen Systeme (Tourismus, Landwirtschaft, Verkehr, usw.) auf die geänderte Situation einstellen.

5.1 Energie

Die Stromerzeugung in den Alpen setzt fast ausschließlich auf die Wasserkraft. Mithilfe von Speicherkraftwerken wird die Kraft des Wassers genutzt, um elektrische Energie zu erzeugen. Voraussetzung für ein Speicherkraftwerk ist ein Stausee. Das aufgestaute Wasser wird durch Rohre zum tiefergelegenen Elektrizitätswerk geleitet. Dabei treibt das Wasser Turbinen an, die ihrerseits wieder Generatoren ankurbeln, die Strom produzieren. Die Stauseen der österreichischen Speicherkraftwerke werden hauptsächlich durch die Sommerniederschläge und vom Schmelzwasser der Schneedecke im Frühling und Frühsommer gespeist. Das Abschmelzen ausgeperrter Gletscherflächen spielt in der Jahresproduktion eine untergeordnete Rolle. Nach Abschluss der Schneeschmelze und unter Schönwetterbedingungen stellt die Gletscherschmelze faktisch die einzige Zuflussquelle dar. Die Klimaänderung im Alpenraum beschleunigt das Abschmelzen der Gletscher und kann kurzfristig zu einem erhöhten Zufluss führen. Längerfristig jedoch muss mit einem Rückgang der glazialen Wasserspende gerechnet werden, der proportional mit dem Rückgang der Gletscherfläche ist.

Das Fehlen der Gletscherspende wird nur unter extrem trockenen Bedingungen wirklich von Bedeutung sein. Im Hitze und Trockensommer 2003 was diese jedoch dafür verantwortlich, dass in Rhein und Po überhaupt noch Wasser vorhanden war. Selbst an der Salzach schätzt man, dass im August 2003 rund 40 % des Abflusses von der Gletscherschmelze stammte. Würde jetzt ein Sommer wie 2003 eintreten, wäre der Beitrag der Gletscher schon um einiges geringer, da sich die Abnahme der alpinen Gletscherfläche seit 2003 sukzessive fortgesetzt hat. Die Auswirkungen auf Energieproduktion der Laufkraftwerke, aber auch auf das Kühlwasservorkommen bei Kalorischen- und Atomkraftwerken, wäre enorm und ein großräumiger Zusammenbruch der Stromversorgung nicht auszuschließen.

In einer Studie des Forschungsprogramms „StartClim“ wird die Auswirkung von Klimaänderungen auf das Abflussverhalten von vergletscherten Einzugsgebieten im Hinblick auf Speicherkraftwerke untersucht. Die Studie wird im Sommer 2008 abgeschlossen und veröffentlicht sein. (siehe: www.austroclim.at/index.php?id=startlim2007)

Eine ähnliche Untersuchung findet zurzeit am Zentrum für Naturgefahren Management der Universität Innsbruck statt. Im Rahmen des Projektes „Regionale Folgen de Klimawandels – Energiewirtschaft“ soll die Vulnerabilität der Tiroler Energiewirtschaft hinsichtlich einer Klimaänderung beleuchtet werden. Untersuchungsgegenstand ist, wie sich ein verändertes Abflussregime der Flüsse auf die E-Wirtschaft auswirkt. Im Zuge des Projektes sollen mögliche Veränderungen des Abflussschehens unter Annahme verschiedener Klimaszenarien abgeschätzt werden. Außerdem wird die zu erwartende Veränderung des Strom- bzw. Energieverbrauchs untersucht. Die Studie läuft bis Ende Juni des heurigen Jahres (siehe: www.alps.at/v2/www/projekte/4.1AC.php)

In jüngerer Zeit gewinnt eine zweite Form der Energiegewinnung in den Alpen an Bedeutung: die Windkraft. Im Jahr 2002 ging z.B. in der Steiermark auf 1.850 Höhenmetern ein Windpark mit elf Einzelanlagen in Betrieb. Ein weiterer Ausbau der Windkraft in den Alpen muss angesichts der ökologischen und ästhetischen Wirkungen sowie einer möglichen Windgeschwindigkeitsabnahme im Gebirge von 20 % bis Mitte des Jahrhunderts mit Bedacht vorgenommen werden.

5.2 Infrastruktur

Die Infrastruktur im Alpenraum setzt aus mehreren Komponenten zusammen. Einerseits ist da jene, die die lokale Bevölkerung zum Überleben braucht, andererseits wird die Infrastruktur sehr stark vom Tourismus determiniert. Zusätzlich führt eine Vielzahl an Transportinfrastruktur (Straße, Schiene, Stromleitungen, Pipelines) durch den österreichischen Alpenraum, um die italienischen Häfen mit Mitteleuropa zu verbinden. Die erhöhte Mobilität, ein geändertes Freizeitverhalten und der steigende Siedlungsdruck zwingen die

gende Siedlungsdruck zwingen die Gesellschaft immer exponiertere Lagen für Wohnungs-, Strassen- und Schipistenbau zu benutzen und lassen das Risiko einer Beschädigung durch Naturgewalten steigen. Durch den Klimawandel wird der Druck auf hochgelegenen Gebieten sogar noch erhöht, da nur in Regionen über 2000 m langfristig mit einer natürlichen Schneesicherheit gerechnet werden kann.

Eine mögliche Gefahr für die Infrastruktur des alpinen Raumes geht vom Schmelzen des Permafrostes aus. Permafrostböden sind ganzjährig gefroren und verleihen dem Untergrund eine gewisse Stabilität und tauen im Sommer nur oberflächlich auf. Obwohl der Permafrost für das Erscheinungsbild der Alpen in seiner gewohnten Form mitbestimmend ist, weiß man über die Verbreitung und das Verhalten relativ wenig (Krainer, 2007). Steigende Temperaturen führen zu einem verstärkten Auftauen und Abschmelzen des Permafrostes und zu einer zunehmenden Instabilität des Untergrundes. „Die Folge wären verstärkte Massenbewegungen, insbesondere Steinschlag- Felssturzprozesse in steilen Felsflanken und eine zunehmende Gefährdung von Straßen, Wanderwege, Klettertouren, Schipisten und vor allem Schiliften und Seilbahnen.“ (Krainer, 2007). Selbst das meteorologische Observatorium am Hohen Sonnblick in 3.106 m Seehöhe musste in den letzten Jahren mittels Stahlschrauben und Beton abgesichert werden, um einen Absturz des gesamten Observatoriums zu verhindern.

Eine weitere Gefahr für die Infrastruktur besteht im Ausapern der Gletscher. Viele heimische Flüsse werden vom alpinen Schmelzwasser gespeist. Das beschleunigte Abtauen des Gletschereises kann kurzfristig zu einer erhöhten Hochwassergefahr führen, langfristig jedoch muss vor allem während den Trockenperioden im Sommer mit einem Rückgang der transportierten Wassermenge gerechnet werden. Die Folgen einer Gletscherschmelze beschränken sich nicht nur auf den Alpenraum, sondern wirken sich bis in das Flachland hinein aus, das die alpine Wasserspende für landwirtschaftliche, touristische und energetische Zwecke nutzt (Beniston, 2007).

Abbildung 5.1 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Gletscherbestand und Temperaturerhöhung. Bei einer angenommenen Temperatursteigerung von 5 °C würden die Gletschergebiete in Österreich zur Gänze verschwinden. Europaweit würden dann nur mehr weniger als 10 % des Gletscherbestandes, verglichen zur Periode 1971-90, existieren.

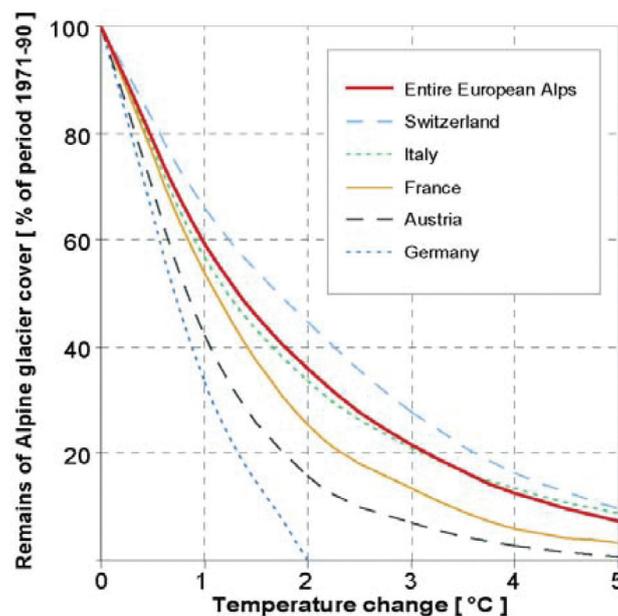


Abbildung 5.1: Gletscherbestand bei einer angenommenen Temperaturerhöhung von 1 bis 5 °C. (Böhm, 2006)

Naturkatastrophen im gesamtalpinen Raum werden überwiegend von Extremereignissen wie Starkniederschläge bzw. Starkwinde sowie von Hitze- und Dürreperioden ausgelöst. In einem Zeitraum von 25 Jahren traten insgesamt 800 Katastrophen auf. Davon entfielen die meisten auf die Kategorien „Sturmereignisse“ und „Temperaturrextreme“. Betrachtet man jedoch die volkswirtschaftlichen Schäden, die diese Ereignisse hervorrufen können, rangieren Überschwemmungen unangefochten auf Platz eins. Hochwässer verursachten in der Beobachtungsperiode insgesamt zweidrittel der Gesamtschadenssumme von 57 Milliarden Euro (Abbildung 5.2). Diese Zahlen müssen vor allem in Kontext mit einer verstärkten Besiedelung von Gefahrenzonen, einer Bevölkerungszunahme,

von Gefahrenzonen, einer Bevölkerungszunahme, einem steigenden Lebensstandard – d.h. höhere Vermögenswerte pro Kopf und mit einer Bevölkerungs- und Wertekonzentration in Großstadträumen gesehen werden (Berz, 2005).

Naturkatastrophen im Alpenraum zwischen 1980 und 2005

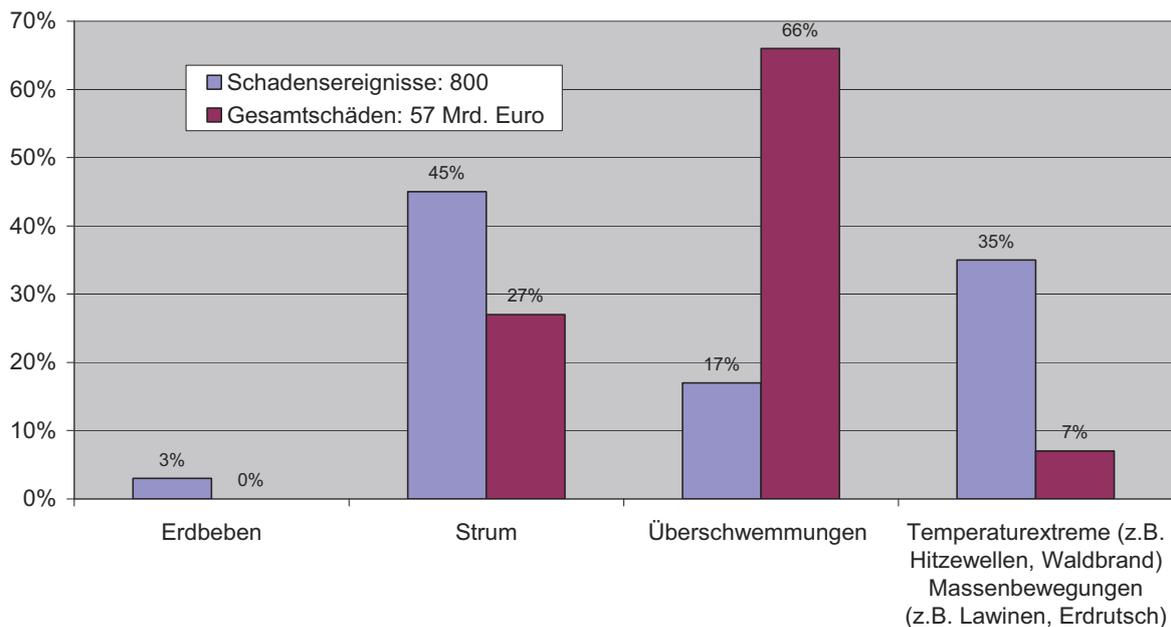


Abbildung 5.2: Naturkatastrophen im Alpenraum zwischen 1980 und 2005 (Berz, 2006; abgeändert)

5.3 Land- und Forstwirtschaft

Generell ist Produktivität der Land- und Forstwirtschaft, verglichen zum Flachland, aufgrund der Temperaturabnahme mit der Höhe reduziert. Ackerbau kann aufgrund der häufig geneigten Flächen kaum betrieben werden, daher wird im alpinen Raum vor allem die Alm- und Weidewirtschaft sowie die Forstwirtschaft betrieben. Diese Betriebsformen sind jedoch vom Klimawandel besonders stark betroffen. Die Bundesländer mit den meisten Almen sind Tirol, Kärnten, Steiermark und Salzburg.

Vor Sicht Klima!

In Österreich hat die Almwirtschaft eine lange Tradition. Der beobachtete Gletscherrückgang hat Einfluss auf die Wasserversorgung einzelner Almen. Speziell die Rinderzucht benötigt große Mengen an Wasser. Heiße, niederschlagsarme Sommer, wie im Jahr 2003, können Quellen auf Dauer versiegen lassen (Kirchengast, 2006). Die Tier- und Pflanzenwelt wird sich zwangsläufig an die geänderten klimatischen Bedingungen anpassen müssen und mit ihr auch die Almwirtschaft. Besonders die Grünlandwirtschaft stellt in vielen gebirgigen Regionen die einzige Möglichkeit dar den Boden landwirtschaftlich zu nutzen. Deshalb ist es auch nicht verwunderlich, dass in den westlichen Bundesländern der Dauergrünlandanteil bei rund 95 % liegt (BMLFUW, 2007). Die Bundesländer Vorarlberg, Tirol und Salzburg sind hier besonders zu erwähnen. Im Gegensatz zum Ackerbau sind im Grünlandbereich die Anpassungsmöglichkeiten sehr viel geringer, da nur schwer auf eine andere Produktionsform umgestiegen werden kann (Eitzinger, 2007).

Auch ein Ansteigen der Baumgrenze wird Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft im Alpenraum haben. Aus Untersuchungen ist bekannt, dass es einen Zusammenhang zwischen der Höhe der Waldgrenze und den vorherrschenden mittleren Temperatur besteht. Schaumberger et al. (2006) haben für Österreich diese „Baumgrenz-Temperatur“ bei 6,9 °C Isotherme (Mai bis Oktober Mitteltemperatur) festgesetzt. Weiters haben sie berechnet wie sich die 6,9 °C Isotherme bei einer mittleren Erwärmung von 2 °C in Österreich verändern würde. Nach deren Berechnungen wird sie von derzeit rund 1.970 Höhenmeter auf etwa 2.415 Höhenmeter anwachsen. Ein Anstieg um immerhin 450 Höhenmeter.

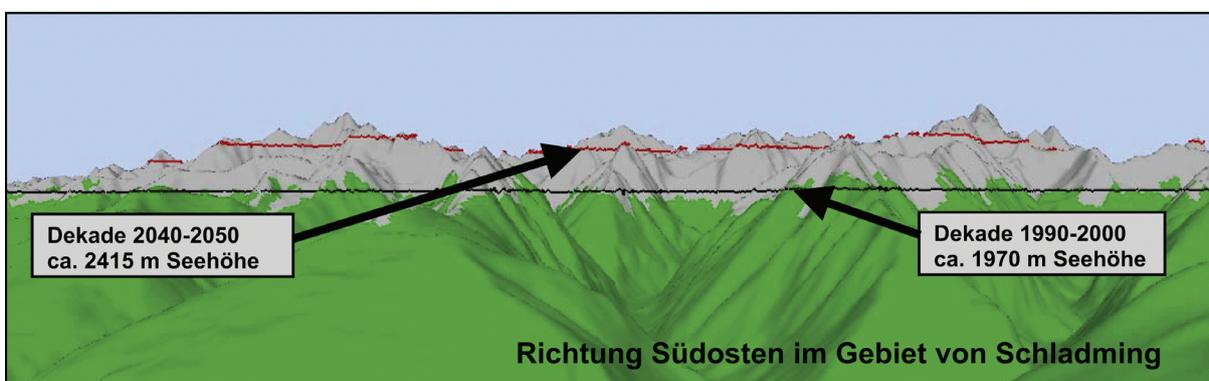


Abbildung 5.3: 6,9°C Mai -Oktober Isothermen der Dekade 1990 bis 2000 und der Dekade 2040 bis 2050 mit kartierten Waldflächen von Gallaun et al. (2006). (Schaumberger et al., 2006)

Das Anheben der Baumgrenze hat zur Folge, dass die Lebensräume von Tieren und Pflanzen, die sich an die Bedingungen oberhalb der Waldgrenze angepasst haben, kleiner oder sogar gänzlich verschwinden werden. Arten, die sich nicht schnell genug an die neue Situation anpassen können, werden aussterben.

Durch die Almenbewirtschaftung wird die Waldgrenze künstlich nieder gehalten. Eine Aufgabe der Betriebe würde einen noch schnelleren Anstieg der Waldgrenze bedeuten (Schaumberger et al., 2006). Außerdem bedeutet es den Verlust von Kulturlandschaften, die über Jahrhunderte entstanden sind. Werden die zusätzlichen Waldflächen nicht ausreichend bewirtschaftet und gepflegt, nimmt die Schutzfunktion des Waldes ab. Es darf aber nicht unerwähnt bleiben, dass eine Zunahme der Waldflächen die Umweltsituation in den Alpen verbessern kann, indem die Luftqualität angehoben und der Wasserhaushalt stabilisiert werden würde (Pfefferkorn, 2003).

5.4 Mögliche Anpassungsmaßnahmen

5.4.1 Energie

Speziell in den touristischen Gemeinden im Alpenraum gibt es ein hohes Maß an Energieeinsparungspotential. Die thermische Sanierung alter Hotelanlagen, der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung von Kleinkraftwerken befeuert mit nachwachsenden Rohstoffen, sowie eine Effizienzsteigerung in den Wellnessbereichen, der Schneeproduktion und der Seilbahnen könnten den Energieverbrauch nachhaltig reduzieren.

Die bereits bestehende Infrastruktur zur Energiegewinnung muss auf ihre Klimatauglichkeit hin begutachtet werden.

In einem laufenden wissenschaftlichen Projekt des Energieunternehmens „Verbund“ werden z.B. verschiedene Möglichkeiten zur Hangsicherung, um Anlagen vor Beschädigungen zu schützen, untersucht. So könnte es beispielsweise bei raschen Speicherpegelabsenkungen zu Hangrutschungen und zu Zerstörungen kommen. Eine weitere Studie, die ebenfalls vom Verbund finanziert wird, hat als Ziel die „Erstellung und Einführung eines technischen Systems in der zentralen Steuerung, mit deren Hilfe der energiewirtschaftliche Maschineneinsatz gesteuert sowie der Kraftwerkseinsatz bei Hochwasser geplant und geregelt werden kann.“ (Verbundgesellschaft, 2006).

Bei der Nutzung von Speicherseen im Alpenraum könnten in Zukunft Nutzungskonflikte auftreten, wie sie derzeit schon aus dem südalpinen Bereich bekannt sind. Hier besteht die Diskussion, ob die Speicherseen vorrangig für die Stromproduktion, für die Schneeprodukt zur Absicherung der Schigebiete im Winter, oder zur Stabilisierung der Abflüsse in den Flüssen, um Bewässerungswasser für die Landwirtschaft und Kühlwasser für die Kraftwerke im Sommer bereit zu stellen, genutzt werden sollen. Derartige Nutzungskonflikte könnten schon in einigen Dekaden auch im Österreichischen Alpenraum relevant werden.

5.4.2 Infrastruktur

Die Infrastruktur im Alpenraum muss sich an die Klimaänderung anpassen. Hierbei spielt eine konsequente Raumordnungspolitik eine sehr wichtige Rolle. Durch die hohe wirtschaftliche Leistung, speziell des Wintertourismus, entsteht ein hoher Druck, Bauwidmungen, sei es für Gebäude oder anderer Infrastruktureinrichtungen, in gefährdetem Gebiet zu erlauben. Derartige Fehler aus der Vergangenheit müssen vermieden werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anpassung der Baunormen an die geänderten Verhältnisse. Zusätzlich müssen bisher noch unbekannte Gefahren wie der Permafrost- und Gletscherrückgang mit berücksichtigt werden. Hierzu empfiehlt es sich eine Karte über die Ausdehnung des Permafrostes in Österreich anzufertigen, da Grundlagen über die Verbreitung derzeit noch fehlen (Krainer, 2007).

Als letzte Konsequenz müssen mitunter Gebäude, Strassen, Schipisten usw. aufgegeben werden, weil eine Instandhaltung entweder zu kostspielig oder deren weitere Betrieb zu risikoreich wäre.

5.4.3 Land- und Forstwirtschaft

Das Anpassungspotential der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe im alpinen Raum ist deutlich geringer einzuschätzen, als jene im Flachland. Oftmals verhindern Randbedingungen wie Bodeneigenschaften, Topographie oder Landnutzungsbeschränkungen den Umstieg von Grünland- auf Ackerwirtschaft. In der Grünlandwirtschaft gibt es jedoch kaum Anpassungsoptionen, da das Grünland ja aus mehrjährigen Pflanzen besteht und daher eine Umstellung der Pflanzensammensetzung ein langfristiger Prozess ist, bzw. mit hohen Investitionskosten verbunden ist.

In der Forstwirtschaft gelten dieselben Aussagen wie in Kapitel 4.4.3. Neben den Ertrag an Holz, erfüllt der Wald im Alpenraum auch oft eine Schutzfunktion. Die Schutz- und Bannwälder sind ein wesentlicher Schutz der alpinen Infrastruktur für Lawinen und Muren. Die Pflege und Instandhaltung dieser Wälder gewinnt unter einem sich änderndem Klima zusätzlich an Bedeutung.

6 Auswirkungen des Klimawandels auf die Großstadt Wien

In einer aktuellen Studie im Auftrage der Klimaschutzkoordinationsstelle Wien (Formayer et al., 2007) wurden folgende Hauptaussagen zur Klimaänderung in Wien zusammengestellt:

- Aussagen über die künftigen Temperaturentwicklungen sind am besten abgesichert; es können auch Aussagen über Extremwerte abgeleitet werden.
- Beim Niederschlag sind die Unsicherheiten deutlich größer. Die saisonale Verlagerung der Niederschläge und eine Zunahme der Niederschlagsintensität sind jedoch gut abgesichert.
- Aussagen bezüglich kleinräumiger, kurzfristiger, extremer Starkniederschläge sind derzeit noch nicht direkt aus regionalen Modellen ableitbar, Plausibilitätsüberlegungen machen jedoch einen Anstieg wahrscheinlich.
- Die Zunahme der Trockenperioden in Kombination mit dem Anstieg der Verdunstung wird zu einer starken Abnahme des Bodenwassergehaltes führen.
- Die Wiener Innenstadt ist aufgrund des städtischen Wärmeinseleffektes von der Hitzebelastung stärker betroffen als die Stadtrandgebiete.
- Eine Zunahme von Schlaf- und Gesundheitsproblemen aufgrund des Anstiegs der Nachttemperaturen wird stattfinden. Hierbei ist eine geringe nächtliche Auskühlung (Temperaturminimum über 18 °C) zwischen zwei Hitzetagen besonders belastend.

- **Der Klimawandel stellt eine Herausforderungen an das Wiener Gesundheitssystem dar.**
- **Höhere Temperaturen, weniger Niederschlag, geändertes Freizeitverhalten der Stadtbewohner, zunehmende Zahl der Stadttouristen und ein höherer Anteil an Neophyten verstärken den Druck auf die Naherholungsgebiete und Grünflächen innerhalb der Stadt.**
- **Durch vermehrtes Auftreten von Extremereignissen (Hitzewellen, Starkregen, usw.) kann es zu vermehrten Komforteinbußen und Betriebsstörungen des öffentlichen und privaten Verkehrs kommen.**
- **Eine „frühzeitige Anpassung von Baunormen ist besonders wichtig. Diese beruhen derzeit auf Mittelwerten vergangener Beobachtungsperioden, sollten jedoch dringend auf das künftige Klima ausgerichtet werden.“**
- **Ein besserer Überhitzungsschutz würde alleine für den Wiener Büroflächenbestand zusätzlichen Ausgaben von etwa 60 Millionen Euro bedeuten.**
- **Heizgradtage werden bis 2050 um mehr als 20 Prozent abnehmen, Kühlgradtage werden sich verdoppeln.**
- **Eine steigende Mischungsschichthöhe bedeutet eine bessere Verdünnung der Luftschadstoffe. Seit 1976 hat ein Anstieg der Mischungsschichthöhe stattgefunden. Bei einer Fortsetzung dieses Trends könnte aufgrund einer besseren Verdünnung in Zukunft die Wahrscheinlichkeiten einer erhöhten Feinstaubbelastung abnehmen.**

Wien ist aufgrund der großräumig dichten Bebauung und dem geringen Anteil an Grünflächen ein typisches Beispiel für die urbane Beeinflussung des Lokalklimas.

Vor Sicht Klima!

Dieser „Stadteffekt“ (siehe auch Kapitel 2) ist in Wien aufgrund der Ausdehnung der Stadt am stärksten ausgeprägt, jedoch sind ähnliche Phänomene in abgeschwächter Form in allen dicht verbauten Stadtzentren Österreichs anzutreffen. Die Abweichung ist in sommerwarmen, windschwachen Nächten am stärksten und kann mitunter einige Grade betragen.

Dieser Wärmeinseleffekt führt zu einer stärkeren Hitzebelastung im Stadtzentrum. In Abbildung 6.1 ist die Auswertung der Anzahl der Hitzetage (Temperaturmaximum größer als 30 °C) für Wien Hohe Warte und Wien Innere Stadt dargestellt. Im Mittel kommen in der Innenstadt um etwa einen Hitzetag oder 10 % mehr vor als an der Hohen Warte, welche typisch für die Villengegend am Stadtrand ist. An Jahren mit vielen Hitzetagen ist der Unterschied größer. So ist der Maximalwert in der Innenstadt um 5 Tage höher (33 versus 28).

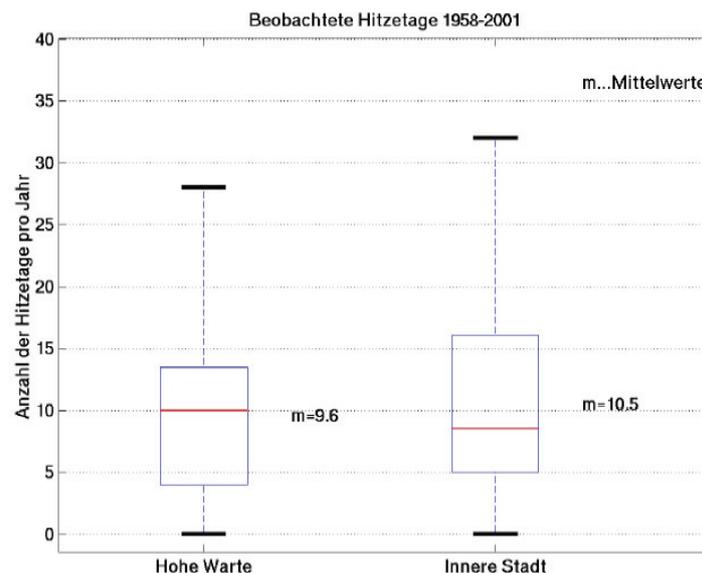


Abbildung 6.1: Häufigkeit von Hitzetage in Wien- Hohe Warte und Innere Stadt (Moshhammer et al., 2006)

Wie in ganz Österreich hat sich der Klimawandel in Wien bisher am deutlichsten bei der Temperatur bemerkbar gemacht. Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts hat sich

die Anzahl der Frosttage (Temperaturminimum kleiner als Null °C) von knapp 100 Tagen auf etwa 70 Tage reduziert (siehe Abbildung 6.2). Der Hauptteil der Abnahme erfolgte jedoch bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Eine zweite deutliche Abnahme gab es in den 1970er Jahren.

Bei der Hitzebelastung erfolgte die stärkste Änderung in den letzten Dekaden. Die Sommertage (Temperaturmaximum größer als 25 °C) hatten ein Minimum während des ersten Weltkrieges mit nur etwa 30 derartiger Tage. Derzeit treten mehr als 60 Sommertage pro Jahr auf. Bei den Hitzetagen (Temperaturmaximum größer als 30°C) war das Minimum ebenfalls während des ersten Weltkrieges, wo im Mittel nur 2 Hitzetage pro Jahr vorkamen. Derzeit liegen wir im Mittel schon bei über 15 Hitzetagen und im Sommer 2003 konnten 40 Hitzetage beobachtet werden.

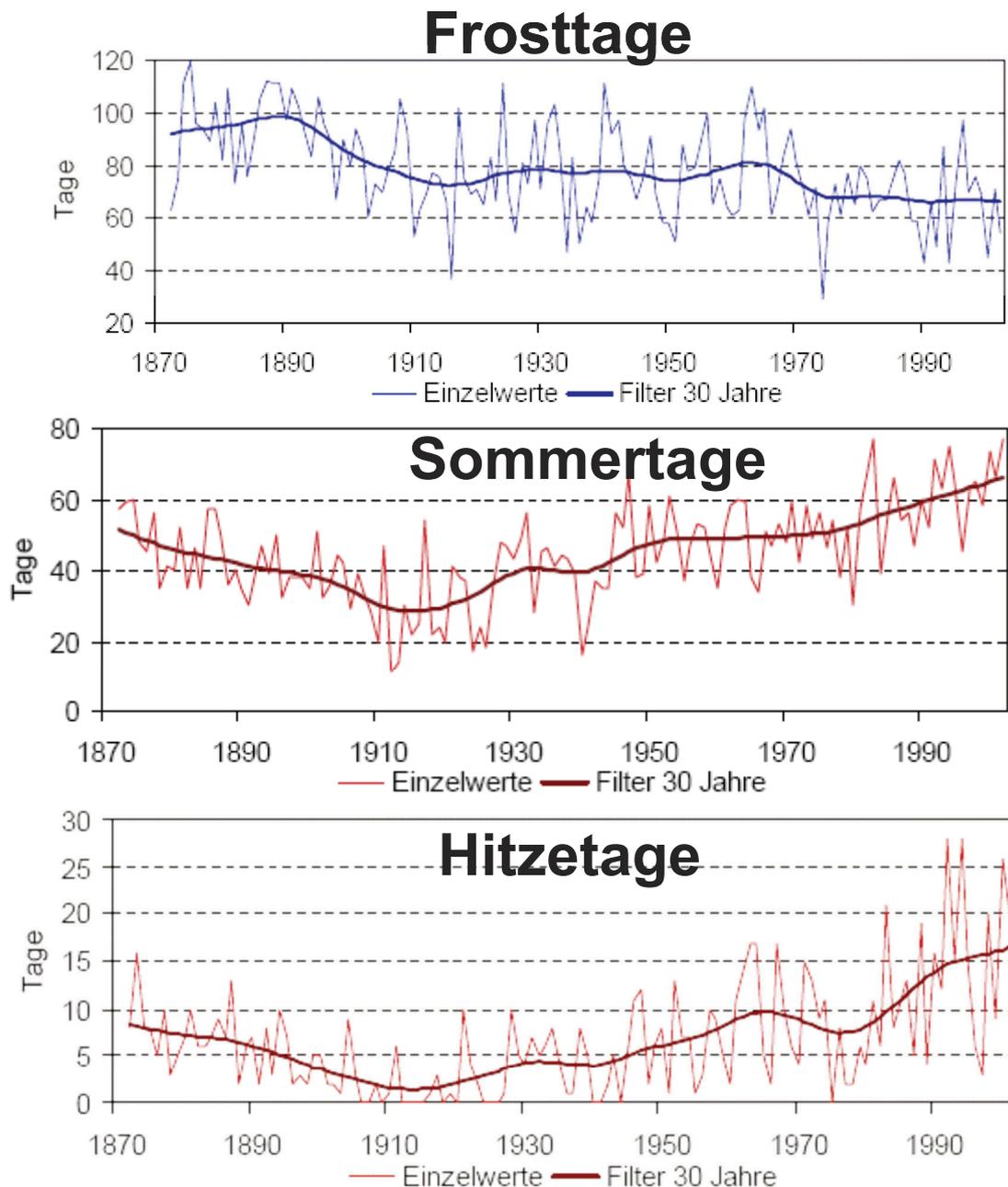


Abbildung 6.2: Zeitreihe der jährlichen Anzahl der Frosttage, Sommer- und Hitzetage in Wien-Hohe Warte (Auer et al., 2003a)

Dieser beobachtete Temperaturanstieg in den letzten Dekaden zeigt auch Auswirkungen auf die dem Erdboden nächst gelegene Luftschicht, die „planetare Grenzschicht“. Eine StartClim Studie (Krüger et al. 2007) beschäftigt sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die *Mischungsschichthöhe dieser planetaren*

kungen des Klimawandels auf die *Mischungsschichthöhe dieser planetaren Grenzschicht* am Beispiel Wiens. Die Mischungsschichthöhe stellt einen wichtigen Parameter für die vertikale Verteilung von in Bodennähe freigesetzten Luftschadstoffen dar. Sie bestimmt u.a. die vertikale Verteilung der Schadstoffe. Die Gestaltung von Siedlungsräumen, lokalen Gegebenheiten (Topographie, Windsysteme, vorhandene Heizflächen) und die Bodenbeschaffenheit beeinflussen ihre Höhe und zeitliche Entwicklung (Krüger et al., 2007).

Eine Mischungsschicht von geringer Höhe ist eine Vorbedingung für erhöhte Schadstoffkonzentrationen. In unseren Breiten erreicht die Mischungsschichthöhe im Sommer an Schönwettertagen gegen Mittag rund 1.000 Höhenmeter, im Winter liegt sie niedriger.

Für Wien konnte innerhalb der letzten 32 Jahre, seit 1976, ein Anstieg der Mischungsschichthöhe beobachtet werden. Liegt sie für die Periode 1975 bis 1984 noch durchschnittlich 800 Höhenmeter über Grund, steigt sie zwischen 1985 bis 1996 auf 900 Höhenmeter an (siehe Abbildung 6.3). Zurzeit liegt der Durchschnitt der Mischungsschichthöhe bei rund 1.000 Höhenmeter über Grund. „Man kann also davon ausgehen, dass der positive Trend der Mischungsschichthöhe mit dem positiven Trend der Temperaturen im Beobachtungszeitraum zusammenhängt.“ (Krüger et al., 2007)

Bei einer Fortsetzung dieses Trends könnte aufgrund einer besseren Verdünnung in Zukunft die Wahrscheinlichkeiten einer erhöhten Feinstaubbelastung abnehmen. Weiters konnte um eine zwei Wochen frühere Anhebung bzw. ein um zwei Wochen verzögertes Absinken der Mischungsschichthöhe im Frühjahr bzw. im Herbst beobachtet werden.

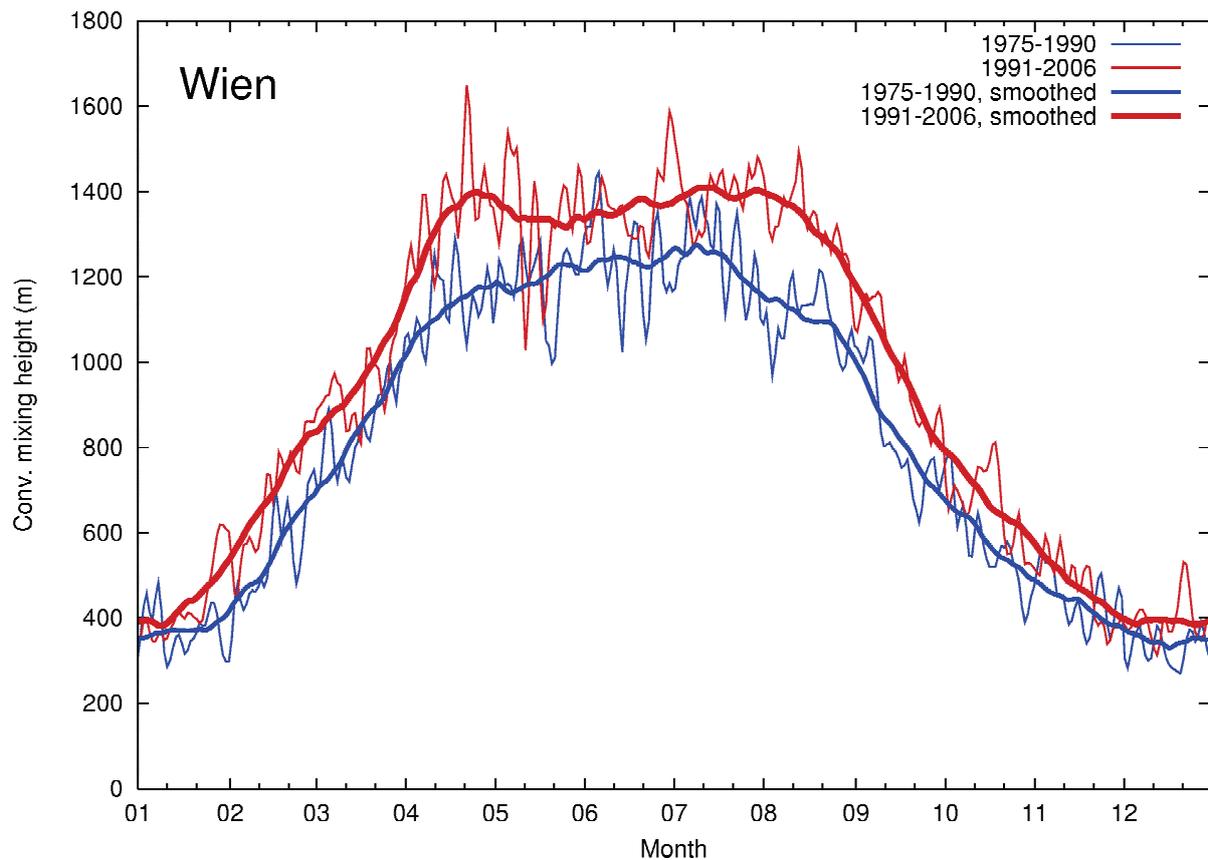


Abbildung 6.3: Mittlerer Jahresgang der Grenzschichthöhe in Wien für den Zeitraum 1975-1990 und 1991-2006 (Schicker et al., 2008).

Für Wien regionalisierte Szenarien basierend auf den Ergebnissen des regionalen Klimamodells REMO-UBA (Jacob, 2005) zeigen bis zum Ende des Jahrhunderts einen Temperaturanstieg je nach verwendetem Emissionsszenario zwischen 2 bis 4 °C (siehe Abb. 6.4). Die beiden Emissionsszenarien A1B und A2 zeigen beim Temperatursignal zumindest in diesem Jahrhundert keinen signifikanten Unterschied. Das B1 Szenario hingegen ist fast um 2 °C kühler.

Im Winter kann bis zur Mitte des Jahrhunderts mit einem deutlichen Anstieg der Niederschlagsmenge gerechnet werden. Der Frühling verzeichnet ebenfalls ein Niederschlagsplus, aber nicht mehr so ausgeprägt wie im Winter. Sommer und Herbst werden trockener, wobei je nach Szenario die größte Abnahme entweder im August oder im Herbst auftritt.

Szenarien der Anomalie der Jahresmitteltemperatur für Wien nach REMO-UBA und drei verschiedenen Emissionsszenarien

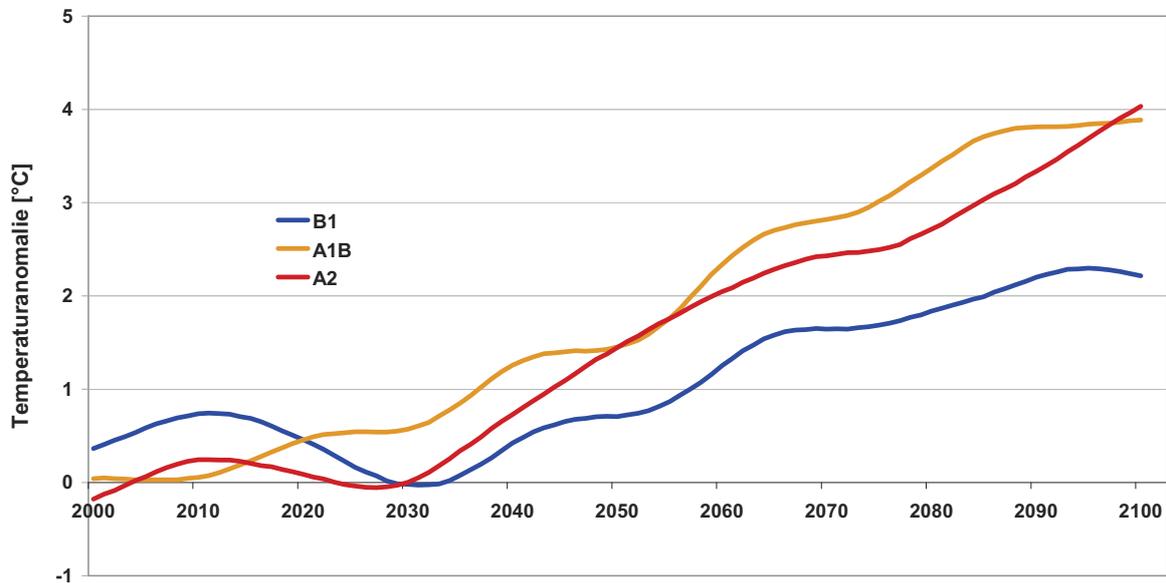


Abbildung 6.4: Anomalie der Jahresmitteltemperaturen in Wien für das 21. Jahrhundert nach REMO-UBA und drei Emissionsszenarien.

Eine Auswertung des fehlerkorrigierten REMO-UBA A1B Szenariolaufes für Wien hinsichtlich praxisrelevanter Temperaturindizes auf Tagesbasis sind in Abbildung 6.5 zusammengestellt. In den Abbildungen ist der Mittelwert (Median) durch Kreuze gekennzeichnet, 50 % aller Werte liegen in dem blauen Bereich und der graue Bereich kennzeichnet die Maxima und Minima. Ab der Mitte des 21. Jahrhunderts zeigt sich ein markanter Anstieg der Hitzeindikatoren. Tage mit mehr als 30 °C verdoppeln sich bis zur Jahrhundertmitte und verdreifachen sich bis gegen Ende des Jahrhunderts. In Extremjahren können bis zu 70 derartige Tage pro Jahr am Stadtrand auftreten, im Stadtzentrum sogar bis zu 80 Tage.

Sehr heiße Tage mit mehr als 35 °C sind derzeit noch sehr selten und kommen nur etwa alle 4 Jahre vor. Am Ende des Jahrhunderts muss man im Mittel mit etwa 4 derartigen Tage rechnen und alle 4 Jahre kommen sogar mehr als 13 derartigen Tage vor.

Die Erwärmung führt zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode von derzeit knapp über 240 Tagen auf 280 bis zur Jahrhundertmitte und zu rund 320 Tage am Ende des Jahrhunderts. Auch die Temperatursummen während der Vegetationsperiode steigen stark an. Diese Temperatursummen sind ein guter Indikator für die phänologische Entwicklung von Pflanzen und auch dem Zucker und Säuregehalt von Traubensaft (Weinqualität). Die Temperatursumme nach Harlfinger (Harlfinger et al., 1999) steigt von derzeit knapp 4.000 auf etwa 5.300 Gradtagen pro Jahr an.

Als Indikatoren für den Heiz- und Kühlbedarf verwendet man ebenfalls Temperatursummen. Bei den Heizgradtagen kommt es bis zur Mitte des Jahrhunderts zu einer Abnahme von 25 % und bis zum Ende des Jahrhunderts von mehr als 35 %. Die Kühlgradtage wiederum verdoppeln sich bis zur Jahrhundertmitte und gegen Ende des Jahrhunderts sind sie sogar schon fast dreimal so hoch wie heute.

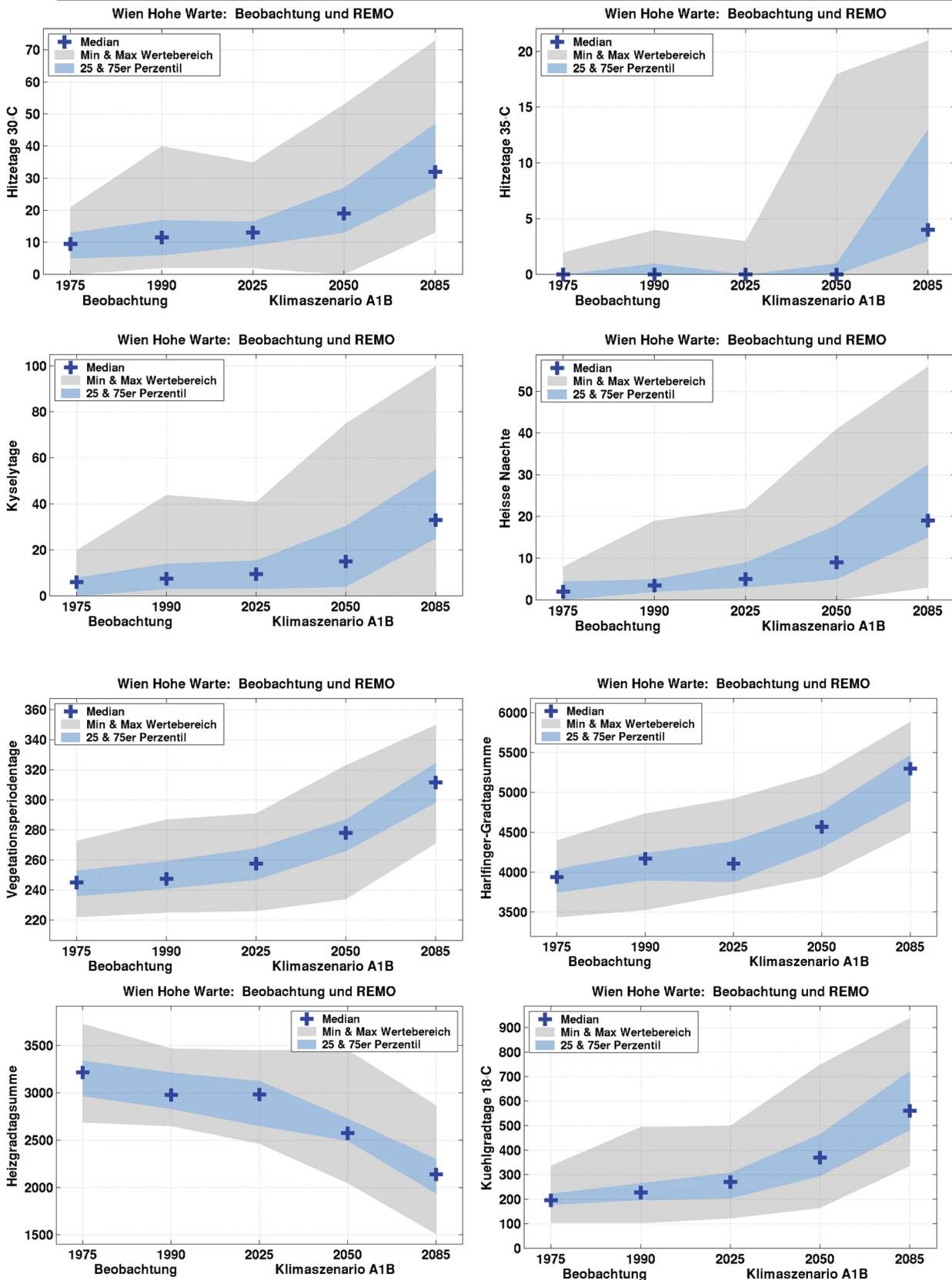


Abbildung 6.5: Verschiedene Temperaturindizes für Wien, abgeleitet vom REMO-UBA A1B Emissionsszenario.

6.1 Energie

Im urbanen Großraum Wien spielt die Energieproduktion eine untergeordnete Rolle und besteht in erster Linie aus der Nutzung der Wasserkraft der Donau und der Müllverbrennung. Dem Energieverbrauch hingegen kommt in diesem dicht besiedelten Gebiet ein besonderer Stellenwert zu.

Aufgrund des großen und teilweise recht alten Gebäudebestandes ist das Heizen und Kühlen der Gebäude ein wesentlicher Energieverbraucher. Die Klimaänderung nimmt auch Einfluss auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf. Nach Pretenthaler et al. (2007) werden die Heizgradtage in Wien bis 2050 um rund 20 % abnehmen, Kühlgradtage werden um rund 117 % zunehmen (basierend auf reclip;more Szenarien). Diese Änderungen liegen in der Größenordnung Nahe bei den Ergebnissen aus den REMO-UBA A1B Szenarien (siehe Abbildung 6.6). Diese Ergebnisse müssen aber als erste Grobabschätzungen interpretiert werden, da eine räumliche Differenzierung der thermischen Bedingungen innerhalb Wiens nicht berücksichtigt sind. Dies erkennt man deutlich in Abbildung 6.6, da der gesamte Großraum Wien faktisch in den selben Änderungsklassen liegt. Im Bereich der städtischen Wärmeinsel wird jedoch der Kühlbedarf besonders stark ansteigen, da aufgrund der reduzierten nächtlichen Abkühlung die thermische Belastung besonders hoch ist. Zudem sind einfache Maßnahmen wie nächtliches Lüften hier nicht mehr so effizient beziehungsweise teilweise gar nicht mehr möglich.

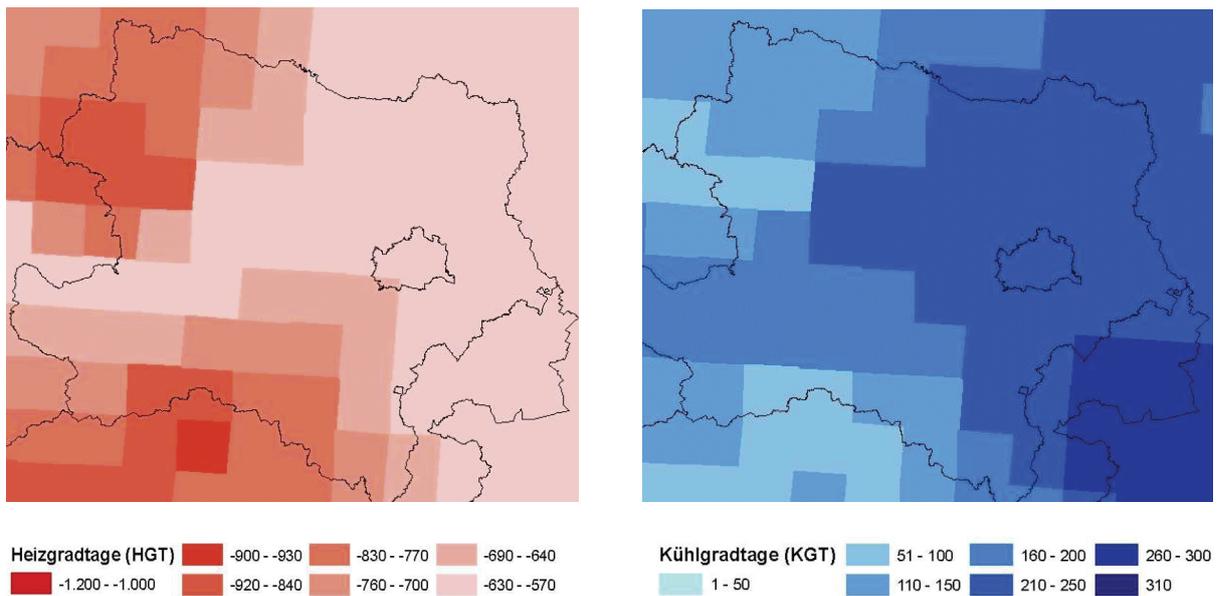


Abbildung 6.6: Abnahme der Heizgradtage (links) und Zunahme der Kühlgradtage (rechts) 1981-1990 vs. 2041-2050 für Wien, Niederösterreich und das nördliche Burgenland. (Pretenthaler et al., 2007)

Der Verkehr stellt neben der Industrie den wichtigsten Energieverbraucher Österreichs dar. Zudem zeigt der Verkehr die stärksten Zuwachsraten aller Wirtschaftssektoren in Österreich. Der Großraum Wien ist zwar mit einem sehr guten öffentlichen Verkehrsnetz ausgestattet, dennoch sollten bei stadtplanerischen Maßnahmen die jeweiligen Auswirkungen auf den Verkehr mit berücksichtigt werden.

6.2 Infrastruktur

Die in Kapitel 4.2 beschriebenen Aussagen für das östliche Flachland gelten ganz besonders im Großraum Wien. Speziell die Hitzebelastung wird der Infrastruktur zusetzen, da Wien zu den wärmsten Regionen Österreichs zählt.

Starkregenereignisse können auch Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastruktur haben, wie z.B. Verspätungen und Zugausfällen. Intensive Regenfälle und lokale Überflutungen unterspülen Bahntrassen und stellen die Stabilität derselbigen in Frage. Auch können die plötzlich auftretenden Wassermassen die urbane Abwasserentsorgung überlasten. Die Folgen sind Rückstau und

entsorgung überlasten. Die Folgen sind Rückstau und Überschwemmungen von Kellerräumen – geschehen in zahlreichen Ortschaften Österreichs während des Jahrhunderthochwassers im August 2002. Besonders Wien war davon betroffen. Wegen überlasteter Kanäle und Grundwasseraustritt konnte die Linie U4 für zwei Tage nur im Gleiswechselbetrieb geführt werden. Weiters mussten mehrere Bahn- und Buslinien entweder umgeleitet oder eingestellt werden. Außerdem wurde die Linie U1 aus Sicherheitsgründen für wenige Minuten gesperrt werden. Grund war ein treibendes Schubschiff auf der Donau. Auch der Individualverkehr hatte Einschränkungen in Kauf zu nehmen. So wurden z.B. Teile der A23 Richtung Stockerau gesperrt (Rathauskorrespondenz vom 16. August 2002).

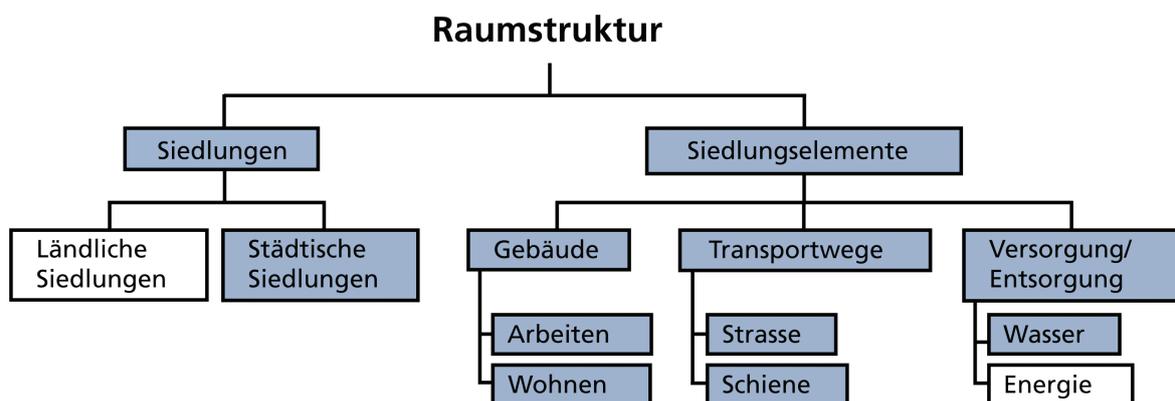


Abbildung 6.7: Überblick über die vom Klimawandel beeinflussten Raumstrukturen. (Aller et al., 2007)

Neben den direkten Einfluss durch Extremereignisse auf die Infrastruktur wird speziell die zunehmende thermische Belastung einen Umbau der bestehenden Gebäude und Raumstruktur notwendig machen (Thermische Gebäudesanierung, Durchlüftungsschneisen und Grünflächen im Stadtzentrum). Ebenso wird sich diese thermische Belastung auf die Naherholungsgebiete, wie z.B. der Wienerwald, auswirken. Aufgrund vermehrter Schönwetterperioden werden die Bewohner Wiens ihre Freizeit häufiger außer Haus verbringen und die Naherholungsgebiete stärker frequentieren. Höhere Temperaturen und geringere Niederschlagssummen in Verbindung mit dem geänderten Lebensstil können den Druck auf Grünraum und

bindung mit dem geänderten Lebensstil können den Druck auf Grünraum und Transport dorthin verstärken.

6.3 Land- und Forstwirtschaft

Auf die Wiener Landwirtschaft und Forstwirtschaft kann man die Aussagen von Kapitel 4.3 direkt übertragen. Für die Wiener Landwirtschaft, die einen hohen Anteil an hochwertigen Kulturen wie Gemüse in Folientunneln oder Glashäuser hat, kommt eine höhere Verletzlichkeit gegenüber Extremereignissen wie Hagel oder Sturm hinzu. Andererseits ziehen gerade die hochwertigen Kulturen den größten Gewinn aus der „CO₂-Düngung“, da diese optimal mit Nährstoffen und Wasser versorgt werden.

Die sekundären Fichtenwälder spielen im Wienerwald, im Gegensatz zu anderen Regionen im östlichen Flachland, keine Rolle. Hier ist eher ein Übergang von Buchen zu Eichen (speziell Flaumeichen) zu erwarten.

6.4 Mögliche Anpassungsmaßnahmen

6.4.1 Energie

Alle Maßnahmen, die den Energieverbrauch senken, können als Anpassungsmaßnahmen angesehen werden. Sie schmälern nicht nur den Ausstoß von klimaschädlichen Treibhausgasen, gleichzeitig mindern sie auch die Abhängigkeit von Energieimporten aus dem Ausland.

An erster Stelle steht hierbei natürlich die thermische Sanierung des umfangreichen Altbautenbestandes (siehe nächstes Kapitel), aber auch raumplanerische Maßnahmen zur Reduktion des Bedarfs an motorisierten Individualverkehr sind unbedingt notwendig, da in den letzten Jahren hauptsächlich der Verkehr für den steigenden Energiebedarf verantwortlich war.

Zu hinterfragen ist die in den letzten Jahren in Mode gekommene Errichtung von Glashochhäusern für Büroräume. Derartige Gebäude sind speziell für Hitzebelastungen ungeeignet, da die durch die Glasflächen eindringende Sonnenstrahlung nur energieaufwendig durch Klimaanlage entfernt werden kann. Außenabschattungen sind aufgrund der hohen Windgeschwindigkeiten in den oberen Stockwerken derart aufwendig, dass sie oft gar nicht vorgesehen werden.

Wegen der Niederschlagsverschiebung vom Sommerhalbjahr ins Winterhalbjahr, der früheren und geringeren Schneeschmelze und dem Fehlen des Gletscherabflusses, wird man bei der Stromproduktion aus Donauwasserkraft im Hochsommer mit geringeren Mengen rechnen müssen. Deshalb sollten alle Maßnahmen ergriffen werden, um den technische Kühlbedarf von Gebäuden möglichst gering zu halten. Es sollten auch Kühlsysteme mit unterschiedlichen Energieträgern eingesetzt werden, um einen überproportionalen Anstieg des Strombedarfs im Hochsommer zu verhindern und die Verletzlichkeit gegenüber großräumigen Stromausfällen zu reduzieren.

6.4.2 *Infrastruktur*

Jakob et al. (2006) berechnete die Überhitzungsschutzkosten anhand der Schweizer Gebäudeinfrastruktur. Danach würde ein verbesserter Überhitzungsschutz 10 Franken (ca. 6 Euro) pro Quadratmeter und Jahr verursachen (Aller et al., 2007 zit. Jakob et al. 2006). Legt man diese Berechnungen auf den Wiener Büroflächenbestand mit 9,8 Millionen Quadratmeter aus dem Jahre 2007 um, so sind mit Mehrkosten von rund 60 Millionen Euro im Jahr zu rechnen.

Nicht nur die bestehenden Gebäude müssen an die Klimaänderung angepasst werden, sondern auch geplante Bauten müssen auf ihre Klimatauglichkeit hin untersucht werden. Diesbezüglich benötigt es einer Anpassung der Baunormen. In einer Studie des beratenden Organs für Fragen der Klimaänderung der Schweiz (OcCC) wird eine „frühzeitige Anpassung von Baunormen“ als besonders wichtig empfunden. „Diese beruhen derzeit auf Mittelwerten vergangener Beobachtungsperioden, sollten jedoch dringend auf das künftige Klima ausgerichtet werden.“ (Aller et al., 2007). Diese Aussagen treffen nicht nur auf Gebäude zu,

et al., 2007). Diese Aussagen treffen nicht nur auf Gebäude zu, sondern gelten für alle Infrastruktureinrichtungen wie Straßen, Schienen, Wasser-, Kanal-, und Stromleitungen.

6.4.3 Land- und Forstwirtschaft

Neben den Aussagen aus Kapitel 4.3.3 muss bei der Wiener Landwirtschaft auch die Verletzlichkeit der landwirtschaftlichen Infrastruktur - wie Glashäuser - mitberücksichtigt werden. Beim Weinbau sollte bei der Anlage von neuen Weingärten bei der Sortenauswahl die Klimaszenarien mit berücksichtigt werden.

7 Betrachtung auf Bundesländerebene

Die Bundesländer mit dem höchsten alpinen Anteil sind Vorarlberg, Tirol und Salzburg. Kärnten und Teile der Steiermark sind ebenfalls alpin geprägt. Die Bundesländer Ober- und Niederösterreich, Wien, Burgenland sowie der südöstliche Teil der Steiermark bilden das österreichische Flachland. Die Bundesländer mit einem hohen alpinen Anteil sind vor allem vom Gletscherrückgang, vom Abschmelzen des Permafrostes und vom Ansteigen der Waldgrenze betroffen. Die höheren Temperaturen im Winter bewirken eine Anhebung der Schneesicherheitsgrenze und bedingen einen verstärkten Einsatz von technischer Beschneigung. Besonders kleinere Schigebiete in mittleren Höhen werden massiven Änderungen unterworfen sein. Die Bundesländer im Osten Österreichs werden hauptsächlich unter dem vermehrten Auftreten von Hitze- und Dürrperioden leiden. Die höheren Temperaturen im Sommer vergrößern den Kühlenergiebedarf deutlich und lassen diese Jahreszeit zur energieintensivsten des ganzen Jahres werden.

Dieses Schlusskapitel zeigt exemplarische Beispiele für die Auswirkungen des Klimawandels auf Bundesländerebene und stellt, falls vorhanden, bundesländerspezifische Studien vor. Die Angaben zur Temperaturänderungen beruhen auf den Ergebnissen des Projektes „Reclip:More“.

7.1 Vorarlberg

Die Klimaszenarien des Projektes „Reclip:More“ lassen für Vorarlberg bis zur Mitte des Jahrhunderts eine merkliche Erwärmung erwarten. Wobei die Temperaturerhöhungen Saisonal unterschiedlich ausfallen können. Besonders der Gebirgszug zwischen Vorarlberg und Tirol weist eine hohe saisonale Temperaturamplitude auf. Ist in den Frühlingsmonaten die Erwärmung mit rund 1,25 bis 1,5 °C noch unterdurchschnittlich, gehört diese Region während den Sommermonaten zu jenen Gebieten in Österreich mit der größten

in Österreich mit der größten Temperaturerhöhung. Sie kann die 3 °C-Grenze überschreiten.

Beim Niederschlag zeigen sich keine einheitlichen Muster, aufgrund des starken atlantischen Einflusses, sollten die Änderungen nicht sehr ausgeprägt sein.

Aufgrund der Nähe zur Schweiz lassen sich viele Studien für dieses Bundesland übernehmen. So z.B. legen Schweizer Beobachtungen eine Zunahme der Hagelhäufigkeit nahe.

7.2 Tirol

Die Gletscherschmelze ist ein eindrucksvoller Beleg für die Klimaerwärmung. Gletscher wie der Grünau-Ferner im Stubaital haben in den vergangenen Jahren deutlich an Masse verloren (Abbildung 6.2). Im vergangenen Jahr zog er sich um 16,5 Meter zurück. Der im Kaunertal gelegene Weißsee Ferner schrumpfte sogar um rund 100 Längenermeter. Durchschnittlich schmolzen die österreichischen Gletscher in der Beobachtungsperiode 2006/07 um 22,2 Längenermeter. (Patzelt, 2008)



Abbildung 7.1: Aufnahmen des Grünau-Ferner Gletschers im Stubaital aus dem Jahre 1944 (links) und 2007 (rechts). (http://www.alpenverein.at/portal/Service/Downloads/Presseausendungen_2008/Gletscherbericht.php)

Pauli et al. (2006) haben in dem internationalen Projekt GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) u.a. die Veränderungen von Gefäßpflanzen von 1994 bis 2004 für die Versuchregion Schrankogel im Stubaital untersucht. Das Untersuchungsgebiet lag in einer Höhe von 2.912 bis 3.155 Meter. Betrachtet man die Messergebnisse von 2004, so kommen um 1,35 oder 11,8 % mehr Arten vor als noch zu Beginn der Aufzeichnungen 1994. Insgesamt stieg die Anzahl der Arten, die auf 1 m² zu finden sind, von 11,4 auf 12,7 während der 10jährigen Beobachtungsperiode. In den zehn Jahren kamen lediglich zwei neue Arten hinzu. Auffallend waren auch der Verlust von subnivalen/nivalen Arten und ein vermehrtes Auftreten von alpinen Spezies. (Pauli et al., 2006)

Die Klimaszenarien des Projektes „Reclip:More“ lassen für Tirol bis zur Mitte des Jahrhunderts eine merkliche Erwärmung erwarten. Hierbei zählen die Wintermonate, als jene mit der geringsten Temperatursteigerung (1,5 bis 2,5 °C). Der Frühling wird rund 2,5 °C und der Sommer 3 °C wärmer sein als noch heute. Im Herbst findet eine einheitliche Erwärmung um rund 3 °C statt. Der Niederschlag verhält sich invers zur Temperatur. Im Winter kann mit einem zusätzlichen Niederschlag von bis zu 30 % gerechnet werden.

Aus Beobachtungen ist bekannt, dass der Alpenraum eine der Regionen in Europa ist, die sich überdurchschnittlich stark erwärmt. Durch die wärmeren Temperaturen wird sich die Baumgrenze nach oben verschieben und die Almenwirtschaft vor neue Herausforderungen stellen. Besonders Tirol, mit dem höchsten Almenanteil aller Bundesländer, muss hier neue Wege in der Almenbewirtschaftung beschreiten.

7.3 Salzburg

Salzburg kann in Zukunft mit einem wärmeren und trockeneren Klima rechnen. In den Winter- und Frühlingsmonaten kann stellenweise mit einem Niederschlagsplus gerechnet werden. Die Sommer- und Herbstmonate sind mit einer Niederschlagsabnahme gekennzeichnet. Die Temperaturerhöhung bewegt sich

abnahme gekennzeichnet. Die Temperaturerhöhung bewegt sich zwischen 2 °C für den Winter und bis zu 3 °C für den Herbst.

Die Klimaänderung greift nicht nur in ein sensibles Ökosystem ein, sondern nimmt auch Einfluss auf die Prosperität von ganzen Wirtschaftszweigen, Gemeinden aber auch einzelnen Personen. Besonders betroffen wird der Wintertourismus sein. Durch die steigenden Temperaturen kann die Schneesicherheit von Schigebieten im Winter nicht mehr gewährleistet werden. Am stärksten werden tief gelegene und kleinere Schigebiete leiden (OECD, 2007). Schiregionen, die sich bis jetzt nicht über Schneemangel beklagen können, denken über den vermehrten Einsatz von Beschneiungsanlagen nach, um auch in Zukunft den Schitouristen ein ungetrübtes Schivergnügen bieten zu können.

Eine Studie vom Institut der Meteorologie der Universität für Bodenkultur für die Salzburger Landesregierung belegt, dass ein signifikanter Rückgang der Schneedeckendauer erwartet werden kann. Zum Teil kann dieser Schwund mit einer technischen Beschneung kompensiert werden, jedoch begrenzen ökologische und ökonomische Aspekte sowie die Erwärmung an sich einen ungehinderten Ausbau von Beschneiungsanlagen. (Kromp-Kolb und Formayer, 2001)

Abbildung 7.2 veranschaulicht die Änderung der Tage mit einer Schneedecke größer als 5 cm bei einer mittleren europäischen Temperaturerhöhung um 1 °C für Salzburg im Frühjahr. Demnach würde Zell am See keine, Bad Ischl Rauris und Tamsweg fast keine Tage mit einer Schneedecke größer als 5 cm in den Frühjahrsmonaten aufweisen können. Auch der 1.592 Meter hohe Feuerkogel zeigt eine deutliche Abnahme.

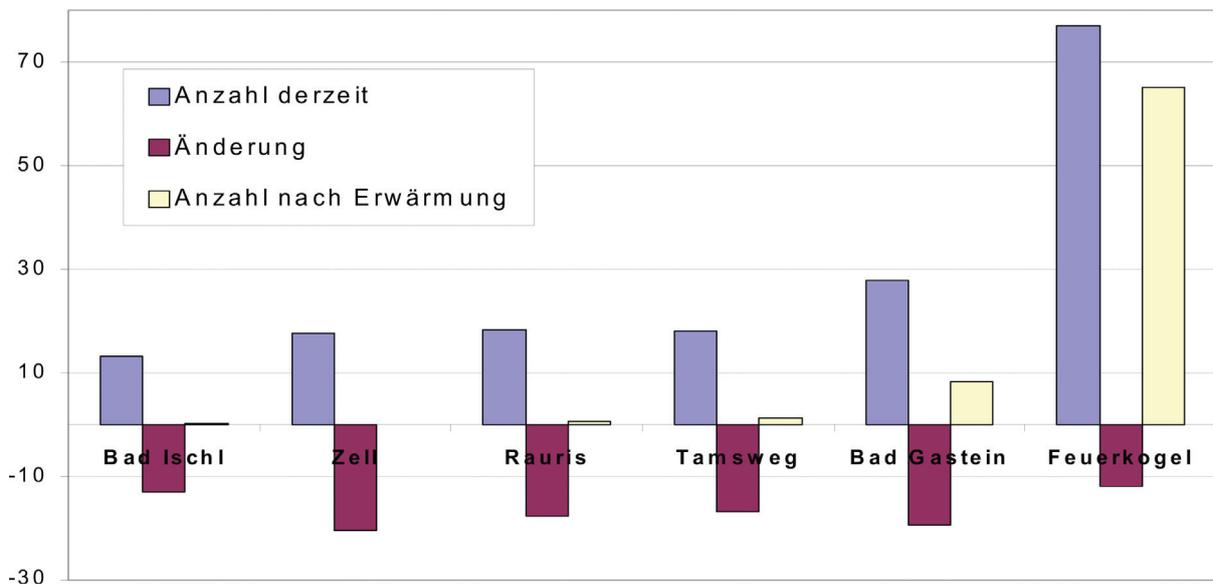


Abbildung 7.2: Die Änderung der Anzahl der Tage mit einer Schneedecke größer als 5 cm bei einer Erhöhung der europäischen Mitteltemperatur um 1 °C für Salzburger Stationen im Frühjahr (März -Mai) nach Hantel et al. 2000. (Kromp-Kolb und Formayer, 2001)

Nach ersten Schätzungen wird die Grenze der Schneesicherheit von derzeit gut 1.200 Höhenmetern auf 1.600 bis 2.000 Höhenmeter in den nächsten 30 bis 50 Jahren ansteigen (Elsasser et al., 2003). Für viele Schigebiete bedeutet diese Abnahme der natürlichen Schneesicherheit die Notwendigkeit, enorme Beträge in Beschneiungsanlagen zu investieren. Diese hohen finanziellen Belastungen erhöhen jedoch die Verletzlichkeit gegenüber Extremwinter wie etwa 2006/2007, wo aufgrund zu hoher Temperaturen keine künstliche Beschneigung möglich war.

7.4 Kärnten

Allgemein hat Kärnten in Zukunft mit einem wärmeren und trockeneren Klima zu rechnen. Nur die Wintermonate werden generell feuchter.

Die Temperaturzunahmen bewegen sich zwischen 1,5 bis 2,5 °C im Winter und bis zu 3 °C im Herbst. Frühling und Sommer liegen innerhalb dieser Bandbreite, wobei die Erwärmung in den Monaten März, April und Mai tendenziell wärmer ausfallen wird.

7.5 Steiermark

Eine Langzeitstudie (30 Jahre) an Insektenphänologien in der südlichen Steiermark ergab u.a., dass bei polyvoltine Arten die Anzahl der Generationen in einem Jahr zunehmen, dass das Verbreitungsgebiet partieller Generationen um bis zu 200 Höhenmeter nach oben wandern kann und dass fremdländische Arten weiter vordringen. „Im Süden der Steiermark treffen Randverbreitungen von Arten aufeinander, die ansonsten hauptsächlich im Alpenraum, im pannonischen Raum, im illyrischen Raum oder im Mediterraneum verbreitet sind. Die Region eignet sich daher für die Beobachtung lokal vordringender Arten angrenzender Regionen.“ (Kromp-Kolb et al., 2003).

Gut dokumentiert ist die Verbreitung der *Mantis religiosa* (Gottesanbeterin). Der Lebensraum, der aus Afrika stammende Fangschnecke, ist in Mitteleuropa auf Wärmeinseln beschränkt. In den 90ern waren in der Steiermark nur einige Standorte, wie etwa die südlichen Hangzüge nördlich von Graz, von der Gottesanbeterin besiedelt. In jüngster Vergangenheit wurden Sichtungen auch weiter nördlich gemeldet (Abbildung 7.3).

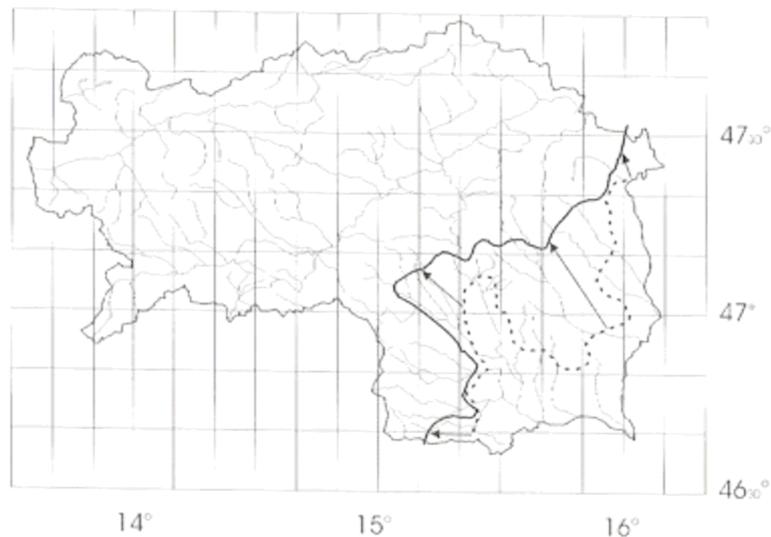


Abbildung 7.3: Vergleich des Verbreitungsareals der Gottesanbeterin in der Steiermark in den Jahren 2000 bis 2003 gegenüber den Jahren 1990 bis 1999. (Kromp-Kolb et al., 2003)

In einem interdisziplinären Pilotprojekt wurden die Auswirkungen einer Klimaerwärmung auf die Fischfauna der Mur untersucht. Den Klimaberechnungen wurde das IS 92a Szenario zugrunde gelegt. Verglichen wurden der Beobachtungszeitraum 1976 bis 1998 und der Prognosezeitraum 2001 bis 2049. Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts ist mit einer Temperatursteigerung der Jahreswassermitteltemperatur von einigen wenigen Zehntel Graden Celsius in den Oberläufen und bis zu knapp 2 °C in der Unterläufen zu rechnen. Bereits für die Beobachtungsperiode konnte eine deutliche Temperaturerhöhung festgestellt werden. Die Erwärmung des Gewässers bewirkt, dass eine Verschiebung der Artenzusammensetzung, in den tendenziell kühleren Oberlauf, stattfinden wird. Die Verlagerung kann 40 bis 50 km flussauf betragen. Als Folge nehmen kälteliebende Arten (v.a. Salmoniden) ab, wärmeliebende Arten (v.a. Cypriniden) hingegen werden zunehmen. (Schmutz et al., 2004)

Die Temperaturzunahmen bewegen sich zwischen 1,5 °C für das steirische Riedelland und 2 °C die Obersteiermark im Winter und bis zu 3 °C im Herbst. Frühling und Herbst liegen innerhalb dieser Bandbreite, wobei die Erwärmung in den Monaten März, April und Mai tendenziell wärmer ausfallen wird.

7.6 Oberösterreich

Oberösterreich hat in Zukunft mit einem trockeneren und wärmerem Klima zu rechnen, dieses belegt eine Studie des Institutes für Meteorologie der Universität für Bodenkultur im Auftrag des Landesrates für Umwelt, Energie, Wasser und Konsumentenschutz Oberösterreich. Danach ist mit einem deutlichen Anstieg an Hitzetagen (Tage über 30 °C) zu rechnen. Legt man den Klimamodellrechnungen das A1B-Szenario von REMO-UBA zu Grunde, werden um das Jahre 2020 rund dreimal so viele, um 2050 viermal so viele und um 2075 sogar sechsmal so viele Hitzetage geben als noch während der Klimanormalperiode von 1960-90 (Formayer et al., 2007). Der Jahrhundertssommer von 2003 wird nach diesem Szenario Ende des 21. Jahrhunderts ein normales Ereignis darstellen.

Die Temperaturzunahmen bewegen sich zwischen 1,25 und 2 °C im Winter und bis zu 3 °C im Herbst. Frühling und Sommer liegen innerhalb dieser Bandbreite, wobei die Erwärmung in den Monaten März, April und Mai tendenziell wärmer ausfallen wird.

Die Niederschlagsänderungen reichen von +20 % im Winter bis -30 % im Herbst. Die Frühlingsmonate werden tendenziell feuchter werden, die Sommermonate hingegen trockener.

7.7 Niederösterreich

Niederösterreich hat in Zukunft mit einem trockeneren und wärmerem Klima zu rechnen.

Niederösterreich weist im Winter gegenüber Oberösterreich eine geringere Erwärmung auf. Sie beträgt fast in ganz Niederösterreich rund 1,25 °C. In den Frühlingsmonaten hingegen übertrifft die Temperaturzunahme jene vom westlichen Nachbarn. Die Temperaturzunahme ist nahezu in ganz Niederösterreich einheitlich und bewegt sich bei rund 2,5 °C. Die Temperaturzunahme im Herbst ist die Höchste aller Jahreszeiten und weist keine nennenswerten Unterschiede zu Oberösterreich auf (bis zu +3 °C).

Die Niederschlagsänderungen reichen von +20 % im Winter bis -30 % im Herbst. Die Frühlingsmonate werden tendenziell feuchter werden, die Sommermonate hingegen trockener.

Besonders die großen Sekundärbestände der Fichte sind gegenüber klimatischen Änderungen äußerst anfällig. Die Klimafolgestudie des Institutes für Waldbau der Universität für Bodenkultur hat die Vulnerabilität (z.B.: Schadenspotential, Verwundbarkeit) des niederösterreichischen Waldes untersucht. Als Beispielregion wurde das „Waldviertel“ herangezogen. Der Analysezeitraum erstreckte sich bis Ende 2100.

Das Waldviertel ist durch einen hohen Fichtenanteil und den heute schon sehr geringen Jahresniederschlag geprägt. Unter dem Klimaänderungsszenario A1B ergeben sich für das Klima des Waldviertels für die Periode 2070-2100 folgende Änderungen: die Temperatur wird im Jahresmittel um rund 4 °C ansteigen. Im Sommer wird die Erwärmung ca. 0,5 °C höher ausfallen als im Winter. Die mittlere Gesamtniederschlagssumme wird sich nur geringfügig ändern (-5 %). Jedoch zeigt sich deutlich eine saisonale Verschiebung. Der Sommer wird trockener (-15 %) und der Winter feuchter (+15 %) werden. Der verringerte sommerliche Niederschlag führt bei der Beibehaltung des Standartwirtschaftskonzepts zu Zuwachsverlusten und zu einer hohen Anfälligkeit für Borkenkäferbefall. „Wird die Waldbewirtschaftung unter den Annahmen des Standartwirtschaftskonzeptes bis 2100 unverändert weitergeführt, betragen die durchschnittlichen Vorräte/ha nur mehr 33 % (Szenario A1B) und 53 % (Szenario B1) der Vorräte, die sich unter dem

und 53 % (Szenario B1) der Vorräte, die sich unter dem aktuellen Klima im Jahr 2100 ergeben würden.“ (Lexner et al., 2007)

7.8 Wien

Siehe Kapitel 6.

7.9 Burgenland

Das Burgenland ist das östlichste Bundesland des Staatgebietes. Die Berechnungen belegen auch hier einen steigenden Temperaturtrend zwischen 1,5 bis 2 °C im Winter und 2 bis 3 °C im Herbst. Frühling und Sommer weisen eine durchschnittliche Erwärmung von 2 bis 2,5 °C auf.

Im Winter kann bis zur Mitte des Jahrhunderts mit einem deutlichen Anstieg der Niederschlagsmenge von 35 % und mehr gerechnet werden. Im Frühling verzeichnet nur das nördliche Burgenland ein leichtes Niederschlagsplus. Die Niederschlagssumme im restlichen Teil des Bundeslandes erfährt keine nennenswerte Änderung. Sommer und Herbst werden trockener, wobei der Herbst mit bis zu -25 % Niederschlagsabnahme die größte Veränderung erfährt.

Vor allem für den zweitgrößten Steppensee Europas, dem Neusiedlersee, könnte der Klimawandel katastrophale Folgen haben. Sowohl das sensible Ökosystem als auch der Tourismus und die Landwirtschaft würden darunter leiden.

Eine Studie des Institutes der Meteorologie der Universität für Bodenkultur hält eine Austrocknung unter bestimmten Umständen für möglich. Dabei wurde von einer durchschnittlichen Temperaturerhöhung von 2,5 °C bis zum Jahr 2050 ausgegangen, was eine Steigerung der Verdunstung um 23,3 % bedeuten würde. Diese Erhöhung der Verdunstung alleine erhöht die Wahrscheinlichkeit für niedrige Wasserstände im Neusiedler See. Bereits eine zusätzliche Abnahme des Jahresniederschlags von 5 bis 10 % unter heutigen Klimaverhältnissen hat einen deutlichen Effekt auf das Auftreten von Niedrigwasserständen. Würde sich der Jahrhundertssommer von 2003 mehrmals aufeinanderfolgen wiederholen, könnte

sommer von 2003 mehrmals aufeinanderfolgen wiederholen, könnte der Neusiedlersee in 4 bis 6 Jahren ausgetrocknet sein. (Eitzinger et al., 2005)

Um einer Austrocknung entgegen zu wirken, wird eine künstliche Befüllung des Sees angedacht. Wegen des massiven Eingriffs in die Natur, sollten hierfür jedoch umfangreiche Voruntersuchungen durchgeführt werden, um den Nationalpark Neusiedler See nicht zu gefährden.

Die Temperaturzunahme und die ausgeprägte Niederschlagsarmut spiegeln sich auch in der Zunahme der Kühlgradtage wider. Besonders das nördliche Burgenland wird bis Ende 2050 mit einem deutlichen Anstieg der Kühlgradtage rechnen müssen (Abbildung 6.6).

8 Literaturverzeichnis

Zitierte Literatur

- Aller D., Frank T., Gasser B., Gujer W., Hartmann C., Jeanneret A., Jakob M., Leibundgut H., Meier A., Meier S., Parlow E., Ritz C., Schlacher H.-R., Stulz R., und Thalmann E. (2007). Bauten und Infrastruktur. Klimaänderung und die Schweiz 2050. OoCC und ProClim. Bern.
- Alley R., Berntsen T., Bindoff N. L., Chen Z., Chidthaisong A., Friedlingstein P., Gregory J., Hegerl G., Heimann M., Hewitson B., Hoskins B., Joos F., Jouzel J., Kattsov V., Lohmann U., Manning M., Matsuno T., Molina M., Nicholls N., Overpeck J., Qin D., Raga G., Ramaswamy V., Ren J., Rusticucci M., Solomon S., Somerville R., Stocker T. F., Stott P., Stouffer R. J., Whetton P., Wood R. A., und Wratt D. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva.
- Auer I. (2003). The instrumental period in the greater alpine region. Multi-centennial climate variability in the ALPs based on Instrumental data, Model simulations and Proxy data (Alp-IMP). ALP-IMP kick off meeting, May 5th to 6th 2003, Vienna with public session. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG).
- Auer I., Böhm R., Korus E., und Schöner W. (2003a). *Zeitliche Repräsentativitätsanalyse 50jähriger Klimadatenätze im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten*. Teilprojekt von StartClim 2003 "Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich". Wien
- Auer I., Böhm R., Jurkovic A., Lipa W., Orlik A., Potzmann R., Schöner W., Ungersböck M., Matulla C., Keith Briffa, Phil Jones, Dimitrios Efthymiadis, Brunetti M., Nanni T., Maugeri M., Mercalli L., Mestre O., Moisselin J.-M., Begert M., Müller-Westermeier G., Kveton V., Bochnicek O., Stastny P., Lapin M., Szalai S., Szentimrey T., Cegnar T., Dolinar M., Gajic-Capka M., Zaninovic K., Majstorovic Z., und Nieplova E. (2007). HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *Int. J. Climatol.*,27:17-46.
- Auer I., Korus E., Böhm R., und Schöner W. (2005). Analyse von Hitze und Dürreperioden in Österreich; Ausweitung des täglichen StartClim Datensatzes um das Element Dampfdruck. Teilprojekt von StartClim2004

„Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich“. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Beniston M. (2007). Climatic change and its impacts. An overview focusing on Switzerland. Kluwer Academic Publisher. Bosten/USA u.a.

Berz G. (2005). Klimawandel: Kleine Erwärmung - dramatische Folgen. In Wetterkatastrophen und Klimawandel - sind wir noch zu Retten? [Hrsg.] Münchner Rückversicherung, S. 98-105. pg-Verlag München.

Berz G. (2006). Naturkatastrophen und Klimawandel im Alpenraum. CIPRA Jahresfachtagung, Bad Hindelang (Deutschland), 18. bis 20. Mai.

BFW (2006). Klimawandel - Auswirkungen auf die Forstwirtschaft. 10 /2006. http://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi10.pdf

Blöchliger H., und Neidhöfer F. (1998). Auswirkungen von extremen Niederschlagsereignissen. Beratendes Organ für Klimaforschungsfragen (OcCC). Bern.

BMLFUW (2007). Grüner Bericht 2007. Wien.

Böhm R. [Hrsg.] (2006). Multi-centennial climate variability in the Alps based on Instrumental data, Model simulations and Proxy data (Alp-IMP). Final Report. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG).

Bony S., Colman R., Fichet T., Fyfe J., Kattsov V., Pitman A., Shuka J., Srinivasan J., Stouffer R. J., Sumi A., und E. T. K. (2007). Climate Models and Their Evaluation. In Climate Change 2007: The Physical Science Basis, [Hrsg.] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller, S. 589-662. Cambridge u.a.

Bürgi A., und Brang P. (2001). Das Klima ändert sich - Wie kann sich der Waldbau anpassen? Waldbau Holz, 3/82:43-46.

Döll P., Fuhr D., Herfort J., Jaeger A., Printz A., und Voerkelius S. (2000). Wasserverfügbarkeit sowie ökologische, klimatische und sozioökonomische Wechselwirkungen im semiariden Nordosten Brasiliens.

Eitzinger J. (2007). Einfluss des Klimawandels auf die Produktionsrisiken in der österreichischen Landwirtschaft und mögliche Anpassungsstrategien. Ländlicher Raum (Online Fachzeitschrift des BMFLUW), 10/2007:1-8.

Eitzinger J., Kubu G., Formayer H., Haas P., und Gerersdorfer T. (2005). Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedler Sees. Endbericht. Im Auftrag des Amtes der Burgenländischen Landesregierung Landeswasserbaubezirksamt Schützen am Gebirge.

- Elsasser H., Hansruedi M., Messerli P., und Scherly F. (2003). Wintertrourismus: Können die Folgen der Klimaerwärmung mit Investitionen kompensiert werden? Climate-Press, Jänner 2003/15.
<http://www.proclim.ch/Products/ClimatePress/ClimatePress15D.pdf>
- Fink M. (1993). Geographische Gliederung und Landschaften Österreichs. In Die Pflanzengesellschaft Österreichs. Teil 1: Anthropogene Vegetation., [Hrsg.] L. Muncina, G. Grabherr und T. Ellmayer, S. 29-42. Jena.
- Formayer H., Eitzinger S., Nefzger H., Simic S., und Kromp-Kolb H. (2001). Auswirkungen einer Klimaveränderung in Österreich: Was aus bisherigen Untersuchungen ableitbar ist. Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur. Wien.
- Formayer H., und Frischauf C. (2004). Extremereignisse und Klimawandel in Österreich aus der Sicht der Forschung. Im Auftrag des WWF Österreich. Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur.
- Formayer H., Haas P., Hofstätter M., und Kromp-Kolb H. (2007). Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen. Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich. Im Auftrag von Umweltlandesrat Rudi Anschober. Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur.
- Formayer H., Haas P., Hofstätter M., Radanovics S., Mursch-Radlgruber E., und Kromp-Kolb H. (2008). Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Temperaturszenarien für Wien und ausgewählte Analysen bezüglich Adaptionsstrategien. Im Auftrag der Klimaschutzkoordinationsstelle Wien. Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur (nicht veröffentlicht).
- Formayer H., Haas P., Matulla C., Frank A., und Seibert P. (2005). Untersuchung regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich. Teilprojekt von StartClim2004 „Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich“. Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur. Wien.
- Formayer H., und Kromp-Kolb H. (2006). Hochwasser & Klimawandel. Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Österreich. Im Auftrag des WWF Österreich. Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur.
- Formayer H., Clementschitsch L., Kromp-Kolb H. (2007). Auswirkungen des Klimawandels auf Wien unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien. Studie im Auftrage Klimaschutzkoordinationsstelle Wien

- Hansen J. E. (2005). A slippery slope: How much global warming constitutes “dangerous anthropogenic interference”? *Climatic Change*, 3/ 68: 269-79.
- Harlfinger O., und Knees G. (1999). Klimahandbuch der österreichischen Bodenschätzung. Band 1. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Innsbruck.
- Hegerl G. C., Zwiers F. W., Braconnot P., Gillett N. P., Luo Y., Marengo Orsini J. A., Nicholls N., Penner J. E., und Stott P. A. (2007). Understanding and Attributing Climate Change. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Hrsg.] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, Tignor M. und H.L. Miller. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2002). Klimaänderung 2001: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. ProClim - Forum für Klima und Global Change. Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften. Bern.
- IPCC (2007). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Hrsg.] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- JACOB, 2005: REMO A1B SCENARIO RUN, UBA PROJECT , 0.088 DEGREE RESOLUTION, RUN NO. 006211, 1H DATA. CERA-DB "REMO_UBA_A1B_1_R006211_1H", http://cerawww.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO_UBA_A1B_1_R006211_1H
- Kirchengast C. (2006). Programm zur Sicherung und Entwicklung der alpinen Kulturlandschaft. Kulturwissenschaftliche Perspektiven (ALP Austria). Im Auftrag des BMLFUW.
- KlimAdapt (2007). Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel. Projektantrag für das Forschungs- und Technologieprogramm: Energie der Zukunft. Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit und vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Version 1.0 - Juli 2007.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2007). Anpassung an den Klimawandel in Europa - Optionen für Maßnahmen der EU. Grünbuch der Kommission an den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. KOM (2007) 354.

Krainer K. (2007). Permafrost und Naturgefahren in Österreich. Ländlicher Raum (Online Fachzeitschrift des BMFLUW),2007:1-18.

Krehan H., und Steyrer G. (2006). Klimaänderung - Schadorganismen bedrohen unsere Wälder. BFW - Praxisinformation, 10/2006:15-17.

Kromp-Kolb H., und Formayer H. (2001). Klimaänderungen und mögliche Auswirkungen auf den Wintertourismus in Salzburg. Im Auftrag des Amtes der Salzburger Landesregierung. Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur.

Kromp-Kolb H., und Formayer H. (2005). Schwarzbuch Klimawandel: Wie viel Zeit bleibt uns noch? Salzburg.

Kromp-Kolb H., Gerersdorfer T., Aspöck H., Baier P., Schopf A., Gepp J., Graf W., Moog O., Kromp B., Kyek M., Pintar M., Formayer H., Parz-Gollner R., Rabitsch W., Scheifinger H., Schmutz S., Jungwirth M., Vogl W., und Winkler H. (2003). Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Tierwelt - derzeitiger Wissensstand, fokussiert auf den Alpenraum und Österreich. Endbericht. Im Auftrag des BMLFUW.

Krüger B. C., Schicker I., Formayer H., und Moshhammer H. (2007). Feinstaub und Klimawandel - Gibt es Zusammenhänge in Nordost-Österreich? Teilprojekt von StartClim 2006 "Klimawandel und Gesundheit, Tourismus, Energie". Wien.

Lenton T. M., Held H, Kriegler E., Hall J. W., Lucht W., Rahmstorf S. and Schellnhuber H. J. (2008). Inaugural Article: Tipping elements in the Earth's climate system PNAS; 105: 1786 - 1793.

Lexer M. J., und Seidl R. (2007). Der österreichische Wald im Klimawandel - Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung. Ländlicher Raum (Online Fachzeitschrift des BMFLUW), 7/2007:1-14.

Lexer M. J., Seidl R., und Rammer W. (2007). Niederösterreichs Wald im Klimawandel. Klimafolgenstudie für die Region Waldviertel. Institut für Waldbau der Universität für Bodenkultur.

Loibl W., Beck A., Dorninger M., Formayer H., Gobiet A., und Schöner W. (2007). Research for Climate Protection: Model Run Evaluation - Final Report. ARC systems research GmbH.

Matulla C., Penlap E. K., und von Storch H. (2002). Empirisches Downscaling - Überblick und zwei Beispiele. In Klimastatusbericht 2002, [Hrsg.] Deutscher Wetterdienst, S. 20-31. Offenbach.

- Moshhammer H., Hutter H.-P., Frank A., Gerersdorfer T., Hlava A., Sprinzl G., und Leitner B. (2006). *Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien*. Teilprojekt von StartClim 2005 "Klimawandel und Gesundheit!" Wien
- Münchener Rückversicherung (2007). Zwischen Hoch und Tief: Wetterrisiken in Mitteleuropa.
- Nakicenovic N., und Swart R. [Hrsg.] (2000). Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Niedermair M., Lexer M. J., Plattner G., Formayer H., und Seidl R. (2007). Klimawandel & Artenvielfalt - Wie klimafit sind Österreichs Wälder, Flüsse und Alpenlandschaften? Österreichische Bundesforste AG.
- OECD (2007). Klimawandel in den Alpen. Anpassung des Wintertourismus und des Naturgefahrenmanagements. Deutsche Kurzfassung., [Hrsg.] Shardul Agrawala.
- Patzelt G. (2008). Gletscherbericht 2006/2007. Bergauf, 2/2008:26-32.
- Pauli H., Gottfried M., Reiter K., Christian K., und Grabherr G. (2006). Signals of ragne expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology*, 13/2007:147-56.
- Pfefferkorn W. (2003). Wildnis und Ballungsräume. Die Alpen im Jahr 2020. *Der Alm- und Bergbauer*, 6-7/2003:16-18.
- Prettenthaler F., Gobiet A., Habsburg-Lothringen C., Steinacker R., Töglhofer C., und Türk A. (2007). Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich. Teilprojekt von StartClim 2006 "Klimawandel und Gesundheit, Tourismus, Energie". Wien.
- Proidl H. (2006). Daten über erneuerbare Energieträger in Österreich. Im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Fortswirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency.
- Rathauskorrespondenz vom 16. August 2002. "Wien durch hervorragenden Hochwasserschutz sicher". <http://www.wien.gv.at/vtx/vtx-rk-xlink?SEITE=020020816014>,
- Reclip:More (2007). Klimazukunft Österreich. Kleinräumige Klimaszenarien 1981-1990 und 2041-2050. Signale des Klimawandels. Medieninformation zum Projektabschluss.
- Reinhart J. (2005). Gute Daten - das A und O für Underwriter. In *Wetterkatastrophen und Klimawandel. Sind wir noch zu retten?* [Hrsg.] Münchener Rückversicherung, S. 245-49. pg Verlag. München.

Robert B., Höfler K., und Kocina E. (28. Jänner 2008). "Gewaltige Schäden durch Sturm 'Paula'". Die Presse, S. 18

Schaumberger J., Schardt M., Guggenberger T., Gallaun H., Schaumberger A., Deutz A., Greßmann G., und Gasteiner J. (2006). GIS-gestützte Ermittlung der Veränderung des Lebensraumes alpiner Wildtierarten (Birkhuhn, Schneehuhn, Gamswild, Steinwild) bei Anstieg der Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung. Teilprojekt von StartClim2005 „Klimawandel und Gesundheit! Joanneum Research; HBLFA Raumberg-Gumpenstein; Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum - Greßmann & Deutz OEG.

Schicker, I.; Formayer, H.; Seibert, P., 2008: Does climate change affect the mixing height? Abstract EGU2008-A-02038

Schiesser H.-H. (2007). Hagel. In Klimaänderung und die Schweiz 2050, [Hrsg.] OcCC und ProClim, S. 65-68. Bern.

Schmutz S., Matulla C., Melcher A., Gerersdorfer T., Haas P., und Formayer H. (2004). Beurteilung der Auswirkungen möglicher Klimaänderungen auf die Fischfauna anhand ausgewählter Fließgewässer. Endbericht, im Auftrag des BMLFUW.

Seiler W. (2006). Morgen entscheidet sich heute. CIPRA Jahresfachtagung, Bad Hindelang (Deutschland), 18. bis 20. Mai.

Soja A.-M., und Soja G. (2003). Dokumentation von Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf die landwirtschaftliche Produktion. Teilprojekt von StartClim2003 "Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich". ARC Seibersdorf research.

Tiefenbacher M., Larndorfer G., und Weigand E. (1998). Naturschutz in Österreich. Band 91. Umweltbundesamt. Wien.

Truhetz H., Gobiet A., und Kirchengast G. (2007). Hochaufgelöste Windklimatologien im Alpenraum und im Wiener Becken unter Berücksichtigung des Klimawandels. Proc. Deutsche,-Österreichische-Schweizerische-Meteorologen-Tagung DACH 2007, Hamburg, Germany.

Verbundgesellschaft (2006). Umwelt- und Forschungsdaten 2005. Forschung im Verbund. Schriftenreihe Band 97.

Internetadressen

Klimainitiative österreichischer WissenschaftlerInnen
www.austroclim.at

Vor Sicht Klima!

Zentralanstalt für Meteorologie und Geophysik

www.zamg.ac.at

Zentrum für Naturgefahrenmanagement

www.alp-s.at

Webseite des Projektes GLOWA-DANUBE

www.glowa-danube.de

Research for climate protection model run evaluation (Reclip:More)

<http://systemsresearch.arcs.ac.at/SE/projects/reclip/>

Intergovernmental Panel on Climate Change

www.ipcc.ch

Schweizer Klimaforschungskoordinationszentrums ProClim

www.proclim.ch

Internationale Plattform der Almwirtschaft

www.almwirtschaft.com

Offizielle Webseite der Stadt Wien

www.wien.gv.at

Wissenschaftsplattform des ORF

<http://science.orf.at/>

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und
Landschaft (BFW)

<http://bfw.ac.at/>

Österreichischer Alpenverein

www.alpenverein.at

Global Observation Research Initiative in Alpine Environments (GLORIA)

www.gloria.ac.at

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).
- 13 Moshhammer, H., Gerersdorfer, T., Hutter, H.-P., Formayer, H., Kromp-Kolb, H., Schwarzl, I. (2009): **Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in Oberösterreich** (Endbericht Band 3 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“, Juli 2007).
- 14 Formayer, H., Kromp-Kolb, H., Schwarzl, I. (2009): **Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich** (Endbericht Band 2 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“, Mai 2007).
- 15 Simic, S., Schmalwieser, A.W., Moshhammer, H. (2009): **Gesundheitsrisiken für die österreichische Bevölkerung durch die Abnahme des stratosphärischen Ozons** (Endbericht StartClim2007.B, Juni 2008).

- 16 Formayer, H., Clementschitsch, L., Hofstätter, M., Kromp-Kolb, H. (2009): **Vor Sicht Klima! Klimawandel in Österreich, regional betrachtet** (Endbericht Global 2000, Mai 2008).

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