

Projektbericht
Research Report

Die wirtschaftlichen Kosten des Klimawandels in Österreich

Severin Grussmann, Julia Janke, Andreas Schibany



INSTITUT FÜR HÖHERE STUDIEN
INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES
Vienna

Projektbericht
Research Report

Die wirtschaftlichen Kosten des Klimawandels in Österreich

Severin Grussmann, Julia Janke, Andreas Schibany

Endbericht

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Finanzen

April 2014

Institut für Höhere Studien (IHS), Wien
Institute for Advanced Studies, Vienna

Kontakt:

Severin Grussmann

☎: +43/1/599 91-128

email: severin.grussmann@ihs.ac.at

Julia Janke

☎: +43/1/599 91-128

email: julia.janke@ihs.ac.at

Inhalt

Executive Summary	1
1. Einleitung	4
2. Annahmen und die Problematik der Unsicherheit	7
3. IPCC-Szenarien	11
4. Klimawandel in Österreich	14
5. Sektorale Auswirkungen : Wasser- und Energiewirtschaft	18
6. Sektorale Auswirkungen: Landwirtschaft	35
7. Sektorale Auswirkungen: Tourismus	42
8. Sektorale Auswirkungen: Gesundheitssektor	49
9. Sektorale Auswirkungen: Verkehr & Verkehrsinfrastruktur	53
10. Sektorale Auswirkungen: Forstwirtschaft	57
11. Extreme Wetterereignisse	60
12. Zusammenfassung und Synthese	62
13. Befragte Experten	69
14. Literaturverzeichnis	70
15. Annex	77

Tabellen

Tabelle 1: Einordnung der Sektoren.....	6
Tabelle 2: Jährliche und kumulierte Schäden in der Landwirtschaft.....	38
Tabelle 3: Anteil der schneesicheren alpinen Skiregionen in Österreich und die Folgen einer Erderwärmung.....	44
Tabelle 4: Natürliche Schneesicherheit: im Jahr 2006 und in Folge des Klimawandels in den Alpenregionen	45
Tabelle 5: Sturmschäden in Mio. Euro	61
Tabelle 6: Kumulierte Kosten ohne und mit Diskontierungsrate von 1% durch Verluste der Stromproduktion aus Wasserkraft.....	77
Tabelle 7: Kostenersparnis durch sinkenden Heizbedarf.....	77
Tabelle 8: Kosten durch zusätzlichen Kühlungsbedarf	78

Abbildungen

Abbildung 1: Überblick über den methodischen Ansatz zur Beantwortung der Fragestellung	5
Abbildung 2: Weltweite ökonomische Schäden	10
Abbildung 3: Veränderung der globalen Erdoberflächentemperatur relativ zur Referenzperiode 1980-1999	13
Abbildung 4: Veränderungen der Monatsniederschläge in Österreich nach dem A1B – MODERAT – Szenario	16
Abbildung 5: Veränderung der Niederschläge bis 2100 A1B – MODERAT – Szenario	16
Abbildung 6: Klimaerwärmung in Österreich bis 2100 A1B – MODERAT – Szenario	17
Abbildung 7: Prozentuelle Veränderung des Wasserkraftpotenzials im Sommer für die Periode 2021-2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1976-2006	19
Abbildung 8: Prozentuelle Veränderung des Wasserkraftpotenzials im Winter für die Periode 2021-2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1976-2006	20
Abbildung 9: Stromproduktion aus Wasserkraft 2002-2090 für ganz Österreich für alle drei Klimaszenarien	20
Abbildung 10: Bewertung der Veränderung der Stromerzeugung aus Wasserkraft	22
Abbildung 11: Jährliche Zugewinne und Kosten durch die Effekte des Klimawandels auf die Stromproduktion durch Wasserkraft	24
Abbildung 12: Jährliche Zugewinne und Kosten durch die Effekte des Klimawandels auf die Stromproduktion durch Wasserkraft	25
Abbildung 13: Kumulierte Kosten 2010-2100 ohne und mit Diskontierungsrate von 1%	26
Abbildung 14: Reduzierung des Heizbedarfs im Vergleich zum Referenzszenario	27
Abbildung 15: Zusammensetzung der verwendeten Energieträger zu Heizzwecken 2011/2012	28
Abbildung 16: Jährliche Kostenersparnis durch verringerten Heizbedarf	29
Abbildung 17: Szenarien des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich in den Haupt-Szenarien A1B, A2, B1	30
Abbildung 18: Jährliche zusätzliche Kosten durch erhöhten Kühlungsbedarf in 2010 Mio. Euro	31
Abbildung 19: Kumulierter Nettoeffekt durch Veränderungen des Heiz- und Kühlungsbedarfs	33
Abbildung 20: Kumulierte Kosten(ersparnis) durch Veränderungen des Heiz- und Kühlungsbedarfs	33
Abbildung 21: Jährlicher Produktionswert in 2010 Mio. Euro zu verschiedenen Szenarien	38
Abbildung 22: Kumulierte Kosten mit und ohne Diskontierungsrate von 1%	39
Abbildung 23: Schadensmeldungen und Schaden in Mio. Euro der Hagelversicherung	40
Abbildung 24: Schadensmeldungen im Zeitverlauf und linearer Trend	41

Abbildung 25: Rückgang der Gesamtausgaben durch den Klimawandel nach Bundesländern, Minimum- und Maximumszenario, in Mio. €.....	46
Abbildung 26: Totaler jährlicher Wertschöpfungsrückgang durch den Klimawandel nach Bundesländern, Minimum- und Maximumszenario, in Mio. €.....	47
Abbildung 27: Durch den Klimawandel verursachte Verluste im alpinen Wintertourismus ...	47
Abbildung 28: Prognostizierte jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen (Szenarien A1B und B1).....	49
Abbildung 29: Zuordnung meteorologische Phänomene zu Schadensmeldungen.....	55
Abbildung 30: Relative Veränderung wichtiger Waldtypen unter einem Klimaänderungsszenario (+2°C, -15% Sommerniederschlag).....	59
Abbildung 31: Kumulierte Kosten der Auswirkungen des Klimawandels in Österreich quantifiziert für bestimmte Sektoren	64
Abbildung 32: Zusammenhang zwischen Vulnerabilität und ökonomischen Kosten für einzelne Bereiche für 2050	65
Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Vulnerabilität und ökonomischen Kosten für einzelne Bereiche für 2100	67

Executive Summary

Der Klimawandel verursacht bereits jetzt weltweit Kosten in Milliardenhöhe und diese werden, laut einhelliger Meinung der Wissenschaft, in den nächsten Jahrzehnten weiter zunehmen. Das Ausmaß der Kosten hängt einerseits von der Art und Güte der Anpassungsmaßnahmen, andererseits von den in der Zukunft emittierten weltweiten Treibhausgasen ab. Jede Region ist aufgrund ihrer geografischen Lage, wirtschaftlichen Struktur und Entwicklungsniveau unterschiedlich von den Klimawandelauswirkungen betroffen, sodass eine separate Analyse für Regionen und Länder sowohl aus meteorologischen, als auch aus volkswirtschaftlichen Gründen sinnvoll erscheint.

In dieser Studie werden die folgenden Sektoren betrachtet: Wasser- und Energiewirtschaft, Landwirtschaft, Tourismus-, Gesundheits-, Verkehrssektor, Forstwirtschaft und partiell extreme Wetterereignisse. Diese Sektoren haben mit signifikanten Auswirkungen des Klimawandels zu rechnen. Bei einigen Sektoren war es möglich die verursachten Kosten auf Basis von Simulationen und Szenarioberechnungen zu quantifizieren, zu anderen konnte aus verschiedenen Gründen nur eine qualitative Analyse durchgeführt werden. Es wurden dabei ausschließlich die direkten Kosten, die durch den Klimawandel für die Sektoren anfallen und keine Kosten durch Anpassungs- und Mitigationsmaßnahmen betrachtet.

Der **Landwirtschaftssektor**, welcher im Jahr 2012 7,2 Mrd. € erwirtschaftete, ist durch seine hohe Wetterabhängigkeit stark von Klimaveränderungen betroffen. Durch den Klimawandel kommt es zu Verschiebungen in der Anbaustruktur. Bis zur Mitte des Jahrhunderts werden voraussichtlich die positiven Effekte überwiegen, denn durch den Temperaturanstieg verlängert sich die Vegetationszeit und beschleunigt sich das Pflanzenwachstum. Ab Mitte des Jahrhunderts dominieren die negativen Effekte und der landwirtschaftliche Output wird sinken. Zu den negativen Effekten zählen eine Erhöhung der Frostschäden, eine stärkere Ausbreitung von Schädlingen, Unkräutern und Krankheiten, eine beschleunigte Zersetzung und Mineralisierung organischer Substanzen, eine Zunahme von Ozonschäden und ein vermehrtes Auftreten von Hitze- und Trockenstress. Durch Anpassungsmaßnahmen können die potenziellen Kosten reduziert werden, nichtsdestotrotz nehmen klimawandelbedingte Ertragsschwankungen und Ernteauffälle zu. Nach vorliegenden Berechnungen werden je nach Szenario die jährlich anfallenden Schäden im Jahr 2100 zwischen **81 Mio. – 1,86 Mrd. Euro** betragen. Wie Zahlen aus der Versicherungsbranche belegen, verursachen Extremereignisse signifikante Kosten in der Landwirtschaft. In manchen Jahren übersteigen diese die **100 Millionen Euro Grenze**. Im Jahr 2013 erreichte diese Summe mit **240 Mio. Euro** einen langjährigen Höchstwert. Aufgrund der zunehmenden Ertragsschwankungen und Produktionsrisiken gewinnt die Versicherungsbranche an Bedeutung.

Die **Forstwirtschaft** ist von steigenden Temperaturen und veränderten Niederschlagsverhältnissen betroffen, so hat eine Temperaturzunahme von 2°C und 15% weniger Sommerniederschlag Auswirkungen auf ca. **78%** des österreichischen Waldes. Die natürliche und die forstwirtschaftliche Anpassungsfähigkeit treten durch die Trägheit des Systems und der Geschwindigkeit der Klimaänderung stark verzögert auf. Aufgrund langer Produktionszyklen und der Tatsache, dass Schadereignisse den Output desselben Jahres erhöhen, scheint es nicht sinnvoll, den Produktionswert als Indikator zur Messung von Klimawandelschäden heranzuziehen. Allgemein wird das Ökosystem Wald volatiler und die Unsicherheiten nehmen zu. Die Schäden durch biotische Schädlinge wie Borkenkäfer werden zunehmen. Der Wald dient aber nicht nur als Produktionsort für Biomasse, sondern erfüllt auch zahlreiche weitere Funktionen, welche oft schwer monetär zu bewerten sind. So wird etwa 20% der österreichischen Waldfläche als Schutzwald gehalten. Wald stellt hier die kostengünstigste und umweltfreundlichste Option dar; künstliche Verbauungen sind wesentlich teurer. Betrachtet man den Teil des Waldes, welcher der Holzproduktion dient, gehen je nach Bewaldungsszenario die Erträge in Zukunft leicht zurück oder steigen an.

Der **Tourismussektor** spielt eine bedeutende Rolle in der österreichischen Volkswirtschaft und ist unterschiedlich vom Klimawandel betroffen. Während der Sommertourismus profitieren wird, ist die Klimaerwärmung für den alpinen Wintertourismus ein negativer Faktor. Es wird - speziell in Tirol und Salzburg - zu starken Umsatzeinbußen im Zuge der Abnahme des Skitourismus kommen. Der Klimawandel bedingt im Jahr 2050 eine **Reduktion der Gesamtausgaben im alpinen Wintertourismus** in der Höhe von **505,5 Mio. Euro**. Diese Kosten steigen bis zum Jahr 2100 auf **1,1 Mrd. Euro pro Jahr** an. Skigebiete in niedriger Lage werden besonders betroffen sein. Schneesichere Skigebiete können hingegen von der Entwicklung profitieren. Der sonstige Tourismus wird sich auf teilweise neue Landschaftsbilder (Gletscherschmelze, Versteppung) und den geänderten Präferenzen der Touristen einstellen müssen.

Wasser- und Energiewirtschaft: Durch den Klimawandel wird sich das Wasserkraftpotenzial und somit die **Stromerzeugung aus Wasserkraft** ändern. Dadurch können **kumulierte Kosten** zum Ende des Jahrhunderts zwischen **7,10** bis zu **11,54 Mrd. Euro** entstehen. Der Heizbedarf wird sinken und der Kühlungsbedarf, zusätzlich durch eine Zunahme von Kühlungsanlagen forciert, ansteigen. Der **kumulierte Effekt des Heiz- und Kühlungsbedarfs** variiert zwischen **1,04** und **4,89 Mrd. Euro** gegen Ende des Jahrhunderts.

Der Sektor **Verkehr & Verkehrsinfrastruktur** ist kostenmäßig relativ stark vom Klimawandel betroffen. Da Straßen- und Schieneninfrastruktur ständigem Verschleiß ausgesetzt sind, ist es sehr schwierig dem Klimawandel gewisse Kosten zuzurechnen. Die Verkehrsinfrastruktur weist aufgrund ihres Netzwerkcharakters ein hohes Schadpotential auf. Stark- und Dauerregenereignisse weisen hier das größte Schadpotential auf. Solche Extremereignisse, insbesondere Hochwasser, sind mit hohen Kosten verbunden. Den ÖBB fielen etwa durch

das Hochwasser im Sommer 2013 verursachte etwa Kosten in der Höhe von **69. Mio. Euro** für die Bahn. Durch in Zukunft häufiger auftretende Ereignisse (Schneeniederschlag bei warmen Temperaturen oder lokale Sturmböen) werden einzelne Kostenblöcke ansteigen, andere jedoch bedingt durch die wärmeren Temperaturen zurückgehen.

Die ökonomischen Kosten im **Gesundheitssektor** werden durch die Zunahme von Hitzeperioden, die Ausbreitung von allergenen Pflanzen und Tieren und durch veränderte Ausbreitungs- und Übertragungsbedingungen von Vektoren und Krankheitserregern forciert.

Extremwetterereignisse können zu großen ökonomischen und gesellschaftlichen Schäden führen. Allerdings weisen nicht alle Extremwetterereignisse einen ansteigenden Trend auf. Während lokale Sturmböen und Hitzewellen zunehmen und Starkniederschläge an Intensität gewinnen, weisen große Sturmtiefs und großflächige Dauerregenereignisse keinen signifikanten Trend auf. Es ist zudem mit wesentlichen Rückwirkungen der Klimawandeleffekte im Ausland auf die österreichische Volkswirtschaft zu rechnen. Unterbrochene Lieferketten, Versorgung mit Energieträgern und Einschnitte in der Exportnachfrage sind mögliche Wirkungskanäle.

Da nicht alle Effekte des Klimawandels monetär quantifizierbar sind, stellen die **kumulierten Kosten** der Auswirkungen des Klimawandels bis zum Ende des Jahrhunderts eine untere Grenze der möglichen ökonomischen Kosten dar. Eine Saldierung der klimawandelbedingten Kosteneinsparungen und Kostensteigerungen zeigt, dass die österreichische Volkswirtschaft mit **steigenden Kostenbelastungen** aufgrund des Klimawandels zu rechnen hat. Auf verschiedenen Ebenen der Analysen, die für diese Studie genutzt wurden, und bezüglich der durchgeführten Berechnungen bestehen Unsicherheiten über die zukünftigen Entwicklungen, sodass gewisse Annahmen getroffen werden müssen. Die mögliche Bandbreite der Ergebnisse wird durch die Berechnung verschiedener Szenarien abgebildet, ist allerdings stark beschränkt durch die Szenarien, die in den zur Verfügung stehenden naturwissenschaftlichen Studien zum Klimawandel in Österreich verwendet wurden.

1. Einleitung

Die Emission von Treibhausgasen stellt nach Nicholas Stern „the biggest market failure the world has seen“ dar (Stern 2008). Der Klimawandel wird neben einem natürlichen Trend vor allem durch die in der Atmosphäre akkumulierten Treibhausgase vorangetrieben, die überwiegend beim Einsatz von Öl, Kohle und Gas in Produktion und Konsum aber auch vom Agrarsektor emittiert werden. Die aktuelle Konzentration von Kohlendioxid liegt bei ca. 400 parts per million (ppm) und stieg insbesondere seit Beginn der industriellen Revolution stark an. Eine Eindämmung der negativen Effekte des Klimawandels verlangt nach Ansicht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) eine Stabilisierung der Kohlendioxidkonzentration auf 450 ppm im Jahr 2100, weil nur so eine Temperaturzunahme von über zwei Grad Celsius vermieden werden kann (Kemfert 2007a).

In Österreich läuft der Klimawandel relativ rasch ab. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts nahm die Durchschnittstemperatur um ca. 2°C zu, während weltweit eine Zunahme von etwa 0,76°C zu verzeichnen ist. Die Hälfte dieser Temperaturzunahme in Österreich fällt dabei in den relativ kurzen Zeitraum seit Mitte der 1970er Jahre (BMLFUW 2012a). Der Klimawandel wird sich in Österreich im Laufe des Jahrhunderts sektoral und regional differenziert auswirken.

Fragestellung

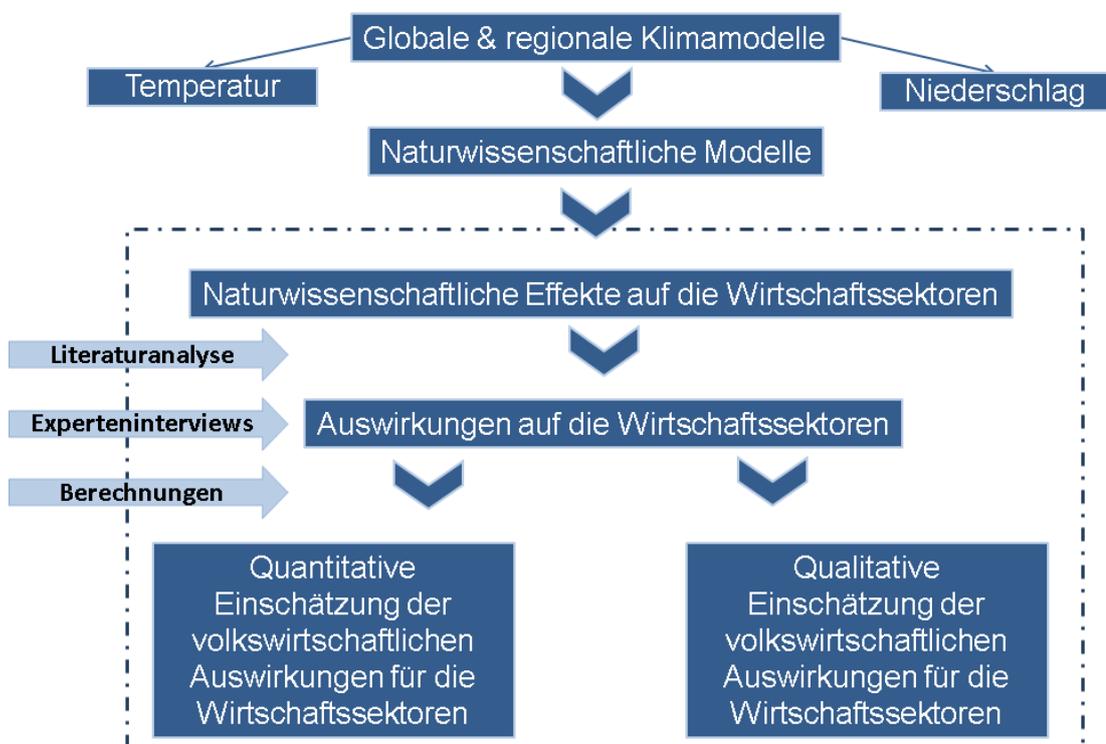
In dieser Studie soll der Frage nachgegangen werden, welche ökonomischen Folgekosten der Klimawandel in den einzelnen Sektoren der österreichischen Wirtschaft verursacht. Es werden dabei nur jene Kosten erfasst, die durch direkte Effekte des Klimawandels induziert werden. Somit werden Kosten von Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen nicht berücksichtigt. Falls angebracht, werden positive Effekte, die durch die Auswirkungen des Klimawandels entstehen, berücksichtigt. Es wird jedoch keine umfassende Kosten-Nutzen-Analyse angestrebt (für weitere Erklärungen siehe Kapitel 2). Da der Klimawandel ein nicht genau zu prognostizierendes Phänomen ist und die erwarteten Effekte von zukünftigen globalen Emissionsszenarien abhängen, kann man für sektorale Entwicklungen lediglich Tendenzen identifizieren. Diese Unsicherheiten berücksichtigend sollen mögliche Kostenentwicklungen, die sich aufgrund der verschiedenen Szenarien bis 2100 ergeben, dargestellt werden. Die präsentierten Szenarien basieren auf den zur Verfügung stehenden Daten und decken nicht das ganze Spektrum möglicher Entwicklungen ab.

Methodik

Um Auswirkungen des Klimawandels zu eruieren, werden in globalen und regionalen Klimamodellen verschiedene Emissionsszenarien angenommen. Ergebnisse dieser Klimamodelle sind Angaben zu möglichen Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen bis

zum Ende dieses Jahrhunderts. Die Resultate dieser Klimamodelle werden dann in naturwissenschaftlichen Modellen als Inputs verwendet um beispielsweise das Wasserkraftpotenzial in Österreich abzuschätzen. Die Erkenntnisse aus diesen Modellen werden als Grundlage dieses Studienvorhabens herangezogen um die ökonomische Bedeutung des Klimawandels mit seinen direkten Auswirkungen auf die Sektoren analysieren und interpretieren zu können. In Abbildung 1 ist der methodische Ansatz des Studienvorhabens dargestellt.

Abbildung 1: Überblick über den methodischen Ansatz zur Beantwortung der Fragestellung



Anm.: Die strichlierte Linie stellt den Rahmen der Studie dar.

In einem ersten Schritt werden die vorhandene Literatur ausgewertet und wichtige Erkenntnisse synthetisiert. Um einen besseren Einblick in die komplexen Zusammenhänge zu erhalten, die in den jeweiligen Sektoren zu den klimawandelbedingten Kosten führen, wurden im Rahmen der Studie Interviews mit ExpertInnen aus der universitären und außer-universitären Forschung sowie mit VertreterInnen aus relevanten Unternehmen durchgeführt. Bei diesen Interviews stand die Validierung und Robustheit der Ergebnisse aus der Literaturanalyse sowie von speziellen Parametern, welche bei den Berechnungen berücksichtigt werden sollten, im Vordergrund. Die Interviewpartner können im Wesentlichen fünf Sektoren zugeordnet werden: Energieerzeugung, Land- und Forstwirtschaft, Gesundheit, Versicherungen und Infrastruktur. Insgesamt wurden acht Interviews geführt.

Aufgrund unterschiedlicher Datenlagen sowie sektoraler Spezifika können nicht für alle Sektoren quantitative Kostenschätzungen vorgenommen werden. Tabelle 1 zeigt die Einteilung der in der Studie betrachteten Sektoren hinsichtlich der angewandten Methode der Kostenanalyse, wobei jene Wirtschaftssektoren ausgewählt wurden, in denen wahrscheinlich die größten für die Wirtschaft relevanten Klimawandeleffekte auftreten werden.

Tabelle 1: Einordnung der Sektoren

Sektoren mit quantifizierbaren Kosten	Sektoren mit qualitativer Einschätzung
Landwirtschaft	Verkehr & Verkehrsinfrastruktur
Energie- und Wasserwirtschaft	Forstwirtschaft
Tourismus	Gesundheitssektor

In der Landwirtschaft, der Energie- und Wasserwirtschaft und dem Tourismussektor können aufgrund der Datenlage und Zurechenbarkeit monetäre Werte aufgestellt werden. Im Verkehrssektor ist beispielsweise eine direkte Zuordnung der Kosten durch den Klimawandel nicht möglich. Es gibt derzeit noch keine wissenschaftlichen Belege, dass Hochwasser durch den Klimawandel häufiger auftreten, sodass Kosten, die durch Hochwasser entstehen, in dieser Studie nicht vollständig erfasst, sondern nur exemplarisch angeführt werden.

2. Annahmen und die Problematik der Unsicherheit

Das Anliegen dieser Studie ist eine Analyse der volkswirtschaftlichen Kosten, die durch den Klimawandel induziert werden. Es soll dabei ein Bild vermittelt werden, welche Sektoren stärker von den Folgen betroffen sein werden und wie sich die Dynamiken der Auswirkungen über das Jahrhundert entwickeln.

Kostenanalyse statt Kosten-Nutzen-Analyse

Viele Auswirkungen des Klimawandels können nur schwer quantifiziert werden, da oft noch keine Daten zur Verfügung stehen und die monetäre Bewertung von bestimmten Aspekten der Interaktion Mensch-Natur ethisch problematisch und auch ökonomisch wenig sinnvoll ist. Die Existenz einer bestimmten Tierart sowie die Möglichkeiten der Handlungsspielräume einer Generation sind schwer in monetäre Werte zu fassen. Zudem stellen bestimmte Dynamiken wie die Nicht-Substituierbarkeit von bestimmten Naturgütern und die Irreversibilität von ausgelösten Mechanismen (z.B. Treibhausgaseneffekt ab einer gewissen Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre) weitere Hindernisse bei der adäquaten Bewertung der Kosten des Klimawandels dar. Ebenso kann sich der Netto-Effekt des Klimawandels von Person zu Person unterscheiden. Für ältere Personen könnte die Hitze im Sommer so belastend sein, dass trotz geringer Verkühlungswahrscheinlichkeit im Winter, der Nettoeffekt negativ ausfallen dürfte. Letztlich müssten die Präferenzen der Bevölkerung zu den verschiedenen Auswirkungsbereichen konkret erfragt werden, um eine genaue Kosten-Nutzen-Analyse zu erstellen (vgl. Hanusch 2011). Ein derartiges Vorhaben ist aber mit den gegebenen Restriktionen nicht realisierbar.

Modellannahmen

Im Rahmen der Projektionen zukünftiger Klimawandeleffekte werden Szenarien entworfen, die jeweils mit unterschiedlichen Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung, zum Wirtschaftswachstum und zu anderen Faktoren Treibhausgasemissionen festlegen. Die Berechnungen von Niederschlag und Temperatur in den Klimamodellen gestalten sich schwierig, da es neben anderen Faktoren viele nicht lineare Dynamiken, so genannte Kipp-Elemente und sich selbst verstärkende Effekte gibt (wie z.B. das Schmelzen des arktischen Eises oder die Auflösung der Permafrostböden in Russland). Im weiteren Verlauf werden Annahmen für Berechnungen in naturwissenschaftlich-technischen Modellen getroffen, um die Klimawandeleffekte für die einzelnen Teile des Ökosystems wie den Wasserkreislauf zu simulieren. Damit diese im Sinne volkswirtschaftlicher Kosten quantifiziert werden können, sind weitere Annahmen auf der ökonomischen Analyseebene zu treffen (z.B. Annahmen zu Preisentwicklungen). Damit wird deutlich, dass eine Kostenanalyse nur auf Basis von mehr oder weniger plausiblen Annahmen möglich ist. Die inhärente Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen wird in den Modellen mittels der Szenariotechnik berücksichtigt.

Trotz der Unsicherheit, die eine Analyse des Klimawandels kennzeichnet, ist es essentiell, dass sich Gesellschaft und Politik mit den möglichen Zuständen unserer Zukunft auseinandersetzen. Das aktuelle Handeln beeinflusst im hohen Maße Handlungsoptionen und Wohlfahrtniveaus in der Zukunft. Neben moralisch-ethischen Wertvorstellungen, die in der Klimawandeldebatte eine ganz zentrale Rolle einnehmen, sollen Wirkungseffekte, die auch die Wirtschaft treffen werden, durch eine ökonomische Analyse präzisiert werden.

Die Problematik der Diskontierungsraten

In ökonomischen Analysen, wie etwa in der Kosten-Nutzen-Analyse und im Kontext der einzelwirtschaftlichen Investitionsrechnungen, werden Diskontierungsraten verwendet, um zukünftige Zahlungsströme zu einem heutigen monetären Wert zusammenzufassen. Die Diskontierungsraten sollen aus ökonomischer Perspektive einerseits eine Zeitpräferenz darstellen und zudem die Opportunitätskosten reflektieren. Mit einer positiven Zeitpräferenz nimmt man an, dass zukünftige Zahlungsströme einen geringeren Wert haben als aktuelle. Die Opportunitätskosten vermitteln die Möglichkeiten und Alternativen eines höheren Cash-flows, der durch eine alternative Investition erzielt werden könnte. Allerdings wird die Bewertung zukünftiger Kosten und Nutzen mit Diskontierungsraten im Kontext von Klimawandeleffekten kontroversiell diskutiert (vgl. Buchholz et.al. 2009).

Um Folgeschäden des Klimawandels zu bewerten, werden soziale Diskontierungsraten angenommen, die beispielsweise den Verlust zukünftigen Konsums in heutigen Werten angeben sollen. Bei der Verwendung von sozialen Diskontierungsraten wird ein Referenzpfad zum zukünftigen Konsum angenommen. Die soziale Diskontierungsrate ist also verschieden, je nachdem welcher Referenzpfad angenommen wird. Zudem können Diskontierungsraten innerhalb eines Referenzpfads über die Zeit variieren und sind damit endogen, da sie ähnlich wie Schattenpreise nicht unabhängig von dem Standpunkt (z.B. von der zeitlichen Entwicklung) sind (Stern 2008: S. 13). Außerdem sind soziale Diskontierungsraten nicht unabhängig von dem Gut, dessen Wert sie über die Zeit bewerten. So bestehen Unterschiede zwischen einer Diskontierung einer öffentlichen Investition und einer privaten Konsumeinheit. Es können private Diskontierungssätze z.B. aus Immobilien- oder Investitionsprojekten nicht für soziale Diskontierungssätze, die z.B. die Möglichkeiten auf eine Energieversorgung aus Wasserkraft und die Existenz von Gletschern widerspiegeln sollen, herangezogen werden. Da es sich beim Phänomen Klimawandel um eine „große Externalität“ handelt, die sich u.a. durch das Fehlen von Märkten, hohe Unsicherheit und imperfekte Informationen auszeichnet, sollten ebenfalls keine privaten Diskontierungssätze verwendet werden (vgl. Stern 2008: S.13). Somit ergibt sich die von Stern konstatierte Ungleichheit zwischen privater Ertragsrate von Investitionen, privaten Diskontierungsraten und sozialen Ertragsraten von Investitionen und sozialen Diskontierungsraten (Stern 2008: S.13). Zudem sollten zukünftige Generationen bei der Analyse von Klimawandeleffekten mit berücksichtigt werden. Diskontierungsraten spiegeln, wenn sie zur Bewertung von Zahlungsströmen, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel generiert werden, immer ethische Belange und Sichtweisen wieder. So weist

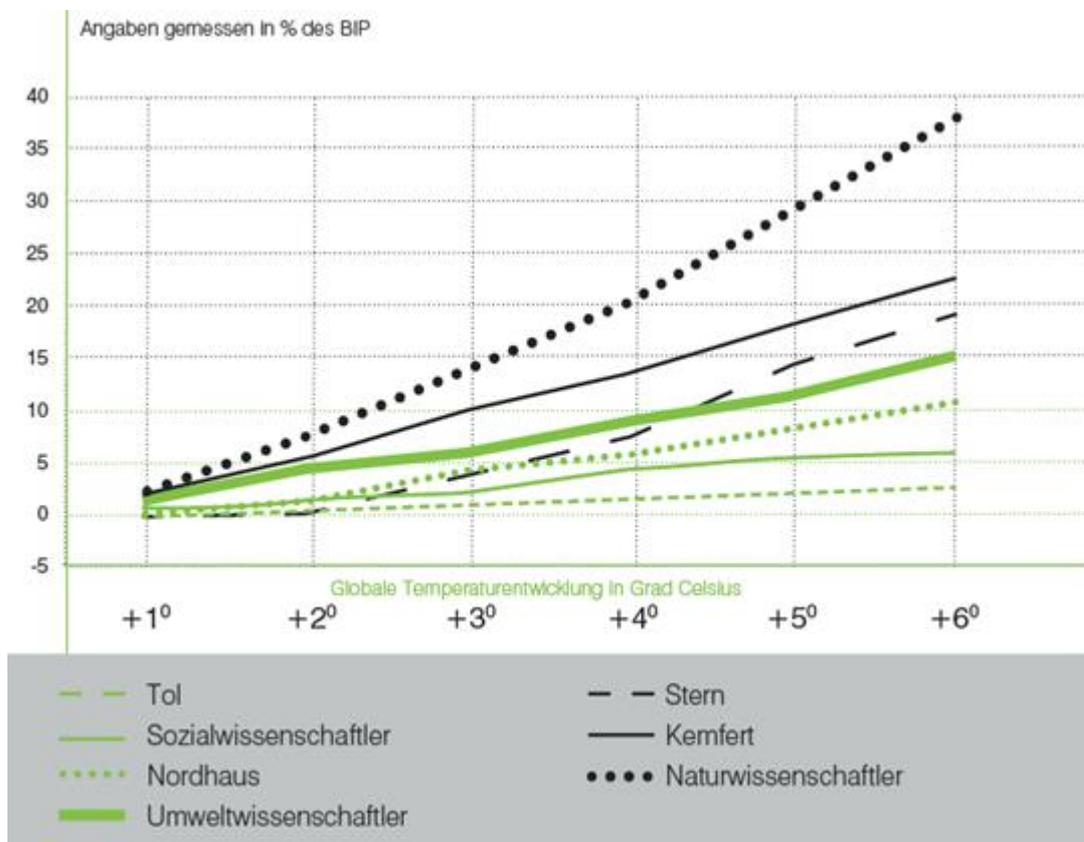
eine hohe Diskontierungsrate ebenfalls auf eine moralische Einstellung hin wie eine niedrige. Wie hoch sollte die Diskontierungsrate sein? Basierend auf der Annahme, dass zukünftige Generationen reicher sein werden als die heutige, wird der Konsum der zukünftigen Generation diskontiert. Zudem könnte der technologische Wandel dazu beitragen, dass spätere Vermeidungsmaßnahmen kostengünstiger oder z.B. energieeffizienter produziert werden könnten. Allerdings wird von einigen Autoren argumentiert, dass spätere Vermeidungskosten höher sind als jene, die in unserem Jahrzehnt auftreten würden (Stern 2008). Diskontierungsraten sollten zudem heutige Generationen nicht gegenüber zukünftigen bevorzugen. Die pure Komponente der Zeitpräferenz sollte deswegen gegen Null gehen, es sei denn, das Aussterben menschlichen Lebens würde wahrscheinlich werden. Stern konstatiert, dass eine Zeitpräferenzrate von 0,1 Prozent eine Wahrscheinlichkeit von 10 Prozent impliziert, dass die Menschheit in den nächsten 100 Jahren ausstürbe (Stern 2008: S.15).

Unsicherheit über Auswirkungen des Klimawandels in Österreich, Gewissheit in der Welt

Der Klimawandel wird negative Nettoeffekte auf Ernteerträge haben (IPCC 2014: S.6). Schwerwiegende Effekte werden vor allem klimabezogene Extremereignisse haben wie z.B. Hitzewellen, Dürren, Fluten, Wirbelstürme, Wildbrände, die Veränderungen von Ökosystemen, Unterbrechung der Lebensmittelproduktion, der Wasserlieferungen, die Zerstörung von Infrastruktur und Behausungen sowie eine Erhöhung der Erkrankungs- und Sterberate bewirken werden (IPCC 2014: S.7). Die sozialen und ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels werden in anderen Ländern, insbesondere in Entwicklungsländern, deutlich stärker ausgeprägt sein. Durch die globale wirtschaftliche und soziale Integration werden diese Effekte jedoch auch für Österreich relevant werden. Extremereignisse werden u.a. Lieferstrukturen unterbrechen, einen schlagartigen Anstieg der Energiepreise, wenn z.B. Förderungsplattformen betroffen sind, bewirken. Eine andere Dimension wird die Migration von Menschen betreffen, deren Lebensraum degradiert und unbewohnbar wird.

In Abbildung 2 werden die Berechnungen der ökonomischen Schäden von verschiedenen Ökonomen und Wissenschaftlern dargestellt, die durch den Klimawandel für die gesamte Welt induziert werden könnten (Kemfert 2007a: S.42). Naturwissenschaftler kommen laut dieser Gegenüberstellung zu den höchsten Kosten, die als Einbuße am BIP gemessen werden.

Abbildung 2: Weltweite ökonomische Schäden



Quelle: Kemfert 2007 (S.42)

Laut Abbildung 2, bewegen sich bis zu einer Temperaturerwärmung von zwei Grad Ökonomen und andere Sozialwissenschaftler auf dem gleichen Niveau der Einschätzung von Einbußen bezüglich des BIPs. Bei einer Temperaturerwärmung von drei Grad lassen sich schon größere Unterschiede feststellen, hier reichen die Einschätzungen eines weltweiten BIP-Rückgangs von 1,3% bis 14%, bei einer weltweiten Erwärmung von vier Grad wird sogar mit Einbrüchen des weltweiten BIPs von 1,6% bis 21,5% gerechnet.

3. IPCC-Szenarien

Die ForscherInnen und WissenschaftlerInnen des IPCC¹ untersuchen den Klimawandel aus naturwissenschaftlicher, technischer, ökonomischer, sozialer und politischer Perspektive. Diese supranationale Organisation hat festgestellt, dass der größte Teil des Klimawandels anthropogener Natur ist, also vom Menschen verursacht wird. Die Beeinflussung des Klimas durch den Menschen hat zu einer durchschnittlichen Erwärmung der Erdoberfläche von ca. +1,6°C im Zeitraum von 1750 bis 2005 geführt (IPCC 2007a: S.4). Seit 1961 hat der Ozean ca. 80 Prozent der Erwärmung absorbiert, was zu einer Erwärmung des Meerwassers und zum Anstieg des Meeresspiegels geführt hat. Durch den Klimawandel kam es zu Veränderungen der arktischen Temperatur und Eises, des Niederschlags, des Salzgehalts der Meere, der Windmuster, und des Auftretens extremer Wetterereignisse (Dürren, starke Niederschläge, Hitzewellen, Intensität tropischer Wirbelstürme) (IPCC 2007a: S.7).

Im Folgenden werden kurz die wesentlichen Szenarien des vierten IPCC- Berichts von 2007² dargestellt, die als Basis für diese Studie herangezogen werden. Im Jahr 2000 wurde vom IPCC ein spezieller Bericht über Emissionsszenarien (IPCC 2000) verfasst, der eine Definition von Szenarien vornimmt und dessen Szenarien für die weiteren IPCC-Berichte verwendet werden. **Szenarien sind demnach kohärente, konsistente und plausible Beschreibungen über einen möglichen Zustand der Welt in der Zukunft; sie sind keine Vorhersagen oder Prognosen** (frei aus dem Englischen übersetzt, vgl. IPCC 2007b: S.145).

Im Zentrum stehen die sogenannten SRES – Szenarien³ u.a. B1, A1B und A2, die auf Basis verschiedener globaler Entwicklungsdynamiken (z.B. Wirtschaftswachstum, Interaktion und Integration zwischen Regionen, technologische Entwicklung, Politiken, Einkommensungleichheit, etc.) Annahmen über Treibhausgaskonzentrationen treffen. Die Treibhausgaskonzentrationen und weitere Annahmen werden dann in verschiedenen Klimamodellen verwendet, aus denen u.a. Temperatur- und Niederschlagentwicklungen für den Zeitraum bis 2100 berechnet werden. Die SRES-Szenarien berücksichtigen den anthropogenen Strahlungsantrieb, das heißt die durch den Menschen beeinflussten Einwirkungen auf die Energiebilanz und den Strahlungsablauf der Erde (IPCC 2007a: S.749; S.761). Die Szenarien B1, A1B und A2 wurden u.a. als Ausgangsbasis für

¹ Der IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) wurde im Rahmen des United Nations Environment Programme (UNEP) und der World Meteorological Organization (WMO) gegründet.

² Da der Beitrag der Working Group I des IPCC im Rahmen des fünften Assessment Report Climate Change zwar schon im Jahr 2013 einsichtig ist, aber noch nicht zitiert werden darf und die weiteren Teile des fünften IPCC – Berichts erst 2014 veröffentlicht werden und die naturwissenschaftlichen Analysen zu den Effekten des Klimawandels in Österreich sich auf den vierten Bericht beziehen, werden für diese Studie die Szenarien aus dem vierten Assessment Report Climate Change von 2007 (im Weiteren 2007 IPCC-Bericht oder vierter IPCC -Bericht genannt) als Basis für die weitere Analyse gewählt.

³ SRES steht für Special Report on Emission Szenarios und bezieht sich auf eine Gruppe von Szenarien, die im Bericht IPCC 2000 beschrieben werden.

Berechnungen der Klimawandeleffekte für den vierten IPCC-Bericht herangezogen. So wird ein Temperaturanstieg für den Zeitraum 2011-2030 im Vergleich zum Zeitraum 1980-99 von ca. $+0,64^{\circ}$ bis $+0,69^{\circ}\text{C}$ mit einer Schwankung von $0,05^{\circ}\text{C}$ zwischen den verschiedenen Szenarien angenommen (IPCC 2007a: S. 749).

Es werden die folgenden zwei Szenarien des IPCC-Berichts von 2007 als Grundlage für die Analysen in dieser Studie verwendet: (folgender Absatz bezieht sich auf IPCC 2007a: S.761, IPCC 2007b: S.22, S.147):

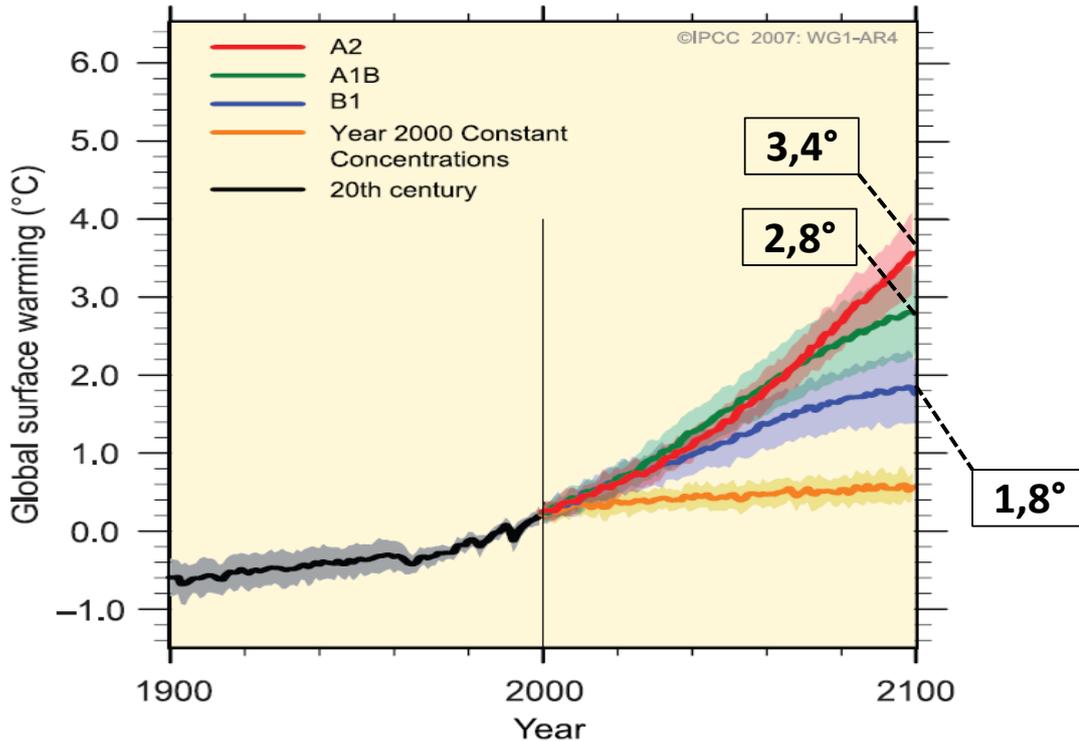
Szenario A1B: Das Szenario unterstellt ein hohes globales Wirtschaftswachstum. Die Bevölkerung erreicht um die Mitte des 21. Jahrhunderts ihren Höchstwert und sinkt danach wieder. Des Weiteren wird angenommen, dass Technologien weiterentwickelt und neue und effizientere Technologien verwendet werden. Es wird davon ausgegangen, dass Regionen konvergieren und somit auch regionale Einkommensunterschiede zurückgehen und soziale und kulturelle Integration vorherrscht. Die beiden Szenarien A1B und A1F stehen jeweils für unterschiedliche Energieszenarien. Das Szenario A1B stellt einen zwischen den Energietechnologien ausbalancierten Pfad dar, da nicht auf eine Energietechnologie fokussiert wird, sondern verschiedene Energietechnologien genutzt werden, wobei allgemeine Produktivitätssteigerungen für alle Energietechnologien angenommen werden. Im Gegensatz hierzu stehen beispielsweise im A1FI-Szenario fossile Energien und Energietechnologien im Vordergrund und führen somit höheren Emissionen.

Szenario A2: Das Szenario geht von einer sehr heterogenen Welt aus, lokale Identitäten haben einen stärkeren Einfluss. Die Geburtenrate konvergiert nur sehr langsam, sodass die Bevölkerung kontinuierlich ansteigt. Die ökonomische Entwicklung beispielsweise das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum ist heterogen und regionsspezifisch. Ebenso ist die Verwendung von Technologien differenziert und technologischer Fortschritt tritt fragmentiert auf.

Aufbauend auf den festgelegten Emissionen und dem sozio-ökonomisch-technischen Hintergrund der verschiedenen Szenarien werden verschiedene Klimamodelle benutzt, um unter anderem Temperatur und Niederschlag und deren Veränderungen im Vergleich zu Referenzperioden zu berechnen.

Abbildung 3 veranschaulicht die Entwicklung der globalen Oberflächenerwärmung unter der Annahme von verschiedenen Szenarien. Erst ab 2040 ist ein deutlicher Unterschied in der Erwärmung zwischen den Szenarien abzulesen. Die Temperatur der Erdoberfläche würde sich ebenfalls leicht erhöhen, wenn die THG-Emissionen auf dem Niveau des Jahres 2000 konstant gehalten werden würden.

Abbildung 3: Veränderung der globalen Erdoberflächentemperatur relativ zur Referenzperiode 1980-1999



Quelle: IPCC 2007a: S.14

Das Szenario A2 verzeichnet den höchsten Anstieg mit 3,4°C am Ende des 21. Jahrhunderts, gefolgt vom A1B Szenario mit 2,8°C und dem B1-Szenario 1,8°C. Letzteres nimmt eine starke und weitreichende Umsetzung von klimafreundlichen und umweltfreundlichen Politikmaßnahmen und dementsprechend ressourcenschonendes und emissionsärmeres Wirtschaften an. Bei der derzeitigen globalen, ökonomischen und politischen Entwicklung, vor allem bei den Wirtschaftswachstumsraten und dem damit verknüpften Emissionsausstoß, ist eine Erhöhung der Erdoberfläche von über 2°C sehr wahrscheinlich. Eine wichtige Schlussfolgerung des Sonderberichts des Weltklimarates (IPCC 2012) ist, dass sich Wetterextreme verschlimmern und zukünftig häufiger, länger und intensiver auftreten werden.

4. Klimawandel in Österreich

Um die Effekte des global stattfindenden Klimawandels in Teilräumen der Erde zu simulieren, werden verschiedene Methoden, welche unter dem Begriff „Downscaling“ zusammengefasst werden, angewandt. Dabei werden globale Skalenprognosen und regionale Dynamiken verbunden um lokal relevante Daten zu generieren, da globale Klimamodelle Effekte nur auf rund 300 km genau berechnen können. Es existieren verschiedene Verfahren (Nesting, Regression, stochastische Wetter-Generatoren) um Aussagen auf regionaler Ebene treffen zu können. Regionale Klimamodelle besitzen eine Auflösung von bis zu 10 km, was einer sehr genauen Darstellung entspricht. Abgesehen von den Schwierigkeiten, welche bei den Berechnungen auftreten, kommen noch weitere limitierende Faktoren hinzu. Einer ist etwa die Rechenleistung der Computer. Diese ist noch nicht groß genug, um die Menge an Daten, welche nötig ist, um lokale Langzeitprognosen zu erstellen, zu verarbeiten (Formayer 2009). Ebenso stellen die nur begrenzt zur Verfügung stehenden Daten einen limitierenden Faktor dar. Da lokaler Klimaentwicklung seit einigen Jahren erhöhte Aufmerksamkeit zu Teil wird, ist in den nächsten Jahren mit verbesserten Prognosemodellen und genaueren Vorhersagen zu rechnen.

Wie alle globalen Klimamodelle zeigen, ist Mitteleuropa und speziell der Alpenraum überdurchschnittlich stark von dem durch den Klimawandel verursachten Temperaturanstieg betroffen. Es wird davon ausgegangen, dass der Alpenraum sogar eineinhalb bis zweimal mal so stark betroffen ist als der globale Durchschnitt. Daher trifft die Erwärmung das zentraleuropäische, größtenteils durch die Alpen geprägte Österreich überdurchschnittlich (Formayer et.al. 2009: S.5). Diese hohe Empfindlichkeit wird auch durch die historische Temperaturentwicklung belegt. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts hat die Jahresdurchschnittstemperatur in Österreich um 1,8°C zugenommen, im globalen Mittel hingegen waren es lediglich 0,8°C (Formayer et al. 2009: S.24).

Der Klimawandel in Österreich führt zu zwei Haupteffekten: einer Temperaturzunahme und zur Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter. Neben diesen zwei Haupteffekten treten eine Vielzahl von Nebeneffekten bzw. mit den zwei Haupteffekten einhergehende Phänomene auf.

Die wesentlichen Auswirkungen des Klimawands in Österreich umfassen folgende Effekte (BMLFUW 2012: S.32; Felderer et al. 2012: S.13; Formayer et.al. 2009; IPCC 2007b: S.551; Schöner et.al. 2011: S.8):

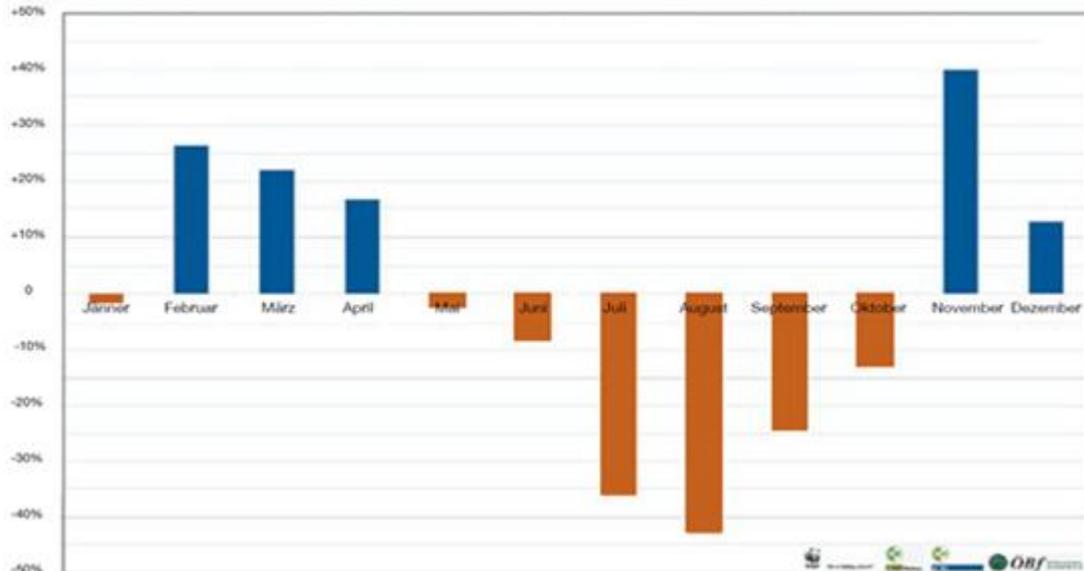
- Vermehrtes Auftreten von überdurchschnittlich heißen Sommern und Hitzewellen
- Zunahme von Trocken- und Dürreperioden (Ost-West Unterschiede)
- Starkniederschläge gewinnen an Intensität

- Vermehrtes Auftreten von Hagelunwettern⁴
- Zunahme von lokalen Sturmböen
- Vermehrtes Auftreten von starkem Schneefall bei warmen Temperaturen
- Veränderung der Vegetation
- Gletscherschmelze, wobei die Abflüsse aus Gletscherschmelze um 2040–2050 ihr Maximum erreichen dürften
- Abnahme des Schneeniederschlags und der Schneedeckendauer, früherer Beginn der Schneeschmelze
- Durch das Schmelzen von Permafrost werden Bergwände destabilisiert und das Risiko für Steinfall steigt
- Abhängig von der Interaktion zwischen Oberfläche, Geometrie, Niederschlag und Temperatur kann es zu einer Veränderung der Schneelagen und Gletscher kommen sowie zu erhöhtem Auftreten von Lawinen führen
- Lokal kann das Geschiebepotenzial im Bereich der Permafrostgrenze zunehmen

Abbildung 4 veranschaulicht die Veränderung der Monatsniederschläge laut dem Szenario A1B. Wie schon erwähnt ist eine starke Verschiebung vom Sommer in den Winter, genauer von den Monaten Juli, August und September in die Monate November, Februar und März zu erkennen. Trotz dieser generellen Verschiebung, lässt die komplexe Niederschlagsverteilung keinen einheitlichen Trend erwarten, denn Niederschlagstrends sind regional und saisonal abhängig.

⁴ Es gibt für Österreich keine repräsentative Studie, aber in der Schweiz ist in den letzten 120 Jahren ein steigender Trend beobachtbar.

Abbildung 4: Veränderungen der Monatsniederschläge in Österreich nach dem A1B – MODERAT – Szenario

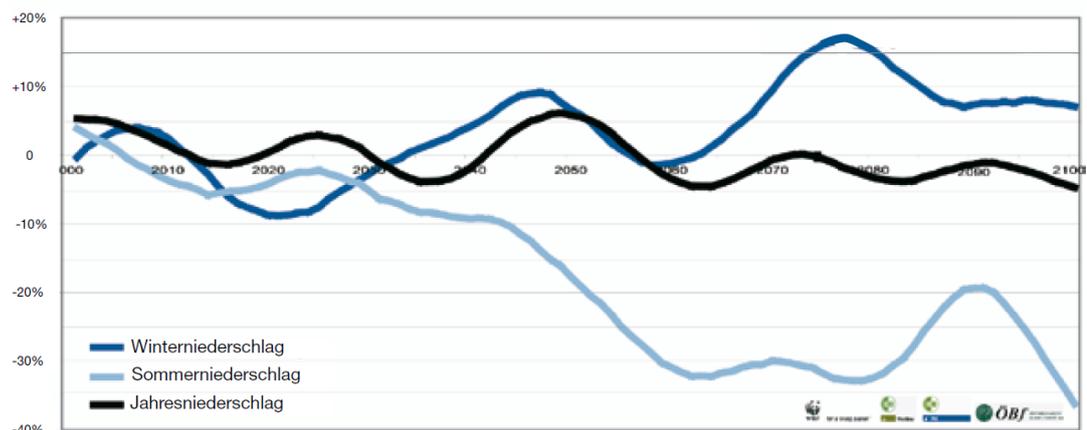


Quelle: Niedermair et al. 2008: S.8

Anm.: Veränderungen der Niederschläge in Österreich im Jahresverlauf. Änderungen beziehen sich auf den Vergleich der Perioden 1961-1990 und 2071-2100

In Abbildung 4 ist die Veränderung der Niederschläge nach dem A1B Szenario bis in das Jahr 2100 dargestellt.

Abbildung 5: Veränderung der Niederschläge bis 2100 A1B – MODERAT – Szenario



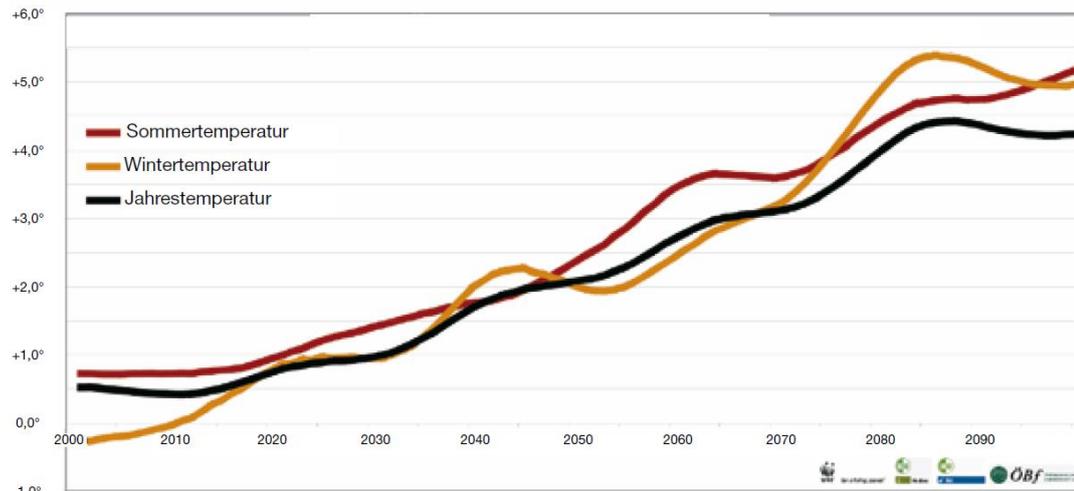
Quelle: Niedermair et al. 2008: S.9

Anm.: Entwicklung der Jahresniederschläge in Österreich gemäß IPCC-Szenario A1B

Es wird deutlich, dass der Trend der Sommer- und Winterniederschläge auseinandergeht, jedoch auch innerhalb der zwei Trends einige Ausschläge und Gegenbewegungen zu beobachten sind. In dem wellenförmig verlaufenden Jahresniederschlagstrend ist über den

Zeitverlauf ein leichter Rückgang erkennbar. Die Temperaturzunahme zählt zu den bedeutendsten Effekten des Klimawandels in Österreich. Abbildung 6 veranschaulicht, dass es schon im moderaten A1B-Szenario zu einem hohen Anstieg der Temperatur bis zum Ende des Jahrhunderts kommt. Bis 2050 ist mit einem Temperaturanstieg von fast 2°C zu rechnen, bis zum Ende des Jahrhunderts mit bis zu 4°C.

Abbildung 6: Klimaerwärmung in Österreich bis 2100 A1B – MODERAT – Szenario



Quelle: Niedermair et al. 2008: S.7

Anm.: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperatur in Österreich gemäß IPCC-Szenario A1B

Die Temperaturzunahme in Österreich laut den Szenarien A1B und A2 fällt relativ ähnlich aus, wobei der Temperaturanstieg im A2-Szenario, trotz der global drastischeren Effekte, geringer ausfällt. (Kranzl et al. 2010; Kromp-Kolb et al. 2006; Loibl 2011). Die drei Großräume Österreichs sind unterschiedlich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Im Flachland und im Südosten kommt es im Frühling und Herbst zu einer im Vergleich stärkeren Abnahme der Niederschläge. Des Weiteren nimmt die Temperatur im Winter im östlichen Flachland stärker zu. In den Alpen fällt die Abnahme der Niederschläge im Winter nicht so stark aus, dafür steigen die Temperaturen im Herbst hier vergleichsweise markant. Generell betrachtet ist die Erwärmung im Süden und im Westen Österreichs stärker. Der Niederschlag nimmt dafür am östlichen Alpenhauptkamm bis ins Wiener Becken, im Mühl- und Waldviertel zu, der Westen und Süden Österreichs werden insgesamt eher mit einer Niederschlagsabnahme konfrontiert sein. Der Großraum Wien ist klimatisch in die Gegebenheiten des östlichen Flachlandes eingebettet, befindet sich also in einem Übergangsklima zwischen kontinentalem und ozeanischem Klima. Jedoch spielen, bedingt durch einige andere Parameter (Wärmeinseleffekt, Donau als markanter Strom) auch mikroklimatische Spezifika eine Rolle. So kommt es etwa durch den Wärmeinseleffekt zu einer deutlich geringeren Abkühlung in der Nacht, besonders im innerstädtischen Bereich. Bedingt durch diesen Effekt kann es zeitweise zu sehr großen Temperaturunterschieden zwischen dem Zentrum und den Außenbezirken kommen.

5. Sektorale Auswirkungen : Wasser- und Energiewirtschaft

Österreich ist eines der wasserreichsten Länder Europas. Zurzeit werden in Österreich etwa drei Prozent der erneuerbaren Wassermengen direkt entnommen und genutzt (etwa 2,6 Mrd. m³/Jahr) (BMLFUW 2012b: S.78). Davon entfallen rund 60% auf die Industrie (inklusive Kühlwasser), 25% wird als Trinkwasser und 5% für die Landwirtschaft genutzt. In der Landwirtschaft wird größtenteils mit Grundwasser bewässert und nur wenig mit künstlicher Bewässerung (Neunteufel et.al. 2012: S.216). Da der Wasserkreislauf stark von klimatischen Faktoren beeinflusst wird, wird der Klimawandel deutliche Effekte auf den Wasserkreislauf in Österreich und somit auf verschiedene wasserintensive Wirtschaftssektoren und Lebensbereiche der Menschen haben.

5.1. Ökologische Effekte

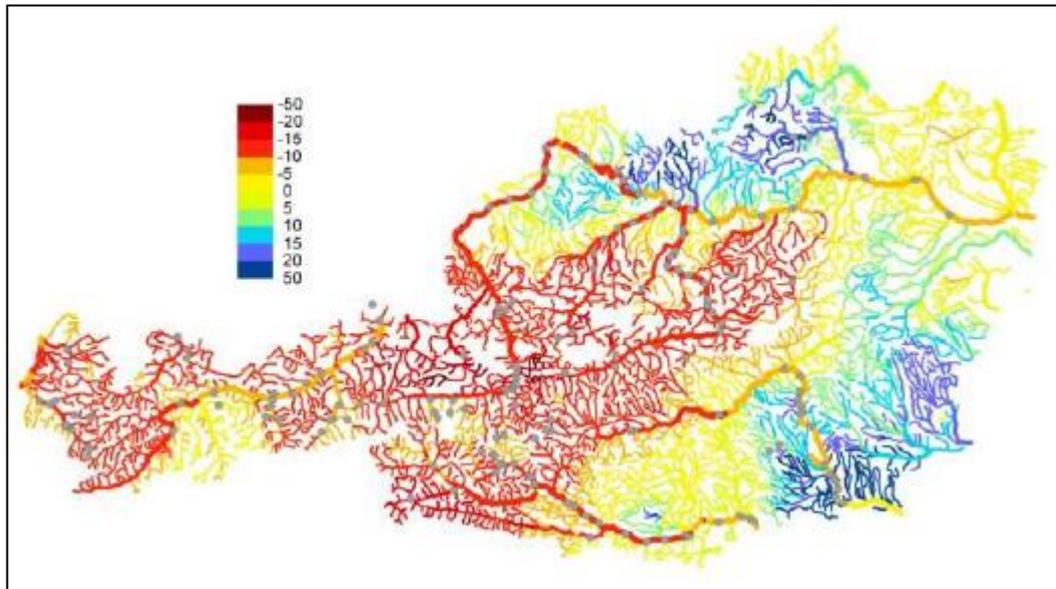
Es wird angenommen, dass die Wassertemperatur in den Flüssen um 1°C in dem Zeitraum 2012-2050 gegenüber 1976-2007 ansteigt (Schöner et al. 2011: S.01-08), was zu einer Veränderung der Gewässerökologie und Biozöosen führen wird (BMLFUW 2012b: S.78). Die Zunahme wird im Sommer stärker ausfallen als im Winter. Durch die Veränderungen der Temperatur wird auch die Verdunstung zunehmen. Da die Winterniederschläge (v.a. nördlich des Alpenhauptkamms) zunehmen, kommt es zu einer Erhöhung der Abflüsse im Winter mit Ausnahme des Südens. Im Sommer reduzieren sich die Abflüsse aufgrund der Abnahme der Sommerniederschläge. Die Intensität ist jedoch regional unterschiedlich. Zudem wird das Grundwasser von den Auswirkungen des Klimawandels in Österreich betroffen sein. Die Grundwassermenge wird im Wiener Becken und im Norden und Westen Österreichs zunehmen (BMLFUW 2012b: S.78f.). Im Süden Österreichs (Steiermark, Kärnten) ist eine Abnahme der Grundwasserneubildung wahrscheinlich und im Osten möglich (Schöner et. al. 2011: S.01-08). Regionen, die schon heute über wenig Grundwasser verfügen, werden auch weiterhin einen Trend des sinkenden Grundwassers aufweisen und könnten somit vom Rückgang des Niederschlags (im Sommer) betroffen sein.

5.2. Auswirkungen auf die Stromproduktion durch Wasserkraft

Die Wasserkraft spielt eine wichtige Rolle für den österreichischen Energiesektor. Wasserkraft hatte einen Anteil von 60 bis 70 Prozent an der jährlichen Stromerzeugung in den Jahren 1990 bis 2012 (E_Control 2013b). Der Abfluss, das heißt der Niederschlag und das Wasservolumen in den Flüssen, die Schneespeicherung und die Verdunstung sind wesentliche Faktoren, die das Wasserkraftpotenzial in Österreich bestimmen. Schöner et.al. (2011) haben die Veränderung des Wasserkraftpotenzials für den Zeitraum 2021 bis 2050 im Vergleich zum Zeitraum 1976-2006 mit verschiedenen Modellen (u.a. das IPCC Multimodel Ensemble, das Globalmodell ECHAM5) und auf Basis der Ergebnisse von Vorstudien

berechnet, die sich aufgrund von Klimaveränderungen laut des A1B –Szenarios in Österreich ergeben würden (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8).

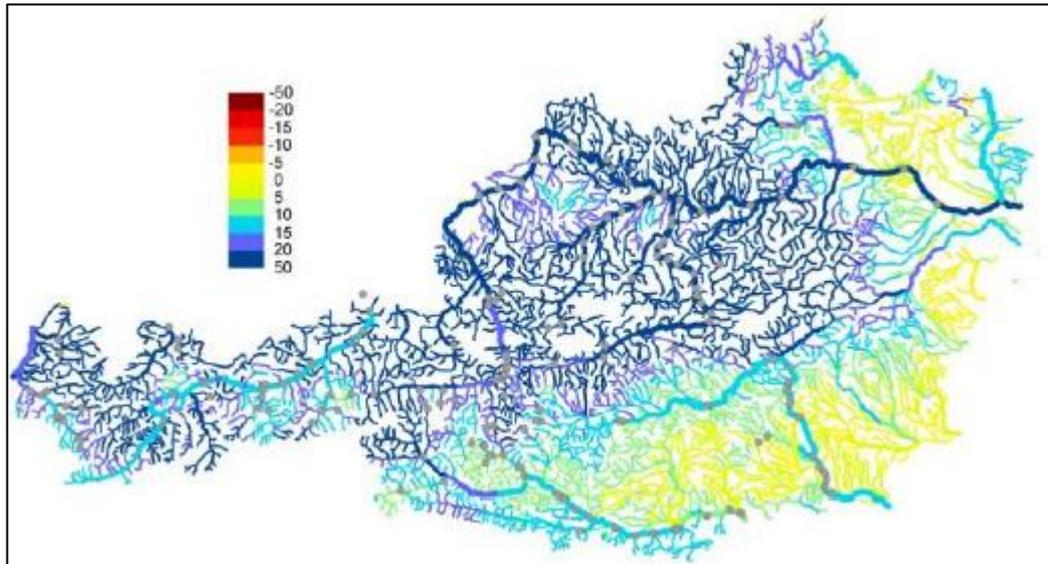
Abbildung 7: Prozentuelle Veränderung des Wasserkraftpotenzials im Sommer für die Periode 2021-2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1976-2006



Quelle: Schöner et al. 2011: S.10-11

In Abbildung 7 wird deutlich, dass es zu einer Verringerung des Wasserkraftpotenzials im Sommer von bis zu 20%, vor allem im Westen Österreichs, kommt. Im Südosten ist teilweise mit einer Zunahme des Wasserkraftpotenzials zu rechnen. Im Winter nimmt das Wasserkraftpotenzial laut den Berechnungen im Zeitraum 2021-2050 im Vergleich zu 1976-2006 um bis zu 15 Prozent zu (siehe Abbildung 8). Durch diese Veränderungen ergibt sich eine bessere Anpassung an die Verbrauchsstruktur, da der Stromverbrauch im Winter höher ist als im Sommer. Dieses Bild ändert sich jedoch, wenn man das gesamte 21. Jahrhundert betrachtet. Stanzel und Nachtnebel haben dazu mittels eines hydrologischen Modells auf Basis der Ergebnisse des regionalisierten Klimamodells REMO-UBA für Österreich die zu erwartenden Abflüsse berechnet (Stanzel und Nachtnebel 2010: S.193). Dabei wird das Modell auf den Wasserhaushalt von 1961-1990 kalibriert und dann für 2001 bis 2090 Simulationen durchgeführt, die sich auf den Ausbaugrad der Wasserkraft von 2008 beziehen. Dieser beträgt ca. 38.000 GWh.

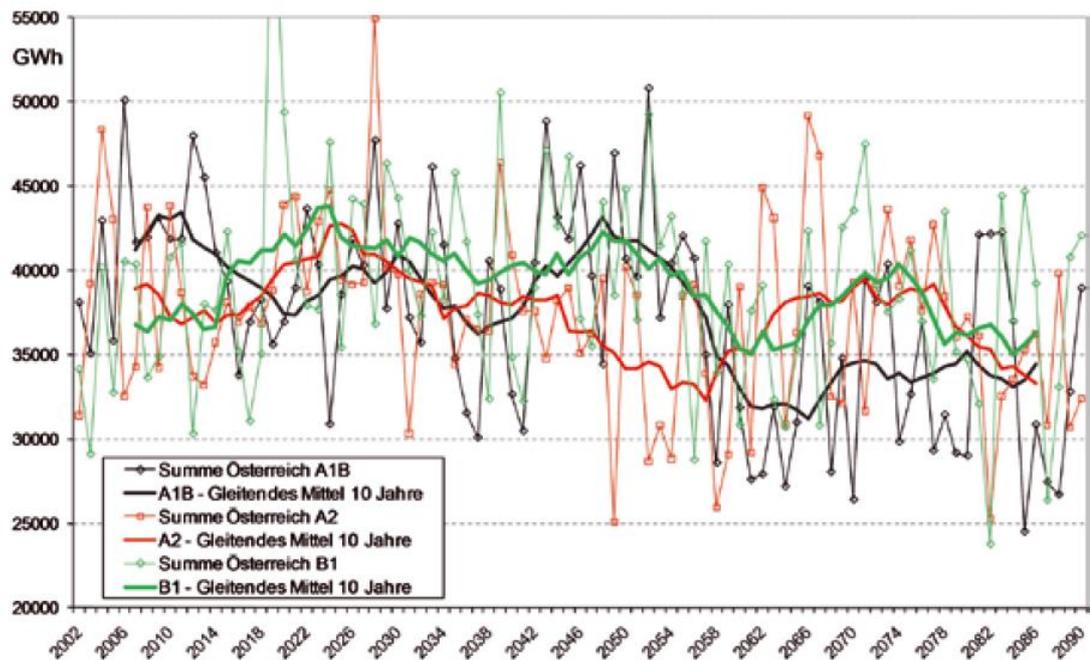
Abbildung 8: Prozentuelle Veränderung des Wasserkraftpotenzials im Winter für die Periode 2021-2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1976-2006



Quelle: Schöner et.al. 2011: S.10-11

Abbildung 9 zeigt die jährliche Stromproduktion aus Wasserkraft in Österreich bis 2090 für die verschiedenen Klimaszenarien (A1B, A2 und B1).

Abbildung 9: Stromproduktion aus Wasserkraft 2002-2090 für ganz Österreich für alle drei Klimaszenarien



Quelle: Blöschl et al. 2010: S.197

Ab 2050 bis 2090 beträgt der Unterschied in der Stromproduktion zwischen den Szenarien zwischen ca. 6.000 bis 10.000 GWh, wobei große Schwankungen um den Wert 35.000 GWh auftreten. Das Wasserkraftpotenzial hängt neben Faktoren wie Schneespeicherung, Verdunstung, insbesondere von der Abflussbildung ab, die wiederum eng an den Niederschlag gekoppelt ist. So lassen sich die Dynamiken der Stromproduktion in den verschiedenen Szenarien vor allem durch die simulierten Niederschlagsmengen des regionalen Klimamodells REMO UBA erklären. Im A1B-Szenario sinkt die Stromproduktion bis 2050 um rund 2,33 Prozent im Vergleich zu 2010, im A2-Szenario um rund neun Prozent. Gegen Ende des Jahrhunderts ist im A1B-Szenario ein Rückgang von rund 19% im Vergleich zu 2010 berechnet worden, im A2-Szenario ein Rückgang von 4% in der jährlichen Stromproduktion. In den Klimaszenarien für Österreich nach dem REMO UBA Modell verlaufen die simulierten Niederschlagsmengen für die Szenarien A1B und A2 ab 2040 bis 2075 fast konträr zu einander. Gegen Ende des Jahrhunderts zeichnet sich eine signifikante Reduktion der Stromproduktion aus Wasserkraft in allen Szenarien ab. Dies wird vor allem bei einer saisonalen Betrachtung deutlich, bei der die Produktion im Winter leicht zunimmt, im Sommer in allen Szenarien jedoch relativ stark abnimmt (Stanzel und Nachtnebel 2010: S.199).

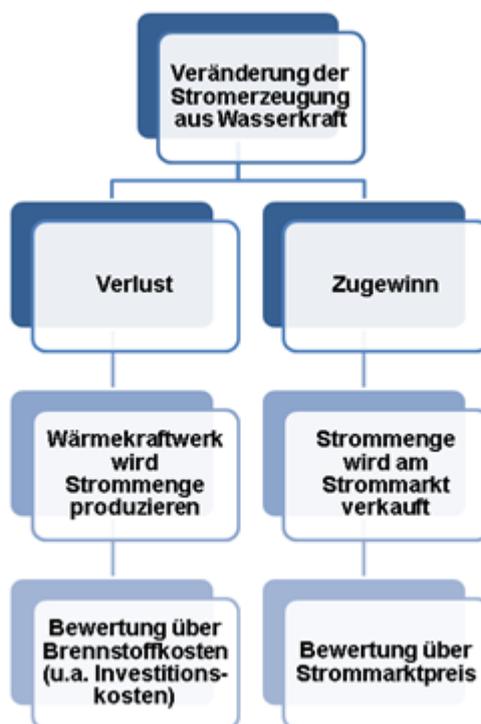
In den Jahren 2001 bis 2010 standen im Jahresdurchschnitt 38.157 GWh elektrischer Energie an Wasserkraft in Österreich zur Verfügung und flossen als Umwandlungseinsatz in die Kraftwerke (Statistik Austria 2012). Die Erzeugung von Strom durch Wasserkraft schwankt laut E-Control - Daten in dem Zeitraum 2000 bis 2012 um die Werte 38.000 GWh bis 40.000 GWh mit einem Durchschnittswert von 39.145 GWh (E-Control 2013a und 2013b). Um jedoch eine konsistente Analyse durchzuführen wird von Stanzel und Nachtnebel der Referenzwert (2010) von 38.000 GWh herangezogen.

Die Differenzen zwischen dem Referenzwert, der das aktuelle Stromproduktionspotenzial aus Wasserkraft in Österreich darstellt, und den simulierten Ergebnissen in den jeweiligen Szenarien werden ökonomisch bewertet. Da die Stromnachfrage annahmegemäß mit einer durchschnittlichen 10-Jahres-Wachstumsrate von rund 18% bis 2030 ansteigen wird (vgl. Baumann und Lang 2013: S.23), wird davon ausgegangen, dass die entgangene Stromerzeugung mittels Wasserkraft durch die Stromproduktion einer anderen Erzeugungstechnologie ersetzt werden muss. Da Wasserkraft zudem eine der kostengünstigen Stromerzeugungstechnologien ist, ist die aus Wasserkraft Strommenge am Markt absetzbar.

Abbildung 10 veranschaulicht den Ansatz zur ökonomischen Bewertung der Veränderung der Stromproduktion aus Wasserkraft. Es wird angenommen, dass der Verlust der Stromproduktion aus Wasserkraft durch die Stromproduktion von Wärmekraftwerken mit Erdgas ersetzt wird. Erdgas hat einen Anteil von rund 16% an der jährlichen Stromerzeugung und macht ca. die Hälfte der Stromerzeugung aus, die aus Wärmekraftwerken mit fossilen Brennstoffen kommt (E-Control 2013b). Der Anteil von

Wärme­kraft­wer­ken mit fossilen Brennstoffen beträgt im Durchschnitt 30% an der Stromerzeugung. Trotz des leichten Abwärtstrends des Anteils von Wasserkraft und Wärme­kraft­wer­ken in den letzten Jahren (1990-2012), decken sie durchschnittlich zusammen rund 90% des jährlichen Stromaufkommens ab (E-Control 2013b). Somit wird als alternative Stromerzeugungstechnologie ein mit Erdgas betriebenes Wärme­kraft­werk herangezogen, da es ein repräsentativer Energieträger für Stromerzeugung durch Wärme­kraft­werke ist und in Zukunft aufgrund eines geringeren CO₂-Gehalts als fossile Energieträger vor Öl oder Kohle bevorzugt werden könnte. Bei einem Zugewinn durch ein erhöhtes Wasserkraftpotenzial wird die zusätzlich erzeugte Strommenge zum Strommarktpreis bewertet. Die österreichische Mischung aus abgeschriebenen und neu erbauten Wasserkraftwerken und die geringen variablen Kosten dieser Stromerzeugungstechnologie machen sie wettbewerbsfähig, sodass die Annahme, dass die durch Wasserkraft erzeugte Strommenge am Strommarkt absetzbar ist, vernünftig erscheint.

Abbildung 10: Bewertung der Veränderung der Stromerzeugung aus Wasserkraft



Quelle: IHS Darstellung

Im Folgenden werden verschiedene Varianten zur Bewertung der Veränderung der Stromerzeugung aus Wasserkraft vorgestellt. Sie unterscheiden sich in den Annahmen zur Preisentwicklung von Strom, Erdgas und CO₂-Zertifikaten. Alle monetären Angaben werden inflationsbereinigt in Bezug auf das Basisjahr 2010 dargestellt.

Annahmen zur Berechnung der jährlichen und der kumulierten Kosten

- **Variante 1:** durchschnittliche 10-Jahres Wachstumsrate des Erdgaspreises von 11,11% sowie, des Strompreises von 18,67%⁵
- **Variante 2:** durchschnittliche 10-Jahres Wachstumsrate des Erdgasimportpreises für Europa von 19,64%⁶
- **Variante 3:** für verschiedene Klimaszenarien werden auch unterschiedliche Preisentwicklungen, sowie durchschnittliche 10-Jahres Wachstumsrate⁷ angenommen
 - Strompreis: 4,9% A1B – Szenario, 2,9% A2-Szenario
 - Gaspreis: 15,8% A1B-Szenario, 15,9% A2-Szenario
- **Variante 4:** gleiche Strom- und Erdgaspreisentwicklungen wie in Variante 3, zusätzlich werden CO₂-Preise und Investitionskosten berücksichtigt
 - CO₂-Preise⁸ (Euro/Tonne) mit einer durchschnittliche 10-Jahres Wachstumsrate: 16% A1B-Szenario, 0% A2-Szenario
 - Konstante Investitionskosten⁹ für Wärmekraftwerke, die als Substitute für fehlende Stromerzeugung aus Wasserkraft herangezogen werden, mit ca. 30 Euro / MWh Investitionskosten

Für weitere Informationen siehe Annex (Kapitel 15).

Die Annahmen zu den Preisentwicklungen von Strom und Gas haben einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse. Trotz der neuen Förderungen von Schiefergas in den USA ist aufgrund der hohen Transportkosten von verflüssigtem Gas (Liquified natural gas – LNG) und zögerlichen Exporten nicht mit einem starken Rückgang des Erdgaspreises in Europa

⁵ Bei Variante 1 basieren die Wachstumsraten auf den durchschnittlichen 10-Jahres Wachstumsrate (2020-2030) des österreichischen Erdgaspreises und des Stromimportpreises, die von der österreichischen Energieagentur erstellt wurden (Baumann und Lang 2013: S.29).

⁶ Variante 2 basiert auf der durchschnittlichen 10-Jahres Wachstumsrate (2010-2035) des europäischen Erdgasimportpreises, die von der Internationalen Energieagentur erstellt wurden unter der Annahme eines konstanten Wechselkurses von 1,33 USD / EUR und HVPI (vgl. Eurostat, IEA 2013a: S.48, IEA 2011: S.64).

⁷ Bei Variante 3 basieren die Wachstumsraten auf den durchschnittlichen 10-Jahres Wachstumsrate (2010-2050) des Erdgas- und des Strompreises, die sich in den jeweiligen Szenarien unterscheiden (vgl. Kranzl et.al. 2010: S.108ff, HVPI von Eurostat).

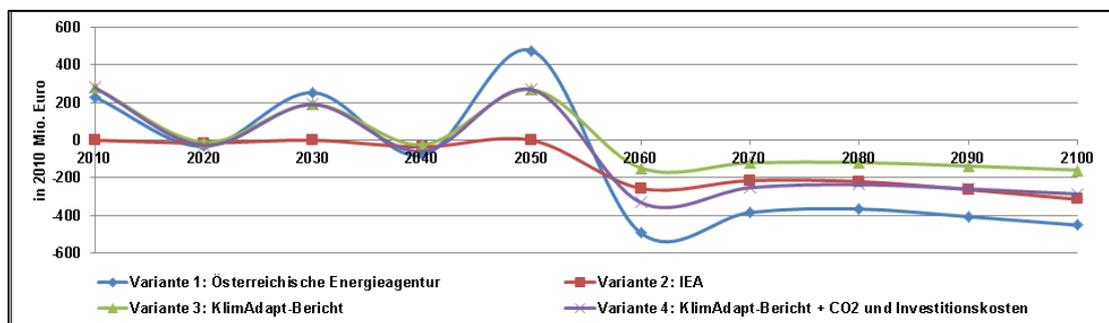
⁸ Vgl. Kranzl et.al. 2010: S.108ff.

⁹ Betrachtete Kraftwerkstechnologien sind Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) und Kraftwerke mit Gasturbinen. Weitere Annahmen umfassen einen Zinssatz von 5%, die Lebensdauer von 30 (GuD) und 25 (Gasturbine) Jahren, jährliche Investitionskosten in Eur/kW_{primär} von 950 Euro/kW_{primär} für GuD und 400 Euro / kW_{primär} für Gasturbine, jährlich fixe Betriebskosten von 28 Euro/kW für GuD und von 17 Euro/kW für Gasturbine und Volllaststunden von 3000h/a für GuD und 1500h/a für Gasturbine.

zu rechnen (vgl. IEA 2013b). Da Österreich stark von Erdgasimporten abhängt und Russland als Erdgaslieferant in Europa eine dominante Stellung innehat, ist ein Anstieg des Erdgaspreises nicht auszuschließen. Die zukünftige europäische Strompreisentwicklung hängt maßgeblich von den politischen Zielsetzungen der einzelnen Mitgliedsstaaten ab, da Staaten durch Förderpolitiken, Einspeisetarife und Regulierung stark in den Markt eingreifen.

In Abbildung 11 werden die jährlichen Zugewinne und Kosten durch die Veränderung des Wasserkraftpotenzials aufgrund des Szenarios A1B mit verschiedenen preislichen Bewertungen dargestellt¹⁰. Die Variante 2 bewertet nur die Verluste und keine Zugewinne durch Veränderungen der Stromerzeugung aus Wasserkraft. Bis 2050 schwanken die Zugewinne, ab 2050 nimmt die Stromerzeugung aus Wasserkraft ab und es entstehen Kosten, wobei die Bewertung mit einer Fortschreibung der Energiepreisszenarien der Österreichischen Energieagentur die stärksten Kosten verursacht. Die geringsten Verluste ergeben sich durch die Bewertung und Fortschreibung der Preisszenarien aus dem KlimAdapt-Bericht in der Variante 3. Gegen Ende des Jahrhunderts kommt es also in allen Preisszenarien zu Verlusten von ca. 160 bis 450 Mio. Euro jährlich. Die Schwankungsbreite gibt an, dass sich die Kosten fast verdreifachen können, je nachdem welche Preisentwicklung unterstellt wird.

Abbildung 11: Jährliche Zugewinne und Kosten durch die Effekte des Klimawandels auf die Stromproduktion durch Wasserkraft



Quellen: IHS Berechnungen, Baumann & Lang 2013, IEA 2013, Stanzel & Nachtnebel 2010, Kranzl et.al. 2010

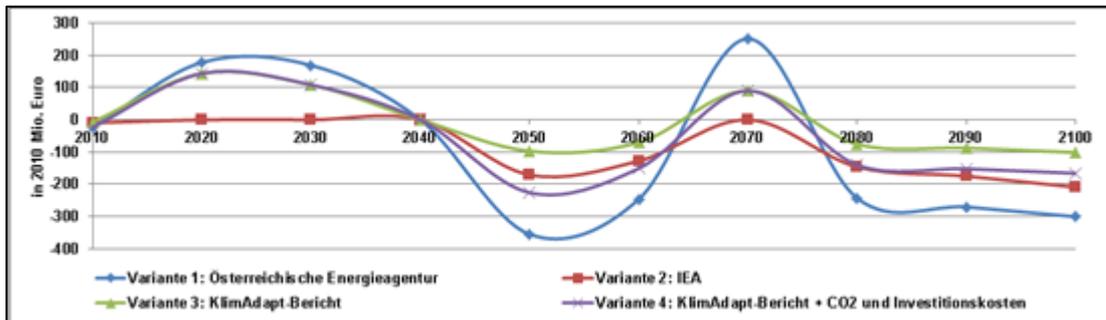
In Abbildung 12 werden ebenso wie in Abbildung 11 die jährlichen Zugewinne und deren Kosten durch die Veränderung des Wasserkraftpotenzials dargestellt, mit dem Unterschied dass die Stromerzeugung aus Wasserkraft auf dem A2-Szenario basiert¹¹. Es kommt zu einer größeren Schwankungsbreite. Schon um 2050 entstehen Kosten durch Veränderung der Stromerzeugung im Rahmen von rund 100 bis 350 Mio. Euro. Allerdings steigt die Stromerzeugung aus Wasserkraft bis 2070 an und somit auch die Zugewinne, die bis zu 250 Mio. Euro erreichen. Gegen Ende des Jahrhunderts nehmen die Kosten ähnlich wie im

¹⁰ Für 2090 und 2100 wurden die gleichen Werte angenommen.

¹¹ Für 2090 und 2100 wurden die gleichen Werte angenommen.

moderaten Szenario wieder zu und belaufen sich je nach Variante zwischen rund 100 bis 300 Mio. Euro.

Abbildung 12: Jährliche Zugewinne und Kosten durch die Effekte des Klimawandels auf die Stromproduktion durch Wasserkraft

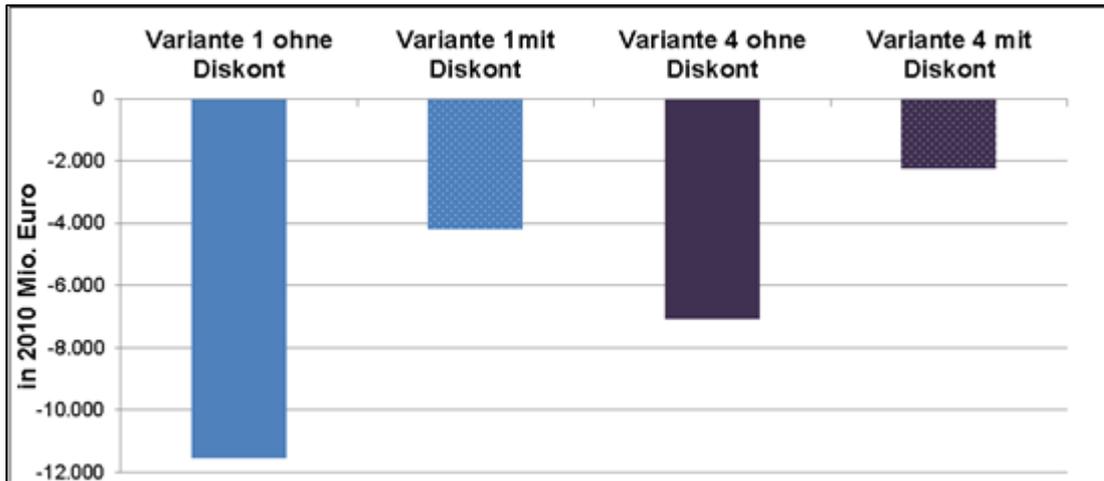


Quellen: IHS Berechnungen, Baumann & Lang 2013, IEA 2013, Stanzel & Nachtnebel 2010, Kranzl et.al. 2010

Die geringeren Kosten gegen Ende des 21. Jahrhunderts sind in dem intensiven Szenario auf die höhere Stromerzeugung durch Wasserkraft zurückzuführen. Im INTENSIV-Szenario bei Variante 4 wird ebenfalls ein geringerer CO₂-Preis als im MODERAT-Szenario, das auf den Simulationen des A1B-Klimaszenarios basiert, angenommen. Ebenso verhält es sich mit der Energiepreisentwicklung, die für Variante 3 und 4 niedriger im INTENSIV-Szenario als im MODERAT-Szenario ist.

In Abbildung 13 werden die kumulierten Kosten durch die klimabedingten Veränderungen der Stromerzeugung aus Wasserkraft von 2010 bis 2100, dargestellt. Die Daten basieren auf den Simulationsergebnissen des moderaten A1B-Szenarios. Dabei werden Variante 1 (basierend auf der Fortschreibung der Preisszenarien der Österreichischen Energieagentur) Variante 4 (basierend auf der Fortschreibung der Preisszenarien des Berichts KlimAdapt) einander gegenübergestellt. Zusätzlich zeigt die Abbildung den Effekt unterschiedlicher Diskontierungsraten auf die geschätzten kumulierten Kosten.

Abbildung 13: Kumulierte Kosten 2010-2100 ohne und mit Diskontierungsrate von 1%



Variante 1 : Österreichische Energieagentur

Variante 4 : KlimAdapt-Bericht (inkl. CO₂-Preise, Investitionskosten)

Der kumulierte Nettoeffekt der Auswirkungen des Klimawandels auf die Stromerzeugung durch Wasserkraft, ist über alle Varianten negativ. Die kumulierten Kosten belaufen sich je nach Variante ohne Diskontierungsrate zwischen rund **7,10 Mrd. Euro** und **11,54 Mrd. Euro**. Bei einer Diskontierungsrate von einem Prozent würden die kumulierten Kosten stark sinken und zwischen **2,23 Mrd. Euro** bis **4,20 Mrd. Euro** schwanken.

In Kapitel 2 finden sich ausführlichere Erläuterungen zu den Auswirkungen der Höhe der Parameter und damit verbundenen Unsicherheiten, sowie zur Problematik der Diskontierungsraten.

5.3. Auswirkungen des Klimawandels auf den Heiz- und Kühlungsbedarf

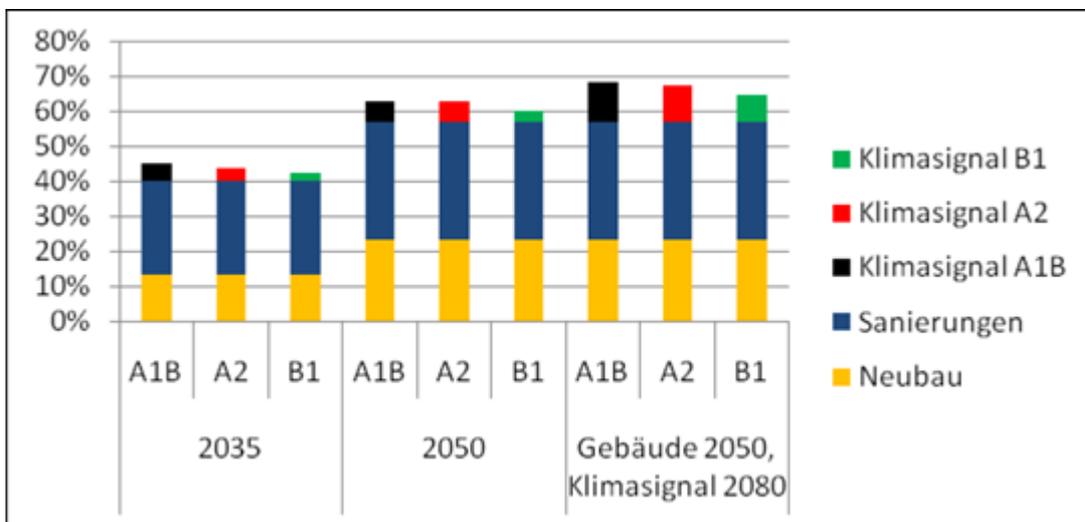
5.3.1. Auswirkungen auf den Heizbedarf

Durch den Klimawandel kommt es auch in Österreich zu einem Anstieg der Temperatur, die einen Einfluss auf den Heizbedarf hat. Andere Faktoren sind beispielsweise Wochentage, Ferienzeiten, demographische Faktoren, Bevölkerungsentwicklung, Wohnstruktur, technologischer Trend, sowie volkswirtschaftliche Indikatoren wie z.B. das Wirtschaftswachstum.

Durch die ansteigenden Temperaturen im Vergleich zur Referenzperiode 1981-1990 wird es in der Periode 2041-2050 zu einem Rückgang der Heizgradtage um ca. 20 Prozent kommen (Steininger et.al. 2007: S40). In Abbildung 14 wird die prozentuelle Änderung des Endenergiebedarfs für Heizzwecke im Vergleich zum Referenzbedarf dargestellt. Es ist

jedoch festzustellen, dass durch Sanierungen und effizienten Neubau ein wesentlich größerer Teil des Heizbedarfs eingespart werden kann als durch die klimabedingten Veränderungen (Klimasignal, wobei sich die Bezeichnungen B1, A2, A1B auf die unterschiedlichen Klimaszenarien beziehen). Der Effekt, der durch den Klimawandel ausgelöst wird, schwankt je Szenario zwischen drei und sechs Prozent jährlich im Zeitraum bis 2050 und zwischen sieben und elf Prozent bis 2080¹². Schon um 2035 kommt es zu einer Reduktion des Heizbedarfs durch die Klimaveränderungen, verstärkt sich gegen Ende des Jahrhunderts noch. Im B1-Szenario ergibt sich die größte Reduktion, da umweltfreundlichen Politiken die Reduktion des Energiebedarfs stärker forcieren.

Abbildung 14: Reduzierung des Heizbedarfs im Vergleich zum Referenzszenario

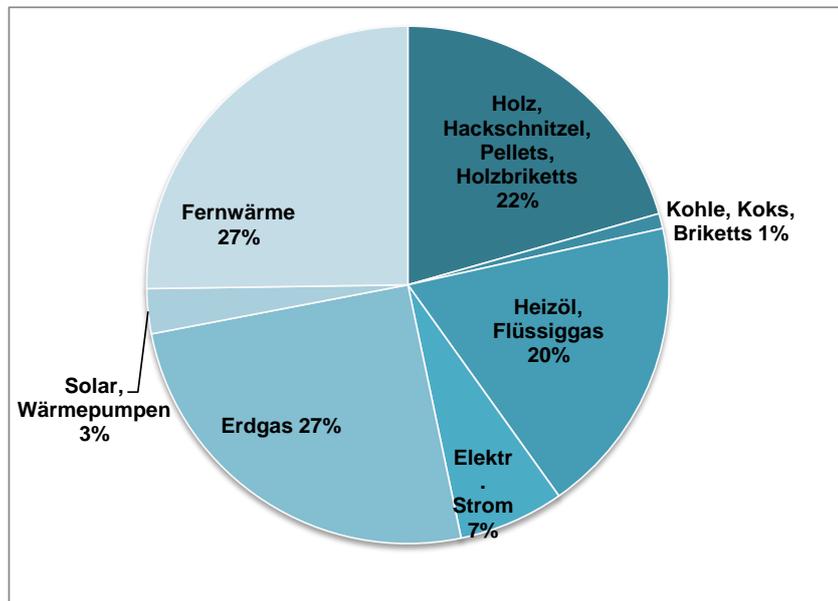


Quelle: Kranzl et.al. 2010: S.100

Zur ökonomischen Bewertung des Rückgangs des Heizbedarfs werden die jährlichen, eingesparten physischen Heizeinheiten mit dem Erdgaspreis bewertet. Bei dieser Überlegung spielt die aktuelle und zukünftige Zusammensetzung des Energiemixes zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser eine wichtige Rolle.

¹² Bei der Simulation für das Jahr 2080 wurde der simulierte Gebäudebestand von 2050 als Referenzwert herangezogen.

Abbildung 15: Zusammensetzung der verwendeten Energieträger zu Heizzwecken 2011/2012

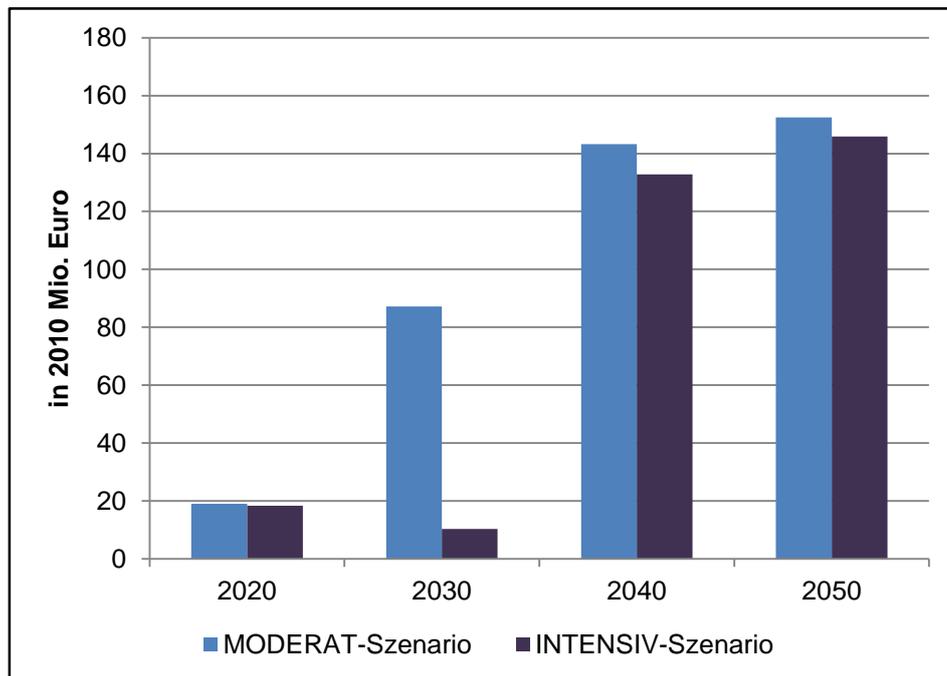


Quelle: IHS Darstellung, Statistik Austria 2013

27% des Heizbedarfs in Wohnungen wird direkt durch den Energieträger Erdgas bereitgestellt. Vor allem wird in den österreichischen Fernwärmekraftwerken neben Biomasse vor allem Erdgas eingesetzt. Wien Energie setzt zur Erzeugung von Fernwärme beispielsweise vor allem Erdgas und Öl ein (Wien Energie 2013). Da der elektrische Strom aktuell zu ca. 16 Prozent aus Erdgas hergestellt wird, erhöht sich die Bedeutung von Erdgas als Energieträger für Wärme ebenso über die Komponente Strom (E-Control 2013b).

Die Entwicklung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser, der Rückgang des Heizbedarfs aufgrund des Klimawandels sowie die Gaspreisentwicklung bis 2050 wurden dem Bericht KlimAdapt entnommen (Kranzl et.al. 2010: S.95, 99, 100, 108). In Abbildung 16 werden die Einsparungen, die sich durch den geringeren Heizbedarf ergeben, dargestellt.

Abbildung 16: Jährliche Kostenersparnis durch verringerten Heizbedarf



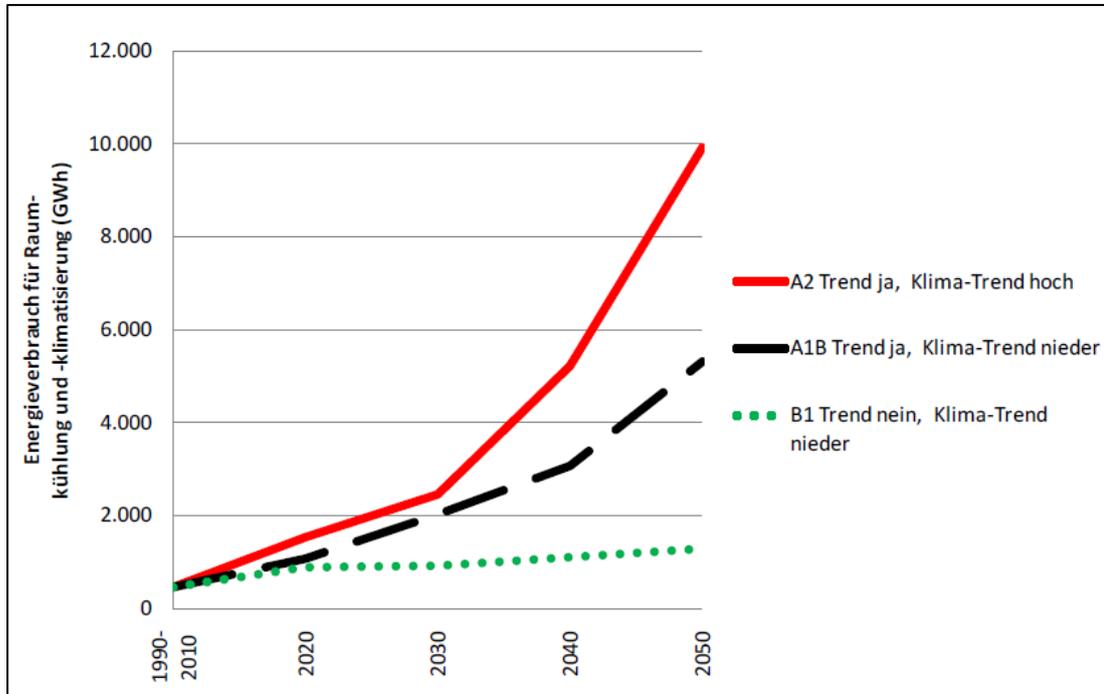
Quelle: IHS Berechnungen

Die Gaspreisentwicklungen sind je Szenario unterschiedlich. In dem MODERAT-Szenario (A1B) liegt der Gaspreis 2050 leicht unter dem INTENSIV-Szenario (A2). Die Einsparungen im Jahr 2050 liegen zwischen 146 und 152 Mio. Euro. Die Ersparnisse im INTENSIV-Szenario liegen deutlich unter dem MODERAT-Szenario für das Jahr 2030, da in dem zugrundeliegenden Szenario A2 in diesem Zeitraum ein geringerer Temperaturanstieg aus den Simulationen des Klimamodells für Österreich festgestellt wurde (Kranzl et.al. 2010: 10).

5.3.2. Auswirkungen auf den Kühlungsbedarf

Aufgrund des Temperaturanstiegs wird es zu einem höheren Kühlungsbedarf in Gebäuden kommen. Der Referenzwert für den Kühlungsbedarf in Österreich von 2010 beträgt ca. 500 GWh im Jahr für Raumkühlung und Klimatisierung (Kranzl et.al. 2010: 10). Durch die ansteigenden Temperaturen im Vergleich zur Referenzperiode 1981-1990 kommt es in der Periode 2041-2050 zu einem erwarteten Anstieg der Kühlgradtage von über 100 Prozent (Steininger et.al. 2007: S.24).

Abbildung 17: Szenarien des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich in den Haupt-Szenarien A1B, A2, B1

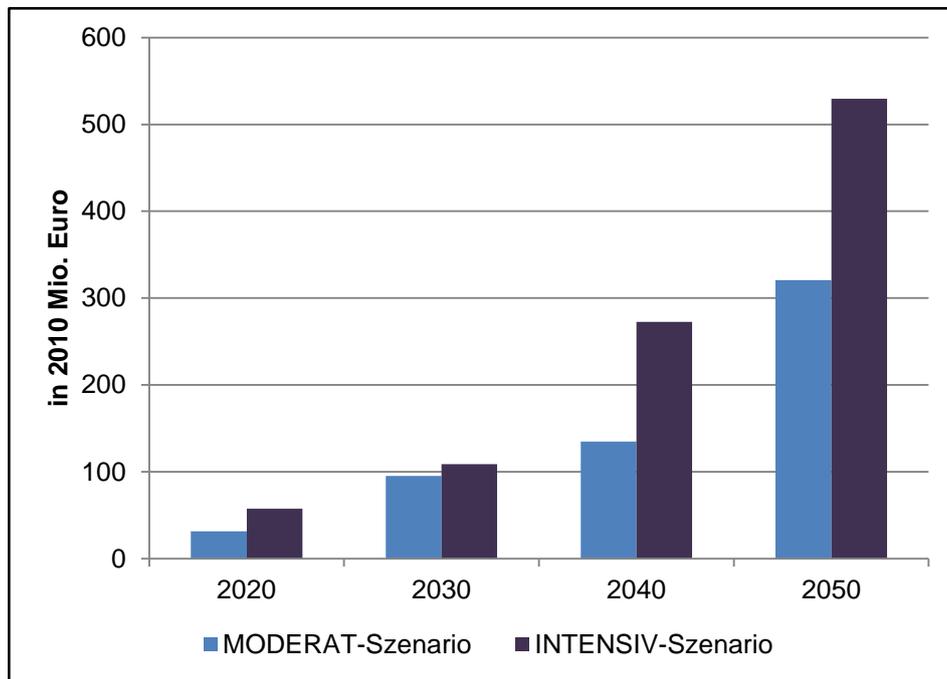


Quelle: Kranzl et.al. 2010: S.102.13

Im A2-Szenario kommt es aufgrund eines massiven Ausbaus von Klimaanlage und geringeren Effizienzverbesserungen zu einem starken Anstieg des Energieverbrauchs, wohingegen im A1B-Szenario angenommen wird, dass der Anteil der klimatisierten Flächen in Gebäuden des Groß- und Einzelhandels, Bürogebäuden und Hotels um ca. 60 bis 75% bis 2050 ansteigt (Kranzl et.al. 2010: S.102). Das A1B-Szenario setzt voraus, dass zwar ein Trend zur Klimatisierung besteht, allerdings auch effiziente Technologien eingesetzt werden. Der zusätzliche Kühlungsbedarf wird durch Elektrizität gedeckt werden, somit erfolgt die Bewertung der zusätzlichen Energieeinheiten mit dem jeweiligen Strompreis. Die Strompreisentwicklung bis 2050 wurde ebenfalls dem KlimAdapt-Bericht entnommen und ist je nach Szenario unterschiedlich (vgl. Kranzl et.al. 2010: S.108). Somit entstehen je nach Szenario jährliche Kosten zur Mitte des Jahrhunderts schwanken in der Höhe zwischen 320 und 530 Mio. Euro, wobei sich das INTENSIV-Szenario auf die Werte des A2-Szenarios und das MODERAT-Szenario auf die Werte des A1B stützt.

¹³ Trend ja / Trend nein steht für den nicht-klimasensitiven Trend zur Raumklimatisierung. Klima-Trend hoch / Klima-Trend nieder steht für das Ausmaß des klimasensitiven Trends (Korrelation mit dem Indikator Temperatur-Summen-Hitzetage). Zudem wird davon ausgegangen, dass der Energieverbrauch durch Elektrizität gestellt wird.

Abbildung 18: Jährliche zusätzliche Kosten durch erhöhten Kühlungsbedarf in 2010
Mio. Euro



Quelle: Kranzl et.al. 2010

Annahmen zur Berechnung der kumulierten Kosten

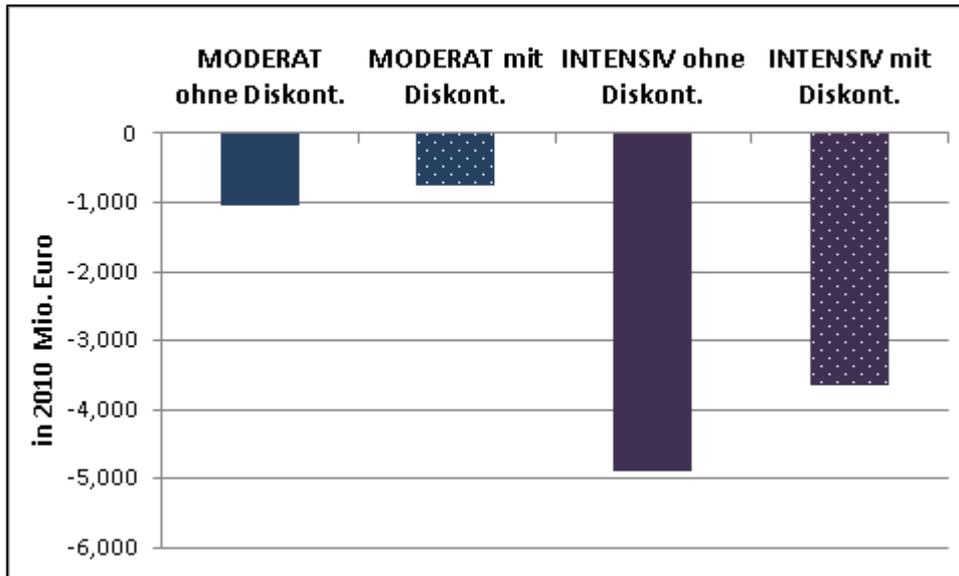
- Entwicklung des Bedarfs für Heizen und Warmwasser bis 2080 (Kranzl et.al. 2010: S. 99,100)
- Entwicklung des Bedarfs für Heizen und Warmwasser von 2080 bis 2100 mit durchschnittlicher 10-Jahreswachstumsrate von -12%
- Entwicklung des Kühlungsbedarfs bis 2050 (Kranzl et.al. 2010: S. 99)
- Entwicklung des Kühlungsbedarfs von 2050 bis 2100 mit durchschnittlichen Wachstumsrate von 5% für das MODERAT-Szenario (A1B) und 20% für das INTENSIV-Szenario (A2) Da im A2-Szenario 2050 davon ausgegangen wird, dass 90% aller Flächen in Gebäuden des Groß- und Einzelhandels, Bürogebäuden und Hotels mit Klimaanlage gekühlt werden, ist der Restflächenbedarf eher gering. Allerdings ist mit einem zusätzlichen Kühlungsbedarf bis zum Ende des Jahrhunderts aufgrund des zu erwartenden Temperaturanstiegs, eines leichten Bevölkerungswachstums und einem Urbanisierungstrend zu rechnen. Somit werden für das INTENSIV-Szenario (A2) eine durchschnittliche 10-Jahreswachstumsrate von 8 Prozent und für das MODERAT-Szenario (A1B) eine 4 prozentige durchschnittliche 10-Jahreswachstumsraten angenommen. Die demographischen Prognosen von Statistik Austria legen eine Bevölkerungszuwachsrate von 0,6% für 2050-2060 und 0,4% für 2060-2070 fest (Statistik Austria 2014a).
- Gas- und Strompreisentwicklung bis 2050 bei einer 10-Jahres Wachstumsrate (Kranzl et.al. 2010: S. 108)
 - Strompreis: 4,9% A1B – Szenario, 2,9% A2-Szenario
 - Gaspreis: 15,8% A1B-Szenario, 15,9% A2-Szenario
- Fortgeschriebene Gaspreisentwicklung von 2050 bis 2100 mit durchschnittlicher 10-Jahreswachstumsrate von 16 Prozent
- Fortgeschriebene Strompreisentwicklung von 2050 bis 2100 mit durchschnittlicher 10-Jahreswachstumsrate von 5 Prozent für das MODERAT-Szenario (A1B) und 3 Prozent für das INTENSIV-Szenario (A2)

Für weitere Informationen siehe Annex (Kapitel 15).

In Abbildung 19 werden die kumulierten Kosten bzw. Kostenersparnisse bezüglich des Bedarfs an Raumwärme, Warmwasser und Kühlung dargestellt. Der Nettoeffekt ist in beiden Szenarien negativ. Ebenso wird der Einfluss einer Diskontierungsrate aufgezeigt. Schon eine Diskontierungsrate von einem Prozent reduziert die Nettokosten um rund ein Viertel. Die

Kosten des INTENSIV-Szenarios sind ca. um das 4,5-fache höher als im MODERAT-Szenario.

Abbildung 19: Kumulierter Nettoeffekt durch Veränderungen des Heiz- und Kühlungsbedarfs



Quelle: Eigene Berechnung, andere Quellen siehe Box „Annahmen“ oben

Anm.: Es wird eine Diskontierungsrate von einem Prozent angenommen.

In Abbildung 20 werden die kumulierten Effekte des Heiz- und Kühlungsbedarf und der Nettoeffekt nach Szenario und Höhe der Diskontierungsrate differenziert dargestellt.

Abbildung 20: Kumulierte Kosten(ersparnis) durch Veränderungen des Heiz- und Kühlungsbedarfs

in 2010 Mio. Euro		Kumulierte Kostenersparnis des Heizbedarfs	Kumulierte Kosten des Kühlungsbedarfs	Nettoeffekt
ohne Diskontierung	MODERAT	3.334	-4.378	-1.044
	INTENSIV	2.417	-7.302	-4.885
mit Diskontierung	MODERAT	2.532	-3.288	-755
	INTENSIV	1.792	-5.454	-3.662

Quelle: Eigene Berechnung, andere Quellen siehe Box „Annahmen“ oben

5.4. Auswirkungen auf die Kühlwasserverfügbarkeit

Kühlwasser wird in der Industrie beispielsweise zur Dampfkondensation in Elektrizitäts- und Wärmekraftwerken, in der Metallurgie zur Kühlung der Motoren der Hochofenkompressoren und in der chemischen und petrochemischen Industrie zur Kondensation von Destillaten verwendet (Aquaprox 2007: S.56). Thermische Kraftwerke benutzen meistens Frischwasser zur Kühlung und entnehmen dieses häufig aus natürlichen Gewässern. So produzierten beispielsweise die Wärmekraftwerke des Verbunds im Jahr 2012 rund 2.814 GWh und hatten einen Kühlwasserverbrauch (In- und Output) von 449.945.000m³, sodass sich ein Wasserverbrauch von 159,90m³ pro GWh ergab (Verbund 2013: S.36, S.38).

Wenn eine gewisse Temperatur des Gewässers erreicht ist, darf kein erwärmtes Wasser mehr zurückgeführt werden, bzw. Wasser zur Kühlung entnommen werden. Die Grenzwerte der Temperatur, bei der noch Wasser aus den Flüssen entnommen werden darf, variiert je nach Fluss und Ökosystem (Nachtnebel, Stanzel und Herrnegger 2013: S.61). Niederwasser kann diesen Effekt noch verstärken. Das heißt, wenn sich die Wassertemperatur erhöht und sich ein Fluss gleichzeitig im Zustand des Niederwassers befindet, kann es dazu kommen, dass der Schwellenwert überschritten wird (Nachtnebel, Stanzel und Herrnegger 2013: S.61). Kleine Flüsse, die keinen alpinen Zufluss haben, wie beispielsweise der Fluss Ager können davon betroffen sein. Bei Flüssen, die alpin gelegen sind oder Zuflüsse aus Hochgebirgen erhalten, besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit, dass Kühlwasserentnahme nicht mehr möglich ist. Solche Flüsse sind beispielsweise die Mur und die Salzach (Kranzl et.al. 2010: S.52). Es ist jedoch bis jetzt nicht mit einem hohen Risiko der Kühlwasserverfügbarkeit durch den Klimawandel zu rechnen.

6. Sektorale Auswirkungen: Landwirtschaft

In Zuge der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Landwirtschaftssektor fließen u.a. Erkenntnisse aus den Gesprächen mit Herrn Prof. Eitzinger (BOKU Wien, Leiter Meteorologie) und Herrn Dr. Winkler (Österreichische Hagelversicherung, Leiter Kommunikation) mit ein.

Aus dem Sonderbericht des Weltklimarates (IPCC 2012) geht hervor, dass sich Wetterextreme durch den Klimawandel zukünftig häufiger, länger und intensiver auftreten werden. Die Landwirtschaft in Österreich wird sich daher auf zunehmende saisonale Wasserknappheit sowie Hochwasser- und Naturgefahren einstellen müssen. Gleichzeitig wird aber auch die noch in vielen Aspekten vorherrschende Unsicherheit hervorgehoben und darauf hingewiesen, dass auch bereits stattfindende Trends sich abschwächen oder umkehren können.

Die österreichische Landwirtschaft befindet sich seit einigen Jahrzehnten in einem Umstrukturierungsprozess. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche hat sich seit einigen Dekaden durch Straßen-, Wohnhaus- und Industrieanlagenbau verkleinert. Durch Meliorationen (z.B. Drainagen, Grundstückszusammenlegungen) konnte die Produktivität und so der Flächenverlust ausgeglichen werden (Austria-Forum 2014). Weitere Charakteristika der österreichischen Landwirtschaft sind ein hoher Grünlandanteil, die Kleinstrukturiertheit trotz sinkenden Anteils kleiner Betriebe und ein hoher Anteil an biologischer Landwirtschaft (16,6% der Betriebe und 20 % der Fläche)(Lebensministerium 2013). Im Jahr 2012 wurden 7,2 Mrd. € an Produktionswert erwirtschaftet (Statistik Austria 2013). Da 80% des landwirtschaftlichen Ertrags wetterabhängig sind, könnte der Klimawandel bedeutende Auswirkungen auf die Landwirtschaft haben (Die Österreichische Hagelversicherung 2006).

Die Haupteffekte des Klimawandels auf die Landwirtschaft sind Verschiebungen in der Anbaustruktur. Durch die steigenden Temperaturen wird es zu einem vermehrten Einsatz von Winterkulturen und hitzeresistenten Saatgut kommen.

Zu den wichtigsten positiven Effekten zählen (Eitzinger 2007):

- Längere Vegetationszeit (7-10 Tage pro Dekade)
- Beschleunigtes Pflanzenwachstum bedingt durch steigenden Kohlenstoffgehalt in der Luft
- Neue Anbaugelände können erschlossen und neue Sorten rentabel werden (Reis, Kiwi,...)
- Wärmeliebende Pflanzen profitieren

Einige dieser Faktoren haben einen positiven Effekt auf den jährlichen Ertrag. Daher kann mit steigenden Ernteerträgen bis 2040, evtl. sogar bis 2050 gerechnet werden.

Zu den wichtigsten negativen Effekten zählen folgende:

- Erhöhtes Risiko von Frostschäden durch Spätfröste (insbesondere bei Obstkulturen), da die Vegetationsperiode früher beginnt.
- Stärkere Ausbreitung und schnellere Entwicklung von Unkräutern, Krankheiten und Schädlingen
- Durch die beschleunigte Zersetzung und Mineralisierung organischer Substanzen kommt es zu einem Rückgang des Bodenkohlenstoffes. Dadurch sinkt die Bodenfruchtbarkeit um 20-60% bis 2100.
- Rückgang der Artenvielfalt
- Zunahme von Ozonschäden
- Vermehrtes Auftreten von Hitze- und Trockenstress. Diese gehen u.a. mit einem höheren Bewässerungsbedarf und einer Überbeanspruchung der Bodenwasserressourcen einher.
- Rückgang der Ertragsstabilität
- Zunahme der jährlichen Ertragsschwankungen (unabhängig von Zu- oder Abnahme der mittleren Erträge)

Viele dieser Effekte äußern sich monetär in geringeren Erträgen, manche hingegen haben keinen direkten Effekt auf den Output oder sind monetär nicht bewertbar. Durch Faktoren wie zunehmende Ernteauffälle, steigenden Bewässerungsbedarf, steigende Aufwendungen für Versicherungsleistungen und zunehmende Schäden kann laut Experten langfristig mit steigenden Lebensmittelpreisen gerechnet werden. Sollte sich die Subventionsstruktur auch noch zu Ungunsten der Landwirtschaft verändern, werden die Preissteigerungen noch größer ausfallen.

Berechnungen

Um den Effekt der verschiedenen Klimawandelauswirkungen auf die Landwirtschaft monetär bewerten zu können, wurden Berechnungen einer möglichen Produktionsentwicklung durchgeführt. Diese basieren auf den prognostizierten Effekten des Klimawandels auf die Landwirtschaft und den daraus resultierenden ertragswirksamen Veränderungen. Als Ausgangswert dient der Produktionswert aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung der Statistik Austria.

Annahmen zur Berechnung des Produktionswerts und der kumulierten Kosten

- Jährliche Agrarinflationsrate von 0,983%
- Jährliche Wachstumsrate durch Produktivitätsgewinne von 1,21%
- Zusätzlicher Produktionszuwachs aufgrund Klimawandel bedingter Veränderungen von 10% bis 2040
- Bewässerungsmöglichkeiten sind begrenzt
- Die aktuellen agrarwirtschaftlichen Bedingungen bleiben unverändert (sonstige Preisverhältnisse und damit einhergehender Import-/Exportanteil und Nachfragestruktur)

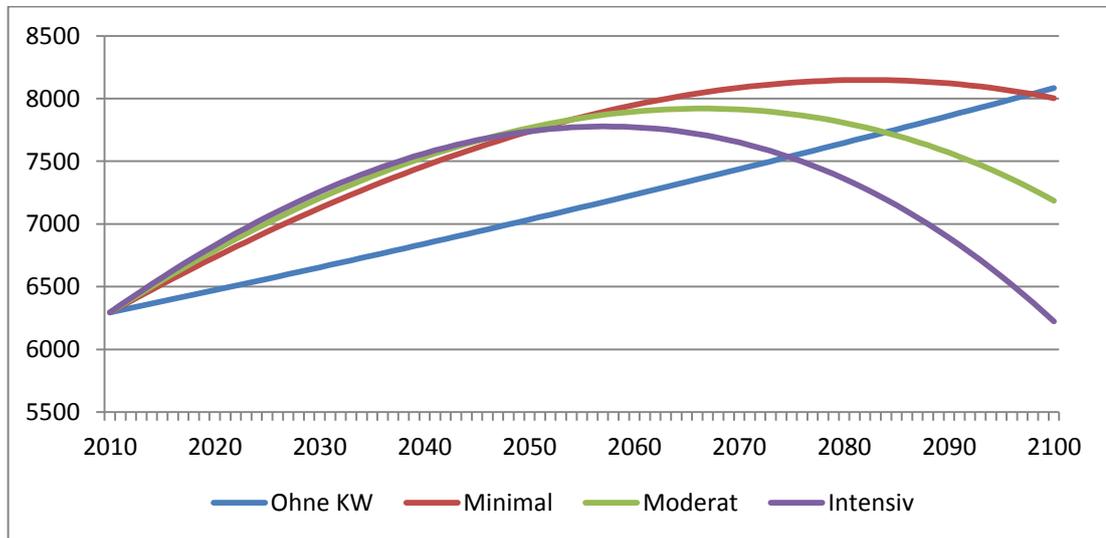
Um den verschiedenen Klimaszenarien Rechnung zu tragen, wurden in Abstimmung mit Experten drei verschiedene Szenarien erstellt, welche nur drei mögliche Entwicklungen aus einer großen Bandbreite darstellen. Zum Vergleich wurde ein Referenz-Szenario berechnet, welche keine Klimawandeleffekte berücksichtigt, sondern lediglich eine Fortschreibung der Produktionsentwicklung der letzten 16 Jahre darstellt.

3 Szenarien:

1. Minimalszenario: Ernterückgang von 10% bis 2100
2. Moderates Szenario: Ernterückgang von 20% bis 2100
3. Intensivszenario: Ernterückgang von 30% bis 2100

In Abbildung 21 ist die Produktionsentwicklung der Landwirtschaft laut den verschiedenen Szenarien bis in das Jahr 2100 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass der Klimawandel bis über die Mitte des Jahrhunderts einen positiven Effekt auf den Ertrag hat. Je nach Szenario überwiegt der positive Effekt länger oder kürzer, in allen Szenarien kommt es aber in 30 bis 50 Jahren zu einer Trendumkehr, welche den landwirtschaftlichen Output sinken lässt. Die angegebenen Schadenssummen beziehen sich jeweils auf ein Szenario ohne Klimawandel. Da der Klimawandel aber vorerst positive Effekte auf den Ertrag hat, steigt der Produktionswert bis 2050 bzw. 2060 im Vergleich zum Referenzszenario, das keine Klimawandeleffekte berücksichtigt, an. Gegen Ende des Jahrhunderts ist in allen Szenarien mit Klimawandeleffekten ein Rückgang des Produktionswerts zu erkennen. Im Intensiv-Szenario steigt der Produktionswert zwar in der ersten Hälfte des Jahrhunderts an, sinkt allerdings in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts stärker.

Abbildung 21: Jährlicher Produktionswert in 2010 Mio. Euro zu verschiedenen Szenarien



Quellen: Statistik Austria 2013, IHS Berechnungen

Tabelle 2 veranschaulicht die berechneten Schadenssummen im Jahr 2050, 2100 und kumuliert über alle Jahre. Der berechnete Schaden bezieht sich jeweils auf ein Szenario ohne Klimawandel, in dem es bis zur Mitte des Jahrhunderts auch zu keinen zusätzlichen positiven Effekten kommt. Kumuliert wird die sehr große Bandbreite der möglichen Schäden erkennbar. Die Summen reichen von 128 Mio. Euro bis knapp 22 Mrd. Euro.

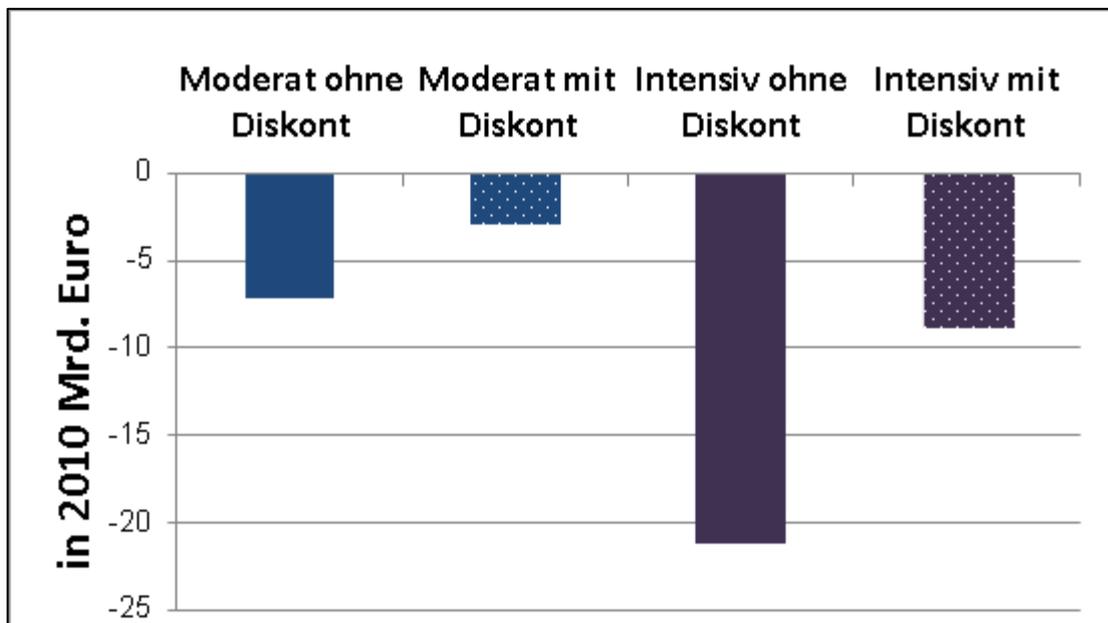
Tabelle 2: Jährliche und kumulierte Schäden in der Landwirtschaft

Schaden (in 2010 Mio. Euro)	2050	2100	Kumuliert	Diskontiert
Szenario Minimal	0	81	128	52
Szenario Moderat	0	897	7143	2917
Szenario Intensiv	0	1859	21771	8891

Quellen: Statistik Austria 2013, IHS Berechnungen

Abbildung 22 veranschaulicht die Kostenunterschiede der kumulierten Kosten unter Berücksichtigung verschiedener Diskontierungsraten. Es treten sowohl zwischen dem moderaten und dem intensiven Szenario, als auch zwischen den nicht diskontierten und den diskontierten Kosten große Differenzen auf. Es wird deutlich, dass selbst bei der Anwendung einer sehr geringen Diskontierungsrate von 1% die Schadenssumme mehr als halbiert wird. Eine kritische Auseinandersetzung mit dem Thema der Diskontierung findet sich in Kapitel 2.

Abbildung 22: Kumulierte Kosten mit und ohne Diskontierungsrate von 1%



Quelle: IHS Berechnungen

Die folgenden Erkenntnisse stammen größtenteils aus Gesprächen mit der Österreichischen Hagelversicherung¹⁴.

Die Landwirtschaft, die Lebensmittel produziert, ist vom Klimawandel sehr stark betroffen. 80% des Ertrages hängen vom Wetter ab. Aufgrund dieser Entwicklung wird eine Risikominimierung zur Abfederung von Ertragsschwankungen in den nächsten Jahren weiter an Bedeutung gewinnen. Das Wetterrisiko ist somit deutlich höher als allfällige vereinzelt auftretende Haftpflichtschäden. Neben der Notwendigkeit, die globalen Treibhausgasemissionen stark zu verringern, sind auch Risikomanagement- und Klimaanpassungsmaßnahmen erforderlich, um die negativen Effekte zu reduzieren. Diese reichen von verbesserten Frühwarnsystemen für Überschwemmungen, über die Nutzung von hitzeresistenterem Saatgut bis zu innovativen Versicherungslösungen.

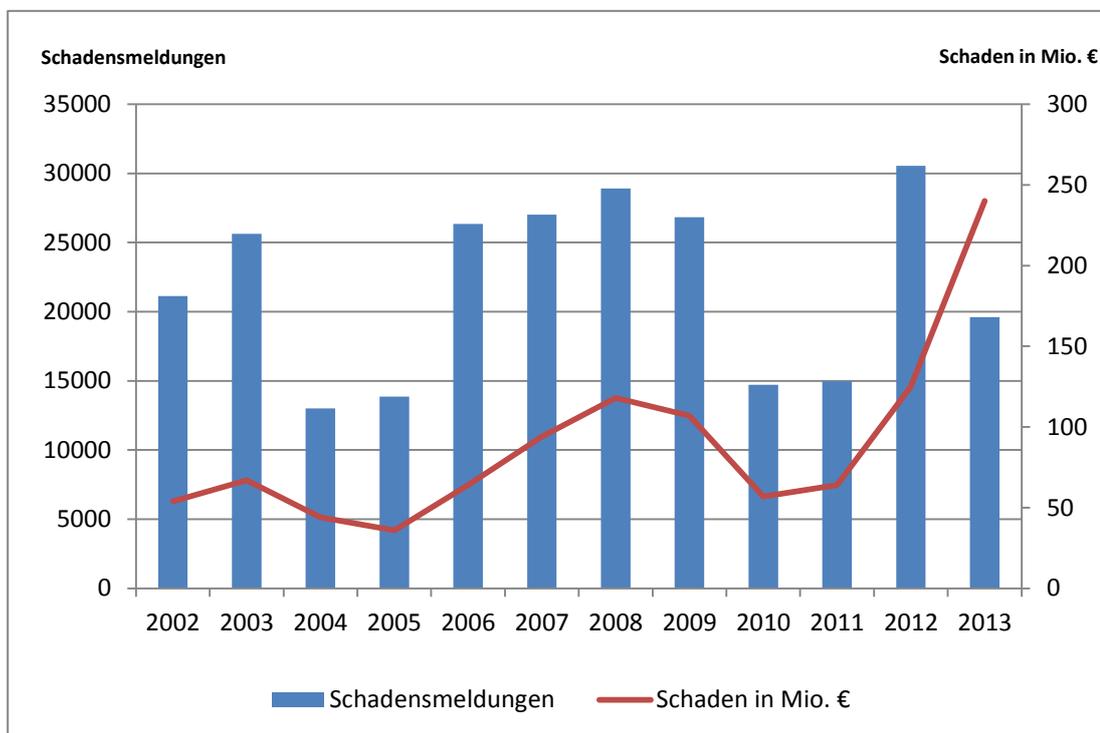
Die Gesamtversicherungssumme in der Landwirtschaft ist in den letzten Jahren gestiegen und die Wahrnehmung der Notwendigkeit einer betrieblichen Absicherung gegen Wetterextreme hat bei den österreichischen Landwirten zugenommen. In Österreich verursachen Hagelunwetter, Frost, Dürreperioden, Hochwasser und andere Extremereignisse in der Landwirtschaft jährlich Schäden in Millionenhöhe. Es bestätigte sich im Jahr 2013, wie sehr die Landwirtschaft von den Wetterextremereignissen betroffen ist. Frühzeitiger Hagel, Hochwasser, Hitze und Dürre machten der Landwirtschaft schwer zu

¹⁴ Die Österreichische Hagelversicherung ist der größte landwirtschaftliche Versicherer und versichert ca. 85 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche Österreichs.

schaffen: alleine im Jahr 2013 entstand in der Landwirtschaft ein Gesamtschaden von 240 Mio. Euro, 150.000 Hektar landwirtschaftliche Fläche waren betroffen.

Die Schwankungsbreite der jährlichen Schadenssummen ist beachtlich. Beispielsweise blieb der Gesamtschaden in den Jahren 2010 und 2011 unter 100 Mio. Euro, belief sich aber im Jahr 2013 auf 240 Mio. Euro. Diese Volatilität ist in Abbildung 23 deutlich zu erkennen. Dies kann direkt auf eine erhöhte Häufigkeit des Auftretens extremer Wettereignisse zurückgeführt werden.

Abbildung 23: Schadensmeldungen und Schaden in Mio. Euro der Hagelversicherung

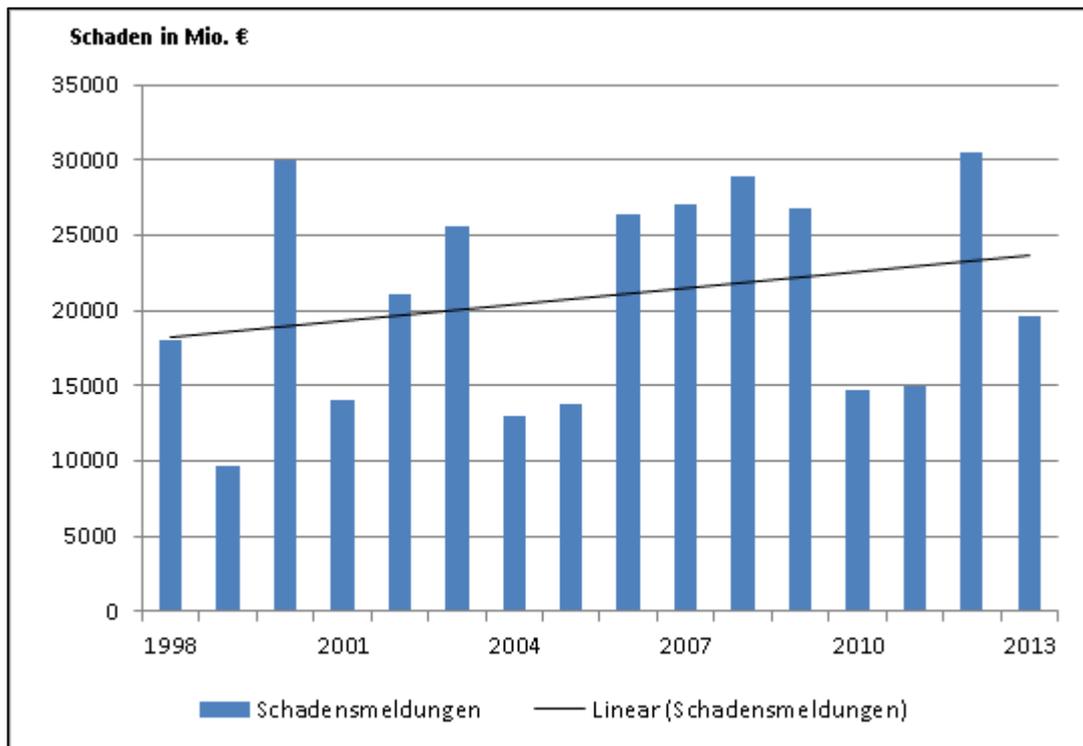


Quelle: Hagel Versicherung 2014 (Interview)

Wie groß der Schaden eines Ereignisses ist, hängt stark vom Zeitpunkt des Vorfalles, von der betroffenen Kulturgruppe, sowie von der Größe der betroffenen landwirtschaftlichen Fläche ab. Das schwerste Ereignis in der Unternehmensgeschichte der Österreichischen Hagelversicherung ereignete sich beispielsweise am 23. Juli 2009. Hier zog eine Gewitterfront mit Hagelschlag über mehrere Landstriche und führte an einem einzigen Tag zu einem Schadensausmaß von mehr als 20 Mio. Euro. Obst-, Wein- und Gemüsekulturen weisen ein weitaus höheres Schadenspotential als etwa Getreide- und Ackerkulturen auf. Generell führen Wetterextreme in der Regel kurz vor der Ernte zu größeren Schäden als am Beginn der Wachstumsperiode, da kein Wiederanbau erfolgen kann.

Abbildung 24 zeigt die Anzahl der Schadensmeldungen im zeitlichen Verlauf. Der hinterlegte lineare Trend veranschaulicht einen leichten Anstieg der Schadensmeldungen im analysierten Zeitraum.

Abbildung 24: Schadensmeldungen im Zeitverlauf und linearer Trend



Quelle: Hagel Versicherung 2014 (Interview)

Die Schäden in Mio. Euro stehen ebenso im Zusammenhang mit der Höhe der Versicherungssumme.

7. Sektorale Auswirkungen: Tourismus

7.1. Erwartete Effekte im Überblick

Der Tourismus spielt eine bedeutende Rolle in der österreichischen Volkswirtschaft. Die im Jahr 2012 nach dem Tourismussatellitenkonto (TSA) berechnete direkte und indirekte Wertschöpfung der Tourismus- und Freizeitwirtschaft lag in Summe bei 45,53 Mrd. €, was 14,8% des BIPs entspricht (Statistik Austria 2014b). Im Jahr 2011 waren 315.100 Personen in der Tourismusindustrie beschäftigt, insgesamt etwa 7,3% der Erwerbstätigen. Zählt man zur Tourismuswirtschaft die Freizeitwirtschaft hinzu, so ergeben sich insgesamt 624.900 Vollzeit Arbeitsplätze für 2011. Damit generierte die gesamte Tourismus- und Freizeitwirtschaft 17,7% aller Vollzeit Arbeitsplätze in Österreich (Statistik Austria 2014c, WIFO 2012: S.22). Im Jahr 2012 verzeichnete Österreich über 36,2 Mio. Gäste (+4,4%) mit 131 Mio. (+4%) Nächtigungen (Statistik Austria 2014c). Im internationalen Vergleich liegt Österreich damit im Spitzenfeld. Im Jahr 2011 wurden 2,3% am Weltmarktanteil erreicht. Mit 2.218 USD Reiseverkehreinnahmen pro Kopf der Wohnbevölkerung nimmt Österreich unter den „größeren“ entwickelten Ländern den zweiten Platz ein (WKO 2013: S.7).

Der Tourismussektor ist ein sehr dynamischer Wirtschaftszweig, der stark von den Präferenzen der Touristen abhängt. So können sich Vorlieben rasch ändern und nicht immer ist es Tourismusregionen möglich sich rasch und flexibel an die geänderten Bedürfnisse und Verhalten anzupassen. Aus diesem Grund sind Prognosen über die Effekte des Klimawandels in der Tourismusbranche mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Dennoch lassen sich einige grobe Trends erkennen, die unabhängig von Präferenzen zu einer deutlichen Strukturverschiebung führen werden.

Erwartete Effekte im Überblick (vgl. u.a. BMLFUW 2012a: S.33):

- Der Sommertourismus profitiert: Durch ansteigende Temperaturen und tendenziell geringere Sommerniederschläge wird Österreich als Destination aufgewertet. Besonders der Alpenraum gewinnt gegenüber Mittelmeerdestinationen an Attraktivität. Trotz dieses positiven Trends, wird die Wasserqualität von jetzt schon warmen Seen mit jedem Jahrzehnt schlechter werden. Daher könnte sich bei einigen Seenregionen¹⁵ der positive Wirtschaftsimpuls, bedingt durch mehr Sonnenstunden und mehr badetaugliche Tage, in eine negativen Impuls, bedingt durch schlechtere Wasserqualität umkehren.
- Die Gletscherschmelze schreitet voran. 75% der heutigen Alpengletscher werden laut Wissenschaftlern bis 2050 abgeschmolzen sein (Astelbauer-Unger et.al. 2011)

¹⁵ Der Seentourismus macht ein Viertel der Gesamtnächtigungen im Sommerhalbjahr aus.

und somit zu einem möglichen Attraktivitätsverlust einiger (Hoch-)Gebirgsregionen und Gletschergebiete führen.

- Veränderung des Landschaftsbildes aufgrund einer Veränderung der Vegetation, Rückgang der Artenvielfalt, möglicher Attraktivitätsverlust einiger Regionen
- Das Abschmelzen des Permafrostes bewirkt erhöhte Gefahren für den Alpentourismus und höhere Instandhaltungskosten (Sicherungskosten für Berghütten) im alpinen Gebiet.
- Vermehrtes Auftreten von Hitze- und Dürreperioden: Hitzewellen könnten Flucht aus urbanen Räumen in ländliche Gebiete auslösen. Der Nettoeffekt dieses Phänomens ist noch nicht abschätzbar.
- Die Effekte auf den Wintertourismus sind zwar insgesamt negativ, dennoch heterogen und müssen daher gesondert behandelt werden.

Der Temperaturanstieg hat regional sehr unterschiedliche Auswirkungen. Für den Neusiedlersee, den zweitgrößten Steppensee Europas, könnte er weitreichende Folgen haben. Hier wären nicht nur das sensible Ökosystem, sondern auch der Tourismus und die Landwirtschaft stark betroffen. Nach einer Studie (Eitzinger et al. 2009; Formayer et al. 2008) des Instituts für Meteorologie der Universität für Bodenkultur ist eine Austrocknung des Sees möglich. Allein eine durchschnittliche Temperaturzunahme von 2,5°C bis zum Jahr 2050 würde zu einer Steigerung der Verdunstung um 23,3% führen, eine Veränderung, die die Wahrscheinlichkeit für Niedrigwasserstände erhöht. Nimmt man zusätzlich eine Abnahme des Jahresniederschlages von 5 bis 10% an, verschlechtert sich die Prognose merklich. Würden sich Jahrhundertssommer von 2003 einige Male hintereinander wiederholen, könnte der Neusiedlersee in 4 bis 6 Jahren ausgetrocknet sein. Eine teilweise oder gar komplette Austrocknung hätte für die burgenländische Tourismuswirtschaft schwerwiegende Folgen. Die Region Neusiedlersee verzeichnete im Jahr 2013 rund 471.000 Ankünfte und 1,43 Millionen Übernachtungen, was mehr als der Hälfte aller Übernachtungen in ganz Burgenland entspricht (Statistik Burgenland 2014). Somit stellt diese Region die attraktivste Destination und einen bedeutenden Wirtschaftszweig des Burgenlandes dar.

7.2. Alpiner Wintertourismus

Im Bundesland Tirol, welches eine der am stärksten genutzten Tourismusregionen der Welt ist, generiert der alpine Wintertourismus einen beachtlichen Anteil am BIP (Ennemoser 2009). Mit über 26 Mio. Übernachtungen und 5,4 Mio. Ankünften im Winter 2012/2013 liegt Tirol mit Abstand an erster Stelle aller Bundesländer, von den Übernachtungen in Österreich entfallen fast 40% auf Tirol (Landesstatistik Tirol 2013). In Österreich gab es in der Wintersaison 2012/2013 65,5 Mio. Nächtigungen (Statistik Austria 2013c). Laut der Österreich Werbung verbringen rund 68% der Gäste im Winter ihren Urlaub in Österreich um Ski zu fahren (Österreich Werbung 2014). Im Winter 2010/2011 verzeichneten die 255 österreichischen Seilbahnunternehmen 588 Mio. Beförderungen. So wurden an 32.800

Betriebstagen ein Kassenumsatz von rund 1,2 Mrd. Euro erwirtschaftet. In einer Wintersaison entstehen durch die Seilbahn 78.100 Vollzeit Arbeitsplätze, wobei 14.500 davon in den Bergbahnbetrieben selbst und 63.600 außerhalb davon vorzufinden sind (Astelbauer-Unger et al. 2011). Laut einer vom Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend in Auftrag gegebenen Studie (Arbesser et al. 2010) weist der alpine Wintertourismus eine Wertschöpfung von 7,4 Mrd. Euro auf, inklusive multiplikativer Effekte sogar von mehr als 11,4 Mrd. Euro, was 3,16% bzw. 4,9% des österreichischen BIPs ausmacht.

Die beiden in der Studie verwendeten Szenarien korrelieren mit der prognostizierten wahrscheinlichen zusätzlichen Erwärmung in Österreich bis in die Jahre 2050 (hier Minimalszenario) und 2100 (hier Maximalszenario). Der Klimawandel wird laut dieser Studie einen **Wertschöpfungsrückgang von 485,3 Mio. Euro bis 1,04 Mrd. Euro** bewirken. Dies entspricht einem Rückgang der nationalen Wertschöpfung von **0,2% bis 0,4%**. Im am stärksten betroffenen Bundesland **Tirol** macht der Rückgang sogar **2,7% bis 5,7%** aus. Durch den Wertschöpfungsrückgang wird ein Beschäftigungsrückgang von 10.905 bis 23.421 Vollzeitäquivalenten (VZÄ) induziert.

Tabelle 3: Anteil der schneesicheren alpinen Skiregionen in Österreich und die Folgen einer Erderwärmung

	Skigebiete insgesamt	Schneesichere Gebiete (2006)	in %	+2°C	in %	+4°C	in %
Tirol	79	75	95%	45	57%	23	29%
Salzburg	39	35	90%	24	62%	9	23%
Steiermark	37	34	92%	17	46%	5	14%
Vorarlberg	25	19	76%	12	48%	3	12%
Kärnten	24	20	83%	14	58%	7	29%
Niederösterreich	13	9	69%	1	8%	0	0%
Oberösterreich	11	7	64%	2	18%	0	0%
Österreich	228	199	87%	115	50%	47	21%

Quelle: Arbesser et al. 2010: S.21

Tabelle 3 und Tabelle 4 geben Auskunft über die Schneesicherheit der österreichischen Skigebiete im Jahr 2006 und bei zusätzlicher Erwärmung von 2°C und 4°C. Dabei zeigt sich deutlich, dass bereits bei einer sehr wahrscheinlichen Erwärmung von zwei Grad in den Alpengebieten mit signifikanten Effekten zu rechnen ist. Das moderate A1B Szenario prognostiziert für Österreich bis 2050 einen zusätzlichen Temperaturanstieg von fast 2°C. Der Temperaturanstieg des moderaten Szenarios bewirkt demnach einen prozentuellen Rückgang der schneesicheren Skigebiete bis 2050 um 37% von 2006 noch 87% auf dann 50%. Ein weiterer Temperaturanstieg von 2°C, was laut moderatem A1B Szenario etwa gegen Ende dieses Jahrhunderts eintreten wird, lässt die schneesicheren Gebiete gar auf

21% sinken. Wie Tabelle 4 zeigt, steigt bei einer Temperaturzunahme von 2°C die Grenze der Schneesicherheit um 300 Meter. Im Osten liegt diese Grenze um 150 Meter niedriger als im Westen.

Durch die Erwärmung wird eine Aufrechterhaltung des Betriebes für mehrere Wintersportgebiete unwirtschaftlich sein und in Folge dessen wird es zu einem markanten Wertschöpfungsrückgang in den betroffenen Gebieten kommen. Selbst bei frühzeitiger Adaptierung und einer Umstellung des Tourismuskonzeptes wird es nur schwer möglich sein, einen mengenmäßigen Ersatz für den alpinen Wintertourismus zu finden. Auch die wahrscheinlich höhere Auslastung in schneesicheren Skigebieten wird den Rückgang in anderen Skigebieten nicht kompensieren können. So wird die Erwärmung eine starke Reduktion der Tourismusankünfte und -übernachtungen sowie der Ausgaben in der Region mit sich bringen.

Tabelle 4: Natürliche Schneesicherheit: im Jahr 2006 und in Folge des Klimawandels in den Alpenregionen

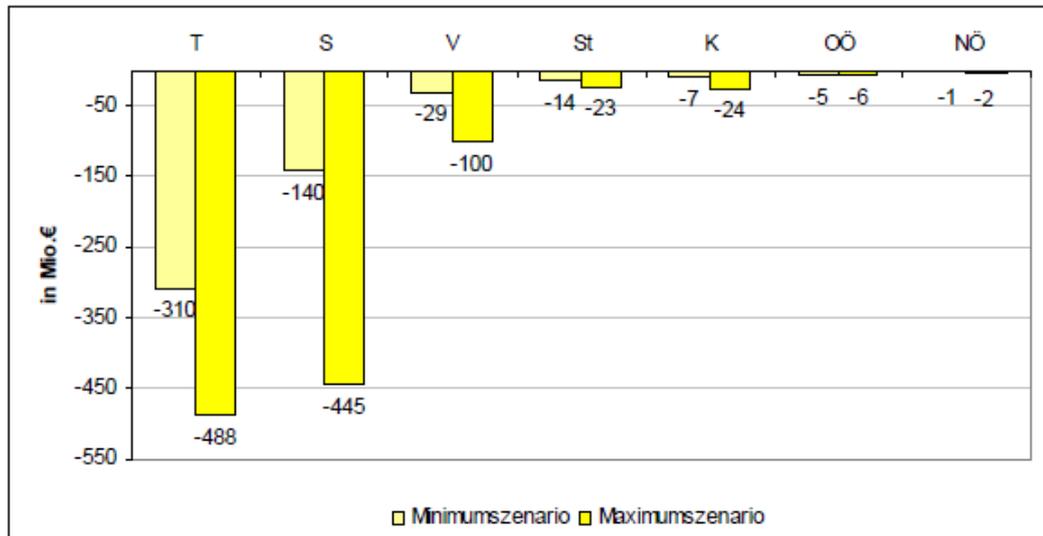
	Anzahl berücksichtigter Skiregionen	Seehöhe der natürlichen Schneesicherheit		
		Gegenwart	+ 2° Celsius	+ 4° Celsius
Niederösterreich	13			
Oberösterreich	11			
Steiermark	36	1.050m	1.350m	1.650m
Salzburg	40			
Kärnten	24			
Vorarlberg	25	1.200m	1.500m	1.800m
Tirol	79			
Gesamt	228		+ 300m	+ 600m

Quelle: Arbesser et al. 2010: S.21

Berücksichtigt man die prognostizierte Erwärmung und die **Berechnungen zum** Wintersporttourismus, so belaufen sich die durch den Klimawandel gefährdeten Ankünfte auf rund 1,1 Mio. (Minimalszenario +2°C) bzw. 2 Mio. (Maximalszenario +4°C) jährlich. Der potentielle Rückgang der Übernachtungen in Österreich beträgt insgesamt 4,8 Mio. bis 10,2 Mio. Daraus resultierend ergibt sich eine Reduktion der Gesamtausgaben in Höhe von 505,5 Mio. bzw. 1,1 Mrd. Euro pro Jahr (Arbesser et al. 2010: S.22).

Abbildung 25 stellt diesen Rückgang, nach Bundesländern kategorisiert, dar. Primär sind von dieser verminderten Nachfrage die Beherbergungs- und Gaststättenwesen als auch der Einzelhandel in den alpinen Skiregionen betroffen. Im Vergleich dazu, beträgt der volkswirtschaftliche Schaden aufgrund des Klimawandels im Wintertourismus in der Schweiz jährlich 1,5 Mrd. Euro (Ennemoser 2009).

Abbildung 25: Rückgang der Gesamtausgaben durch den Klimawandel nach Bundesländern, Minimum- und Maximumszenario, in Mio. €

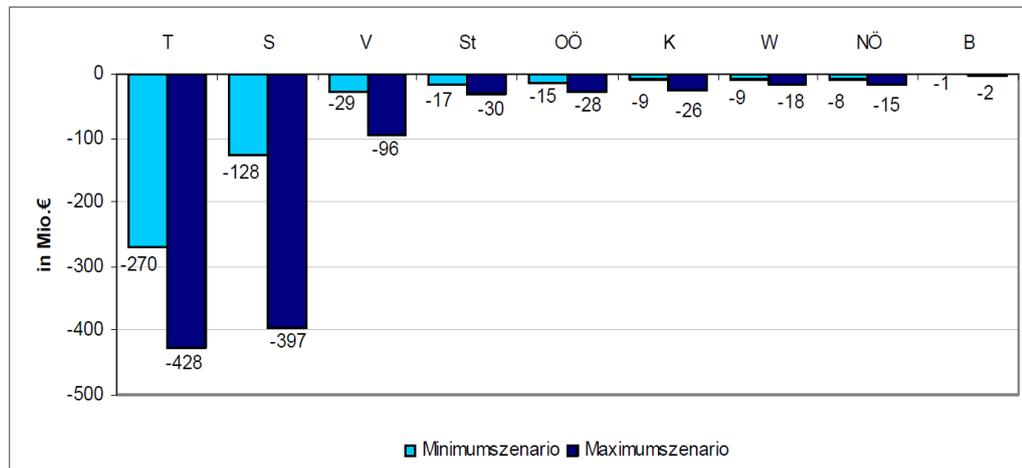


Quelle: Arbesser et al. 2010: S. 22.

Laut Arbesser et al. sind durch den Klimawandel 2,1% (Minimumszenario) bis 4,5% (Maximumszenario) der jährlichen touristischen Wertschöpfung in Österreich gefährdet.¹⁶ Der Anteil des jährlichen Rückgangs der Wertschöpfung an der gesamtösterreichischen Wertschöpfung, der durch den Klimawandel induziert ist, erreicht somit rund 0,2% bis 0,4%. In dem am stärksten betroffenen Bundesland Tirol entspricht der Anteil des durch den Klimawandel ausgelösten Wertschöpfungsrückganges an der gesamten regionalen Bruttowertschöpfung rund 2,7% bis 5,7%. Abbildung 26 veranschaulicht die absoluten jährlichen Wertschöpfungsrückgänge nach Bundesländern. Der gesamte Beschäftigungsrückgang entspricht bei Berücksichtigung von Voll- und Teilzeitstellen einem Vollzeitäquivalent von durchschnittlich 10.905 (Minimumszenario) bzw. 23.421 (Maximumszenario) Jahresbeschäftigungsplätzen (Arbesser et al. 2010: S.23).

¹⁶ Gesamter Wertschöpfungseffekt des Tourismus in Österreich (2007): 23,22 Mrd. Euro (Statistik Austria 2008).

Abbildung 26: Totaler jährlicher Wertschöpfungsrückgang durch den Klimawandel nach Bundesländern, Minimum- und Maximumszenario, in Mio. €



Quelle: Arbesser et al. 2010: S. 23

Abbildung 27 veranschaulicht die durch die Temperaturzunahme verursachten Verluste im alpinen Wintertourismus. Es wird ersichtlich, dass die Verluste bereits im Jahr 2050 über 500 Mio. Euro betragen, bis ins Jahr 2100 wachsen sie sogar auf 1,1 Mrd. Euro an.

Abbildung 27: Durch den Klimawandel verursachte Verluste im alpinen Wintertourismus

Verluste (in 2010 Mio. Euro)	2050	2100	Kumuliert	Diskontiert
Szenario moderat	505	1.100	55.096	31.902

Quelle: Arbesser et al. 2010, eigene Berechnungen

Anm.: Die Diskontierungsrate beträgt 1%.

Durch kapitalintensive Investitionen in Beschneiungsanlagen wird diesem Trend entgegengewirkt. Österreich hat mit rund 66% künstlich beschneibarere Flächen der gesamten Skipisten den höchsten Anteil im alpinen Raum Europas.¹⁷ Allgemein gilt 70% als anzustrebender Zielwert, um eine funktionierende Wintersaison zu garantieren. Österreich ist von diesem Ziel nicht weit entfernt. Die Skigebiete Südtirols erreichen sogar eine Abdeckung von fast 100 Prozent. Jedoch kann auch eine 100-prozentige Abdeckung mit Beschneiungsanlagen die Skisaisonen auf längere Frist nicht absichern. Schon heute wären die meisten Skigebiete ohne künstliche Beschneigung nicht in der Lage eine so lange und halbwegs schneesichere Saison bereitzustellen.

¹⁷ https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/TransportVerkehr/Seilbahnen/Die_Seilbahnen_heute.html Zugriff am 7.2.2014.

Beschneigungsanlagen haben darüber hinaus auch negative Nebenwirkungen. Neben dem hohen Wasser- und Stromverbrauch zerstören die dafür benötigten Stauseen Ökosysteme. Es kommt zu einem starken Rückgang des Durchflusses alpiner Bäche und Flüsse und zu einer Verlagerung der Schneeschmelze.¹⁸

Zusammenfassend lässt sich für den alpinen Wintertourismus feststellen, dass Gletscherskigebiete, schneesichere und nordseitig orientierte Skigebiete profitieren. Die Temperaturzunahme ab Mitte des Jahrhunderts wird einen großen wirtschaftlichen Druck auf Skigebiete niedriger Lagen ausüben. Einige Regionen werden aller Wahrscheinlichkeit nach auf Wintertourismus verzichten müssen. und hat die Schließung mehrere zur Folge. Dies trifft die gesamte lokale Tourismuswirtschaft (Hotels, Restaurants, Schischulen, Sportgeschäfte, Cafés, Bäcker etc.).

¹⁸ Künstlich erzeugter Schnee schmilzt langsamer.

8. Sektorale Auswirkungen: Gesundheitssektor

Im Zuge der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Gesundheitssektor fließen u.a. Erkenntnisse aus dem Gespräch mit Herrn Prof. Hans Moshhammer mit ein.

Gesundheitliche Effekte in Hitzeperioden

Durch das vermehrte Auftreten von Hitzewellen kommt es zu einer Zunahme der Hitzebelastung, die ein Versagen der Temperaturregulation des Organismus und Kreislaufbelastungen zur Folge haben können (BMLFUW 2012a: S. 34). Die Temperatur, bei der die Sterblichkeit am geringsten ist, variiert von Ort zu Ort. In Österreich liegt die Temperatur bei ca. 20°C, wobei die Sterblichkeit gegenüber höheren Temperaturen schneller zunimmt als bei kälteren (vgl. Kromp-Kolb et.al. 2006: S.20f.).

In Wien wurden die Todesfälle für normale Tage mit Tagen in einer Hitzeperiode in den Monaten Juni bis August verglichen (vgl. Kromp-Kolb et.al. 2006: S.22). Die Anzahl der Todesfälle an einem Kysely-Tag¹⁹ beträgt demnach 53,91, an einem Nicht-Kysely-Tag 46,58. Der Effekt eines Hitzeperiodentages im Vergleich zu einem normalen Tag in der Jahreszeit ergibt eine Zunahme von 7,33 Todesfällen, dies entspricht **15,75 Prozent**. Dieser Effekt wurde unterteilt in eine Zunahme von Todesfällen schon bei moderaten Temperatursteigerungen und eine Zunahme bei extremen Temperatursteigerungen. Der Effekt von extremen Temperatursteigerungen führt zu einer Zunahme der Todesfälle um 3,63 Todesfälle pro Tag also um ca. **7,80 Prozent**.

Abbildung 28: Prognostizierte jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen (Szenarien A1B und B1)

	Zusätzliche Todesfälle pro Jahr		Zusätzliche Todesfälle pro Jahr	
	Zählung	Berechnung	Zählung	Berechnung
Derzeit (1990-2004)	100,67	49,85	-	-
Prognosezeitraum	Szenarium A1B		Szenarium B1	
2010-2039	107,02	53,00	80,63	39,93
2036-2065	178,12	88,21	117,28	58,08
2061-2090	288,07	142,66	168,59	83,49

Quelle: Kromp-Kolb et.al. 2006: S.22

In Abbildung 28 werden prognostizierte jährliche Sterbefälle durch Hitzewellen angezeigt. Der Durchschnitt an Kysely-Tagen liegt in der Periode 1990 bis 2004 schon ein bisschen höher, da 2003 ein sehr heißer Sommer war. Bis 2039 sind also nur geringe Veränderungen zu bemerken. Allerdings ist bis 2090 ein starker Anstieg im Vergleich zur Referenzperiode

¹⁹ Kyselys Definition von Hitzeperioden: Periode von mindestens 3 Tagen, in denen die Tagesmaxima im Schnitt über 30°C liegen und an keinem Tag unter 25°C sinken. Solche Tage werden Kysely-Tage genannt (vgl. Kromp-Kolb et.al. 2006: S.20f.).

(1990-2004) zu erwarten. Insgesamt sterben mehr ältere Menschen durch starke Hitze (Kromp-Kolb et.al. 2006: S.23). In diesen Hitzeperioden ist eine Zunahme aller Todesarten zu bemerken, vor allem aber durch Atemwegserkrankungen (Ibid.). Dabei spielt auch die nächtliche Abkühlung eine Rolle. Es ist mit einem steigenden Trend der nächtlichen Temperaturminima von über 20° Grad zu rechnen (BMLFUW 2012a: S. 34f.). Es wird in den Szenario-Analysen für Wien und Graz eine Zunahme von „warmen Nächten“²⁰ angenommen (Kromp-Kolb et.al. 2006: S.28). In urbanen Gebieten kann es zudem zu einem Wärmeinseleffekt kommen. Dicht bebaute Gebiete mit wenig Vegetation, in denen tagsüber erhitzte Flächen auch nachts Wärme abstrahlen, sind besonders von Hitzewellen betroffen (Kromp-Kolb et.al. 2006: S.25), wie es beispielsweise in Wien und Innsbruck der Fall ist.

In einer Studie zu den Effekten von Hitzewellen wurde der Einfluss von Temperaturerhöhungen auf die Sterblichkeit und die Erkrankungsrate in verschiedenen Regionen Europas untersucht (Forsberg et.al. 2009: S.5ff.). Aus den historischen Daten wurden den einzelnen Bereichen lokalspezifische Schwellenwerte zugeordnet um Hitzewellen zu definieren.²¹ Bei der Klimaerwärmung, die im Szenario A2 Angenommen wird, kommt es somit in Österreich zu einem Anstieg des Erwartungswertes der Sterblichkeitsrate um 1,18 Prozent, im A1B Szenario zu einem Anstieg von 1,22 Prozent (Forsberg et.al. 2009: S.10). Die jährliche Aufnahme im Krankenhaus aufgrund von Atemwegsbeschwerden wird laut der Studie in Österreich im A2-Szenario um 0,27% und im A1B-Szenario um 0,29 Prozent im Jahr 2035 steigen, wobei angenommen wird, dass es zu keiner Anpassung kommt. Allerdings ist die Varianz um die simulierten Erwartungswerte ca. gleich groß wie die eigentliche Steigerung der Krankenhausaufenthalte durch Hitzewellen.

Ein Problem bei der Analyse von Statistiken zu Krankenhausaufenthalten in Österreich ist, dass nicht zu unterscheiden ist, ob ein Aufenthalt durch einen akuten Vorfall aufgetreten ist oder ein festgelegter Termin war. Zudem ändert sich innerhalb größerer Zeiträume die Diagnosestruktur und somit die Häufigkeiten von Behandlungen und Diagnosen. Allerdings kann vereinzelt z.B. für die Stadt Linz eine Erhöhung der Ambulanzfahrten während Hitzeperioden festgestellt werden. Im Allgemeinen ist mit einer Reduzierung der Leistungsfähigkeit während Hitzewelle zu rechnen.

Andere extreme Ereignisse wie Hochwasser, Sturm- und Hagelschlag erhöhen das Risiko für Verschüttungen, Verletzungen, dauerhaften Behinderungen bis hin zu Todesfällen (BMLFUW 2012a: S. 34f.). Sekundäre gesundheitliche Folgen, die bei Extremereignissen auftreten können, umfassen ebenso Stress und psychische Störungen sowie Schimmelpilzbefall in Wohnräumen bei Feuchtschäden (Ibid.).

²⁰ „Warme Nacht“ bezeichnet die Abfolge eines heißen Tages ($T_{max} \geq 30^\circ$) vor und nach einer Nacht mit geringer Abkühlung ($T_{min} \geq 18^\circ \text{C}$) (Kromp-Kolb et.al. 2006: S.27).

²¹ Die Ausgangswerte basieren auf den Daten der Weltgesundheitsorganisation und beziehen sich auf die Jahre 2000 bis 2005 (Forsberg et.al. 2009: S.6).

Sonstige negative gesundheitliche Effekte durch Auswirkungen des Klimawandels

Die erhöhten Temperaturen können zu vermehrtem Auftreten von Bakterien im Essen und somit eventuell zu einem Anstieg von Durchfallserkrankungen führen, allerdings werden diese Effekte durch Kontrolle und Anpassung des menschlichen Verhaltens wahrscheinlich gering bleiben.

Durch den Klimawandel können sich allergene Pflanzen und Tiere besser ausbreiten (BMLFUW 2012a: S. 34f.). Die Ambrosie (eine windbestäubte Art, die allergene Pollen produziert) verursacht beim Menschen Heuschnupfen und Asthmaanfälle (Kromp-Kolb et.al. 2006: S.32). Derzeit ist 75% der österreichischen Landfläche ein nicht geeignetes Habitat für die Pflanze. Dies könnte bei einer Temperaturzunahme von über zwei Grad bis 2050 zu einer Versechsfachung des potenziellen Besiedlungsraumes führen. Wenn die Julitemperaturen um 4,8°C bzw. um 6,4°C bis 2100 ansteigen, kann das zu einer Besiedlungsfläche in Österreich von bis zu 67% bzw. 80% führen²² (Kromp-Kolb et.al. 2006: S.34).

Ein weiterer Aspekt in diesem Themenbereich ist die Veränderung der Ausbreitungs- und Übertragungsbedingungen von Vektoren und Krankheitserregern (BMLFUW 2012a: S. 34f.). Zecken können sich aufgrund der Klimawandelveränderungen stärker ausbreiten. Dabei sind in Österreich zwei Arten vorherrschend, die von bakteriellen Erkrankungen bis hin zu chronischen Krankheiten führen können: Borreliose und FSME.

In anderen Teilen der Welt wird es zu stärkeren Auswirkungen des Klimawandels als in Österreich kommen. Bestimmte Regionen werden für den Menschen nicht mehr bewohnbar sein. Somit ist mit erhöhten Migrationsströmen zu rechnen und ebenfalls mit der Verbreitung von normalerweise in Österreich nicht auftretenden Krankheiten. Die Verbreitung von tropischen Krankheiten wie Malaria und der West-Nilvirus und von Parasiten wie Leishmania kann in Österreich durch die Auswirkungen des Klimawandels zunehmen. Der Import von verunreinigten und verseuchten Lebensmitteln kann ebenfalls zunehmen.

Luftverunreinigungen wie ein erhöhter Feinstaubanteil, andere Partikel und bodennahes Ozon in der Luft können gesundheitsschädliche Effekte haben. Ozon führt vor allem zu Atemwegserkrankungen, Feinstaub zu Herz-Kreislaufkrankungen und kann ebenso zum Tod führen. Ozon und Feinstaub sind normalerweise negativ korreliert. Ab einer bestimmten Temperatur (z.B. 30°C) kehrt sich die Korrelation allerdings wieder ins Positive. In einer Studie wurde der Zusammenhang von erhöhtem bodennahem Ozon und der Sterblichkeits- und Erkrankungsrate untersucht (Forsberg et.al. 2009: S.18ff.). Ein Klimamodell (ECHAM4), das das A2-Szenario wiedergibt, zieht als Vergleichsperiode die Jahre 1961 bis 1990 heran und simuliert Berechnungen für den Zeitraum 2021 bis 2050. Das Klimamodell HADCM3

²² Die Verbreitung hängt neben der Temperatur u.a. auch von der Samenausbreitung ab.

deckt das A1B-Szenario ab und führt Berechnungen für die Zeiträume 1990-2009 und 2041-2060 durch. Die Ergebnisse zeigen eine Erhöhung der jährlich erwarteten, frühzeitigen Sterblichkeit und eine Erhöhung der Krankenhausaufnahmen aufgrund von Atemwegsbeschwerden aufgrund einer erhöhten Ozonbelastung an (vgl. Forsberg et.al. 2009: S.21). Die erwarteten jährlichen frühzeitigen Todesfälle erhöhen sich bis 2050 im A2-Szenario um 7,09 Prozent und im A1B-Szenario um 4,65 Prozent im Vergleich zur Referenzperiode 1961-90. Die Krankenhausaufenthalte erhöhen sich in der Periode 2021-2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1961-90 im A1B-Szenario um 4,60 Prozent und im A2-Szenario um 6,99 Prozent.

Gesundheitliche Vorteile durch Auswirkungen des Klimawandels

Die klimawandelbedingten Veränderungen können ebenso positive Effekte auf die Gesundheit des Menschen haben. So erhöhen möglicherweise die Aufenthaltsdauer im Freien und die körperlichen Aktivitäten, dies würde sich auf den Vitamin – D – Status auswirken. Durch die milderen Winter könnten die Wintermortalitätsrate und die Sterblichkeitsrate durch glättebedingte Unfälle sinken. Positive Effekte auf funktionelle Störungen, depressive Verstimmungen und rheumatische Erkrankungen sind noch ungewiss.

9. Sektorale Auswirkungen: Verkehr & Verkehrsinfrastruktur

Im Zuge der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehrssektor fließen u.a. Erkenntnisse aus den Gesprächen mit Herrn Mag. Thomas Schuh, MSc (ÖBB-Infrastruktur AG, Nachhaltigkeitskoordinator) und Herrn Dipl. Ing. Christian Mlinar (ASFINAG, Fachbereich Technik, Innovation und Umwelt) mit ein.

Da Verkehrsinfrastruktur zur kritischen Infrastruktur zählt, kann deren Beeinträchtigung zu erheblichen Folgeschäden für Gesellschaft und Wirtschaft führen. Wenn durch Störungen Transport und Liefersysteme behindert werden oder zusammenbrechen, können die Kosten der nachgelagerten Auswirkungen die Kosten der reinen Wiederherstellung der Infrastruktur übersteigen. Grund dafür ist der Netzwerkcharakter der Verkehrsinfrastruktur, der dazu führt, dass sich die Folgen einer Beeinträchtigung auf andere Verkehrsträger und andere Wirtschaftszweige übertragen. Da sowohl die Bahn- als auch die Straßeninfrastruktur ständiger Abnutzung, Witterung und äußeren Einflüssen unterworfen sind, ist es relativ kompliziert, Schäden, die an der Infrastruktur geschehen, direkt dem Klimawandel zu zurechnen. Instandhaltung, Wartung, Renovierung und Investitionstätigkeiten sind immanenter Bestandteil der Netze und eine genaue Zurückführung aller Schäden auf einzelne Ereignisse ist meistens unmöglich. Zudem gestaltet sich die Erfassung der direkten Schäden des Klimawandels schwierig, da die Betreiber von Straßen- und Bahnnetzen Anpassungsmaßnahmen durchführen und so auf die veränderten Umweltbedingungen seit Jahren reagieren und potentielle Schäden zu minimieren versuchen. Dabei ist es nicht möglich, ökonomische Kosten direkt den Auswirkungen des Klimawandels zu zuordnen. Dennoch lassen sich Trends ausfindig machen und bestimmte Kostenfaktoren identifizieren.

Eine besondere Gefährdung weisen Städte aufgrund der Dichte der Verkehrswege, Gebirgsstrecken, Strecken mit Tunneln oder Brücken und das Bahnnetz auf. Stark- und Dauerregenereignisse und Hitzetage weisen das größte Schadpotential auf und werden in weiterer Folge im Detail diskutiert.

Stark- oder Dauerregenereignisse umfassen Überschwemmungen, Massenbewegungen (z.B. Murenabgänge, Steinschlag, Rutschungen, Felsstürze) und Erosion. Außerdem führen erhöhte Temperaturen zu Materialschäden an Straßen, Schienen (Schienenverwerfungen) und an elektronischer Infrastruktur. Sie können zu erhöhten gesundheitlichen Beeinträchtigung führen aufgrund der verstärkten Unfallgefahr. Zudem können Veränderungen der Vegetation sowie, zunehmende Ausbreitung von gebietsfremden invasiven Pflanzenarten (Neophyten) steigende Kosten induzieren. Des Weiteren kann sommerliches Niedrigwasser und Hochwasser die Binnenschifffahrt behindern.

Die wirtschaftlichen Implikationen umfassen eine stärkere Abnutzung der Verkehrsinfrastruktur, eine verkürzte Lebensdauer, erhöhte Erhaltungskosten, höhere Ersatzinvestitionen und größeren Wartungsbedarf. Zudem ist mit steigenden Versicherungsprämien durch das höhere Schadensrisiko und durch ein höheres Schadensausmaß zu rechnen. Generell besteht ein weiterer Forschungsbedarf zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Verkehrsinfrastruktur.

9.1. Bahninfrastruktur

Beeinträchtigungen an der Bahninfrastruktur können hohe Kosten verursachen. Wie die Vergangenheit gezeigt hat, bringen Extremereignisse wie etwa Hochwasser Kosten in Millionenhöhe mit sich. So hat das Hochwasser im Sommer 2013 Gesamtkosten für die ÖBB von 69 Mio. Euro verursacht. Davon entfielen 55 Mio. auf die Wiederherstellung der Infrastruktur, 12 Mio. auf Reinigungskosten und 2 Mio. auf Wildbach und Lawinerverbauungen. Auch regionale Hochwasser können beträchtliche Schäden anrichten, wie das Beispiel des im Jahr 2005 aufgetretenen Hochwassers im Arlberggebiet zeigt. Es verursachte nicht nur Kosten für die Bahn in Höhe von 40 Mio. Euro, sondern zusätzlich Schäden im Siedlungsraum und die vollständige Zerstörung der Bahnstrecke Landeck – St. Anton.

Sollten sich Extremereignisse wie das Hochwasser von 2002, 2005 oder 2013 in Zukunft häufen, werden auf die Bahnbetriebe hohe zusätzliche Kosten zukommen, denn das jährliche Budget für außergewöhnliche Ereignisse beträgt nur rund 30 Mio. Euro. Solche elementaren Begebenheiten verursachen meist erhebliche Mehraufwendungen und übersteigen deutlich die buchhalterisch eingeplanten Kosten. Aufgrund des Klimawandels ist davon auszugehen, dass einige meteorologische Phänomene vermehrt auftreten werden. Abbildung 29 verdeutlicht den Trend für ausgewählte Phänomene und zeigt auf, dass einige Extremereignisse in Zukunft häufiger auftreten werden. Lediglich Schneeverwehungen weisen einen sinkenden Trend auf. Bei allen anderen Phänomenen ist der Trend entweder unsicher, gleichbleibend oder steigend. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Kosten zumindest gleich bleiben, wahrscheinlicher ist jedoch ein Anstieg.

Abbildung 29: Zuordnung meteorologische Phänomene zu Schadensmeldungen

meteorol. Phänomen (Indikator)	Beschreibung	Klimasignal
großräumiger Niederschlag (Ng)	großflächiger Niederschlag, größere Flusssysteme reagieren	~ ↗
kleinräumiger Starkniederschlag (Nk)	intensive und kurze Ereignisse, lokale Hochwasser, kleine Einzugsgebiete reagieren	→ ↗
starker Schneefall bei warmen Temperaturen (Ns)	starke Schneefälle, die gut haften und auf Bäumen oder Leitungen kumulieren und hohe Schneelasten bilden	↗
Lawinenabgänge (L)	Neuschneemengen im hochalpinen Bereich, oft in Kombination mit wechselnden Temperaturen und starkem Wind	~
Sturmböe(n), lokal (WI)	kleinräumige Sturmereignisse, meist in Kombination mit Gewitter	↗
Sturmtief (Wa)	großräumige Starkwinde, in Kombination mit großräumigen Tiefdrucksystemen	~ (→)
Schneeverwehungen (Sv)	starker Schneefall oder Verfrachtung nach Schneefall durch Wind bei kalten Temperaturen	↘
Hitzeperiode (Th)	mehrtätige Hitzewelle mit Extremwerten	↗

Zeichenerklärung

- ↗ erwartete Zunahme
- ↘ erwartete Abnahme
- ↗ Trend gleichbleibend bis steigend
- ~ Trend unsicher
- ~ ↗ Trend unsicher, wahrscheinlich eher steigend
- ~ (-) Trend unsicher, wahrscheinlich eher gleichbleibend

Quelle: Felderer et al. 2012: S. 13

9.2. Straßeninfrastruktur

Durch Abnützungserscheinungen, Routenänderungen, Unfälle und Auswirkungen von Extremereignissen muss die Straßeninfrastruktur kontinuierlich gewartet, umgebaut oder wiederhergestellt werden. Das Wetter ist jedoch nur ein Faktor unter vielen, welcher die Höhe der Betriebs- und Wartungskosten bestimmt. Einer der größten Kostenfaktoren der Straßeninstandhaltung stellt der Einsatz von Streugut dar. Dieser ist neben klimatischen Faktoren auch maßgeblich von mikroklimatischen Bedingungen, Streckencharakteristik und Verkehrsaufkommen abhängig (Atanasoff et al. 2011). So können Streukosten auch in einem relativ warmen und niederschlagsarmen Winter hoch sein, denn bei feuchtem Wetter mit Temperaturen um den Gefrierpunkt ist auch sehr viel Streugut auf die Straßen aufzutragen.

Generell sind Autobahnen, im Gegensatz zu Berg- und Höhenstraßen, vielen Naturgefahren nicht so stark ausgesetzt. Durch ihre meist erhöhte und gut abgesicherte Lage sind sie meistens nicht direkt in der Gefahrenzone von Hochwasser und deswegen nicht direkt betroffen. Zudem gibt es nur wenige Abschnitte mit stark alpinem Charakter.

Laut den Experten und der analysierten Literatur ist eine einfache Zurechenbarkeit der Kosten des Klimawandels bei der Straßeninfrastruktur nicht möglich. In diesem Kontext spielen verschiedenste Parameter, die sich in komplexen Zusammenhängen gegenseitig beeinflussen, eine Rolle, sodass quantitative Aussagen nicht als sinnvoll erachtet wurden.

10. Sektorale Auswirkungen: Forstwirtschaft

In die Analysen fließen neben Literaturrecherchen auch Erkenntnisse aus den Gesprächen mit Herrn Prof. Lexer und Herrn Prof. Seidl (beide am Institut für Waldbau der Universität für Bodenkultur ansässig) mit ein.

Die Forstwirtschaft erwirtschaftete im Jahr 2012 einen Produktionswert von etwa 1,6 Mrd. Euro. In Österreich sind circa 4 Mio. ha bzw. 48% der Gesamtfläche bewaldet. Die Fichte stellt mit über 50% die wichtigste Art dar. Danach folgen Buche mit 10%, Kiefer mit 9% und Lärche mit 6,8%.²³ Die heimische Papier- und Sägeindustrie bestimmen größtenteils die Nachfrage nach Holz. Insgesamt nimmt der Waldbestand zu, nicht zuletzt weil die Holzbringung im Vergleich zu den billigeren Importen relativ teuer ist und daher zurzeit relativ wenig Schlag stattfindet.

Die Forstwirtschaft weist einige besondere Spezifika auf, die eine Kostenanalyse auf Basis des Produktionswertes nicht sinnvoll erscheinen lassen. Der Wald hat zahlreiche Funktionen, welche teilweise nur schwer monetär erfasst oder bewertet werden können. Neben der „klassischen“ Holzproduktion, dient der Wald auch als Erholungsgebiet und erfüllt u.a. eine Schutzfunktion vor Naturgefahren und Bodenerosion. In Österreich wird ein Fünftel (755.000 ha) des Waldes primär als Schutzwald gehalten. Über die Hälfte dieser Fläche ist vollkommen ertragslos. Diese Dimension kann von einer Analyse, welche die Erlöse des Baumschlages bewertet, nicht abgedeckt werden. Sollte Schutzwald von Schadereignissen betroffen sein, muss, falls die Schutzfunktion aufrechterhalten werden soll, mit entsprechenden physischen Infrastruktur (z.B. Schutzsystemen mit hartem Verbau) ersetzt werden. Diese wiederum sind mit hohen Kosten verbunden. Der Wald stellt also die bei weitem umweltfreundlichste und kostengünstigste Variante zur Erfüllung der Schutzfunktion dar.

Ein relevantes Problem stellt die inverse Produktionsstatistik dar. Da sich die meisten Schadereignisse aufgrund der Tatsache, dass das betroffene Holz im gleichen Jahr verkauft wird, kurzfristig positiv auf die Bilanz auswirken, kann der zukünftige Produktionswert nicht als repräsentativer Indikator für Klimawandelschäden herangezogen werden. Durch diese Steigerung des Outputs würde ein entgegengesetztes Signal geliefert werden. Ferner haben Produktionshorizonte ausgesprochen lange Vorlaufzeiten und Schadereignisse wirken sich, erst viele Jahrzehnte später negativ auf den Produktionswert aus. Deshalb wäre es sinnvoll, das sehr träge System Wald über längere Zeiträume (~200 Jahre) zu betrachten.

Aus den oben genannten Gründen wurden keine Berechnungen zu zukünftigen Outputentwicklungen, sondern eine qualitative Analyse durchgeführt. Diese fokussiert auf die klimawandelbedingten Auswirkungen und relevante Charakteristika.

²³ http://austria-forum.org/af/AEIOU/Wald,_in_%C3%96sterreich Zugriff am 8.4.2014

Mögliche Effekte

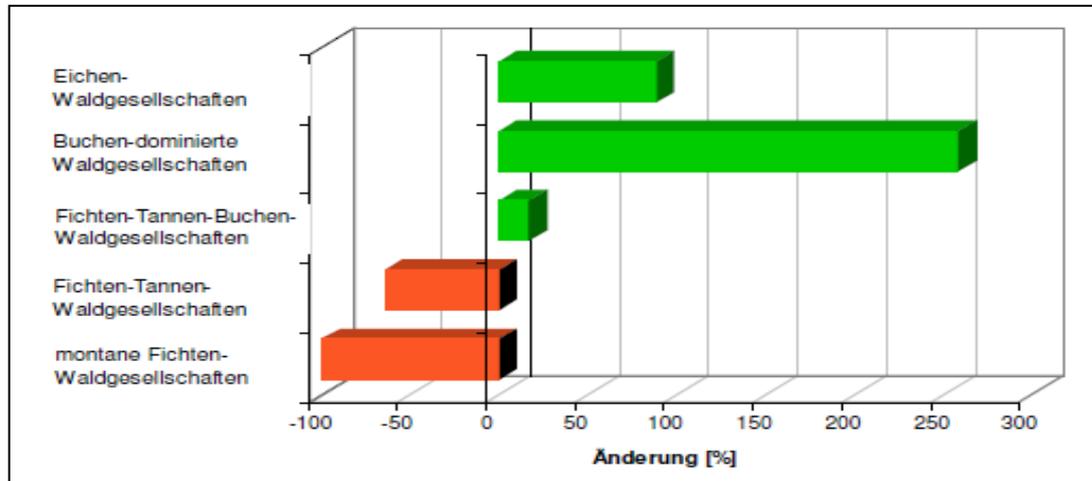
Ähnlich der Landwirtschaft ist auch die Forstwirtschaft durch die ansteigenden Temperaturen, die Verlagerung der Niederschläge und die mögliche Zunahme von Extremereignissen stark betroffen. Einige Folgen werden im Folgenden kurz beschrieben (Lexner und Seidl 2007). Nadelholzkulturen, besonders Fichtenkulturen bekommen zusätzlichen Klimastress. Die erhöhten Temperaturen setzen dieser Art zu. Laubbäume hingegen können von den veränderten klimatischen Bedingungen profitieren. Waldbrände werden ebenso wie der Befall von biotischen Schädlingen zunehmen. So könnten etwa die Schäden durch Borkenkäfer im Worst-Case-Szenario von aktuell 8-12% auf 27% ansteigen. Die Ansprüche an die waldbauliche Entscheidungsfindung werden ansteigen, da das System Wald an sich volatiler und anfälliger werden wird. Daher wird auch die damit im Zusammenhang stehende Unsicherheit zunehmen.

Wie sich die verschiedenen Effekte im Detail auswirken werden ist noch nicht absehbar, klar ist jedoch, dass sich die Waldlandschaft bis 2100 verändern wird. Je nach Bewaldungsszenario gehen bis 2100, die Charakteristika des A1B-Szenarios unterstellt, die Erträge leicht zurück oder steigen sogar an. Des Weiteren ist es möglich, dass durch die Klimaveränderung die Erholungsfunktion beeinträchtigt und die Wasserspeicherfunktion in Mitleidenschaft gezogen wird.

Eine Klimaänderung kann auch Folgen auf die im Wald gespeicherten Kohlenstoffvorräte haben. So könnten etwa durch großflächige Störungen diese Speicher verringert werden. Das würde wiederum ein verstärkendes, negatives Feedback auf die atmosphärische Treibhausgaszusammensetzung haben (Lexner und Seidl 2007: S.12).

Wie Abbildung 30 zeigt, profitieren vor allem Buchen-dominierte Waldgesellschaften und Eichen-Waldgesellschaften vom Klimawandel. Fichten-Tannen-Gesellschaften und besonders montane Fichten-Waldgesellschaften werden unter den veränderten klimatischen Bedingungen an Konkurrenzfähigkeit verlieren.

Abbildung 30: Relative Veränderung wichtiger Waldtypen unter einem Klimaänderungsszenario (+2°C, -15% Sommerniederschlag)



Quelle: Lexer und Seidl 2007: S.5

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bereits eine Zunahme von 2°C und 15% weniger Sommerniederschlag Veränderungen auf 77,8% des Waldes bewirken. Die ökonomischen Schäden hängen stark vom jeweiligen Bewaldungsszenario und dem inländischen und ausländischen Holzmarkt ab.

11. Extreme Wetterereignisse

Naturkatastrophen führen neben der Zerstörung und Veränderung der Landschaft, zur Zerstörung von Pflanzen und Tieren und verursachen erhebliche gesellschaftliche Probleme. Diese liegen neben mentalen und gesundheitlichen Folgen unter anderem auch in den ökonomischen Konsequenzen. Aus volkswirtschaftlicher Perspektive beeinflussen Naturkatastrophen Strom- und Bestandsgrößen. Einerseits wirken sie sich auf das Bruttoinlandsprodukt aus. Waren und Güter werden im Zuge von Naturkatastrophen zerstört, es müssen Dienstleistungen, oft auch unentgeltliche, zur Bewältigung der Katastrophe geleistet werden. Daneben lassen sich Bestandseffekte auf das Produktionspotenzial ausmachen. Mögliche Bestandseffekte betreffen beispielsweise die öffentlichen Infrastrukturen wie Straßen- oder Telekommunikationsinfrastruktur und private Vermögensbestände.

Obwohl die Zunahme von extremen Ereignissen von Stürmen, Hochwasser und Dürren global durch den Klimawandel forciert wird, ist es mit dem derzeitigen Datenstand schwierig, eine Zunahme von Extremereignissen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für Österreich festzustellen. Generell wird im Norden Österreichs mit einer Verschiebung des Hochwasserrisikos in den Winter und Frühling gerechnet (BMLFUW 2012a: S.34). Es können zum aktuellen Zeitpunkt keine weiteren, sicheren Aussagen über zukünftige Veränderungen des Hochwasserrisikos für Österreich getroffen werden (Ibid.). Eine Zunahme der Intensität von Starkniederschlägen ist wahrscheinlich, allerdings sind zu diesem Punkt keine ausreichenden wissenschaftlichen Belege für eine Zunahme der Häufigkeit vorzufinden (Ibid.).

Der Eintritt von Extremereignissen kann zu erheblichen Kosten führen. Das Hochwasser im Jahr 2002 hat volkswirtschaftliche Schäden von 2,9 bis 3 Mrd. Euro in Österreich verursacht (Münchener Rückversicherung 2003: S.20, Url 2008: S.2), wovon 0,4 Mrd. Euro versichert waren (Münchener Rückversicherung 2003: S.20). 40 Prozent der Schadenssumme wurde vom privaten Sektor und ca. 60 Prozent vom österreichischen Staat getragen (Url 2008: S.2). Zur Bewältigung der Schäden und Ausfälle im Zuge der Naturkatastrophe von 2002 stellte der österreichische Bund 500 Mio. Euro und für das Hochwasser von 2005 251 Mio. Euro zur Verfügung (Bundesministerium für Finanzen 2012: S.2). Von der Europäischen Union erhielt Österreich 134 Mio. Euro im Jahr 2002 und 14,8 Mio. Euro im Jahr 2005 (Bundesministerium für Finanzen 2012: S.2). Der versicherte Schaden belief sich beim Hochwasser vom Sommer 2013 auf über 250 Mio. Euro und die volkswirtschaftlichen Schäden werden auf 2013 auf 2,2 Mrd. Euro geschätzt (Vienna Online 2013).

Des Weiteren zählen starke Stürme zu extremen Ereignissen, wobei derzeit noch keine belastbaren Aussagen über eine Zunahme der Häufigkeit von Sturm- und Hagelereignissen in Österreich durch Klimawandeleffekte vorliegen (BMLFUW 2012a: S.32). Lokale,

kleinräumige Sturmböen, welche meist gleichzeitig mit heftigen Gewittern auftreten, weisen aber einen signifikant ansteigenden Trend auf (Felderer et al. 2012: S. 13). Tabelle 5 zeigt die Sturmschäden, die in Österreich in den Jahren 1998 bis 2009 aufgetreten sind. Sturmschäden treten häufig auf und haben in den Jahren 2007, 2008 und 2009 zu Schäden über 100 Mio. Euro geführt (Altenhuber 2011: S.6).

Tabelle 5: Sturmschäden in Mio. Euro

Nr.	Datum	Bezeichnung	Schaden	Nr.	Datum	Bezeichnung	Schaden
1	07.07.1998		2,85	20	18.11.2004		13,93
2	31.07.1998		3,35	21	30.05.2005		2,59
3	04.02.1999	Lara	4,23	22	01.01.2006		7,73
4	01.06.1999		12,83	23	27.06.2006		10,38
5	26.12.1999	Lothar	21,41	24	29.08.2006		0,11
6	17.01.2000		8,41	25	11.01.2007	Franz	4,37
7	04.07.2000		25,57	26	18.01.2007	Kyrill	160,30
8	07.07.2000		3,18	27	28.01.2007	Olli	9,10
9	07.07.2001		5,24	28	20.06.2007		19,59
10	23.06.2002		5,22	29	26.01.2008	Paula	63,31
11	10.07.2002		2,15	30	01.03.2008	Emma	110,65
12	11.08.2002		5,26	31	23.06.2008		13,20
13	27.10.2002	Jeanette	13,66	32	12.07.2008		3,71
14	16.11.2002		9,25	33	14.08.2008		4,45
15	01.01.2003	Calvann	3,83	34	22.08.2008		8,62
16	13.05.2003		2,42	35	26.05.2009	Felix	4,44
17	28.08.2003		3,89	36	16.06.2009		2,84
18	12.01.2004	Gerda/Hanne	3,85	37	06.07.2009		4,67
19	12.08.2004		3,56	38	23.07.2009	Wolfgang	115,30

Quelle: Altenhuber 2011: S.6

Hitze- und Dürreperioden werden aufgrund des Klimawandels in Österreich zunehmen (BMLFUW 2012a: S.33) und können neben direkten, gesundheitlichen Beschwerden auch zu vermehrten Waldbränden, Verlusten in der Landwirtschaft und Störungen in der Energiebereitstellung führen. Hohe Flusswassertemperaturen bringen zudem die Gefahr einer unzureichenden Kühlung der Atomreaktoren mit sich. Im Jahre 2003 führte dies dazu, dass Atommeiler in Deutschland und Frankreich stillgelegt werden mussten.

Generell ist anzumerken, dass die Berichterstattung über Naturkatastrophen und den damit verbundenen Schäden nicht konstant ist. Laut Münchener Rückversicherung werden die Schäden während einer Katastrophe zunächst zu gering eingeschätzt, dann steigen sie an und nach einer gewissen Zeitspanne nach der Katastrophe sinken die Schadensschätzungen wieder (Münchener Rückversicherung 2003: S.28).

12. Zusammenfassung und Synthese

Der Klimawandel hat zahlreiche, signifikante Effekte auf die österreichische Volkswirtschaft. So gut wie alle Sektoren haben mit Veränderungen in verschiedensten Bereichen zu rechnen. Einige negative Effekte des Klimawandels können nicht monetarisiert werden.

Der **Landwirtschaftssektor** ist durch seine hohe Wetterabhängigkeit stark von Klimaveränderungen betroffen. Aufgrund des Klimawandels kommt es zu Verschiebungen in der Anbaustruktur. Bis zur Mitte des Jahrhunderts werden voraussichtlich die positiven, danach die negativen Effekte überwiegen. Durch Anpassungsmaßnahmen können viele Schäden verhindert werden, nichtsdestotrotz nehmen klimawandelbedingte Ertragschwankungen und Ernteauffälle zu. Die Versicherungsbranche gewinnt an Bedeutung, da die Verwundbarkeit insgesamt zunimmt.

Die **Forstwirtschaft** ist von steigenden Temperaturen und veränderten Niederschlagsverhältnissen betroffen: eine Zunahme von 2°C und 15% weniger Sommerniederschlag bewirken eine Veränderung für ca. 77,8% des Waldbestandes. Gleichzeitig nimmt die Waldfläche in Österreich seit Jahren zu. Die natürliche und die forstwirtschaftliche Anpassungsfähigkeit hinken aufgrund der Trägheit des Systems den Veränderungen immer hinterher. Allgemein wird das Gesamtsystem volatiler und die Unsicherheiten nehmen zu. Der Wald dient nicht nur als Produktionsort für Biomasse, sondern erfüllt auch zahlreiche weitere Funktionen. So wird etwa 20% der österreichischen Waldfläche als Schutzwald gehalten. Je nach Bewaldungsszenario gehen die Erträge in Zukunft leicht zurück oder steigen sogar an.

Der **Tourismussektor** ist sehr heterogen vom Klimawandel betroffen. Während der Sommertourismus profitieren wird, trifft die Klimaerwärmung den alpinen Wintertourismus besonders hart. Hier wird es, speziell in Tirol und Salzburg, zu starken Wertschöpfungsverlusten im Zuge der Abnahme des Skitourismus kommen. Der Prozess wird schrittweise von statten gehen, besonders betroffen werden Skigebiete niedriger Lagen sein. Schneesichere Skigebiete können hingegen von der Entwicklung profitieren. Der sonstige Tourismus wird sich auf teilweise neue Landschaftsbilder (Gletscherschmelze, Versteppung) und dadurch induzierte geänderte Präferenzen der Touristen einstellen müssen.

Die **Energie- und Wasserwirtschaft** sind vor allem durch die Stromerzeugung aus Wasserkraft vom Klimawandel betroffen. Zum Ende des Jahrhunderts ist mit einem sinkenden Wasserkraftpotenzial, ohne Anpassung ebenfalls mit einem Rückgang der Stromerzeugung aus Wasserkraft zu rechnen. Die Strommenge muss mit teureren Erzeugungstechnologien bereitgestellt werden. Durch den Temperaturanstieg wird der

Heizbedarf sinken, allerdings steigt der Kühlungsbedarf aufgrund des Klimawandels stark an, was zu höheren Kosten für Haushalte und Unternehmen führt.

Der Sektor **Verkehr & Verkehrsinfrastruktur** zählt zur kritischen Infrastruktur und weist aufgrund seines Netzwerkcharakters ein sehr hohes Schadpotential auf. Durch den Klimawandel werden sowohl kostensenkende als auch kostenerhöhende Effekte induziert. Die genaue Zurechenbarkeit ist in diesem Bereich sehr schwierig.

Hitzewellen, ein vermehrtes Auftreten von Bakterien im Essen, die verstärkte Ausbreitung allergener Pflanzen und Tiere werden sichtbare Effekte auf den **Gesundheitssektor** haben. Einige Bevölkerungsgruppen werden besonders von zunehmenden Hitzewellen betroffen sein wie beispielsweise Senioren und Kinder. Durch die gesundheitliche Belastung in Hitzeperioden kann es zu Produktivitätsverlusten kommen. Da die Klimawandeleffekte wesentlich stärker im Ausland auftreten, ist mit Migrationsströmen zu rechnen und im Zuge dessen kann es zu einer Verbreitung lokal davor nicht vertretener Krankheiten kommen.

Extremwetterereignisse können zu großen ökonomischen und gesellschaftlichen Schäden führen. Allerdings weisen nicht alle einen ansteigenden Trend auf. Während lokale Sturmböen und Hitzewellen zunehmen und Starkniederschläge an Intensität gewinnen, weisen große Sturmtiefs und großflächige Dauerregenereignisse keinen signifikanten Trend auf.

Kumulierte Kostenentwicklung

In dieser Studie wurden nicht alle Bereiche der österreichischen Volkswirtschaft betrachtet, sondern nur jene Sektoren, in denen die Klimawandeleffekte am stärksten auftreten werden. Zudem sind in der Analyse, deren Fokus auf wirtschaftliche Schäden liegt, bestimmte Bereiche nicht berücksichtigt (z.B. Biodiversität, nicht monetäre Dienstleistungen der Natur). Eine Saldierung der klimawandelbedingten Kosteneinsparungen und Kostensteigerungen zeigt, dass die österreichische Volkswirtschaft mit steigenden Kostenbelastungen aufgrund des Klimawandels zu rechnen hat.

Abbildung 31: Kumulierte Kosten der Auswirkungen des Klimawandels in Österreich quantifiziert für bestimmte Sektoren

A1B Szenario	Kumulierte Kosten in 2010 Mio. Euro	
	ohne Diskontrate	mit Diskontrate*
Alpiner Wintertourismus	55.096	31.902
Landwirtschaft (Nettoeffekt)	21.771	8.891
Wasser-und Energiewirtschaft (Nettoeffekt)**	7.076	2.226
Ersparnisse Heiz-und Kühlungsbedarf (Nettoeffekt)**	1.044	755
Gesamte Kosten	84.987	43.775

Quelle: IHS Darstellung und Berechnungen

* Die Diskontierungsrate beträgt ein Prozent. ** Positive als auch negative Effekte wurden berücksichtigt.

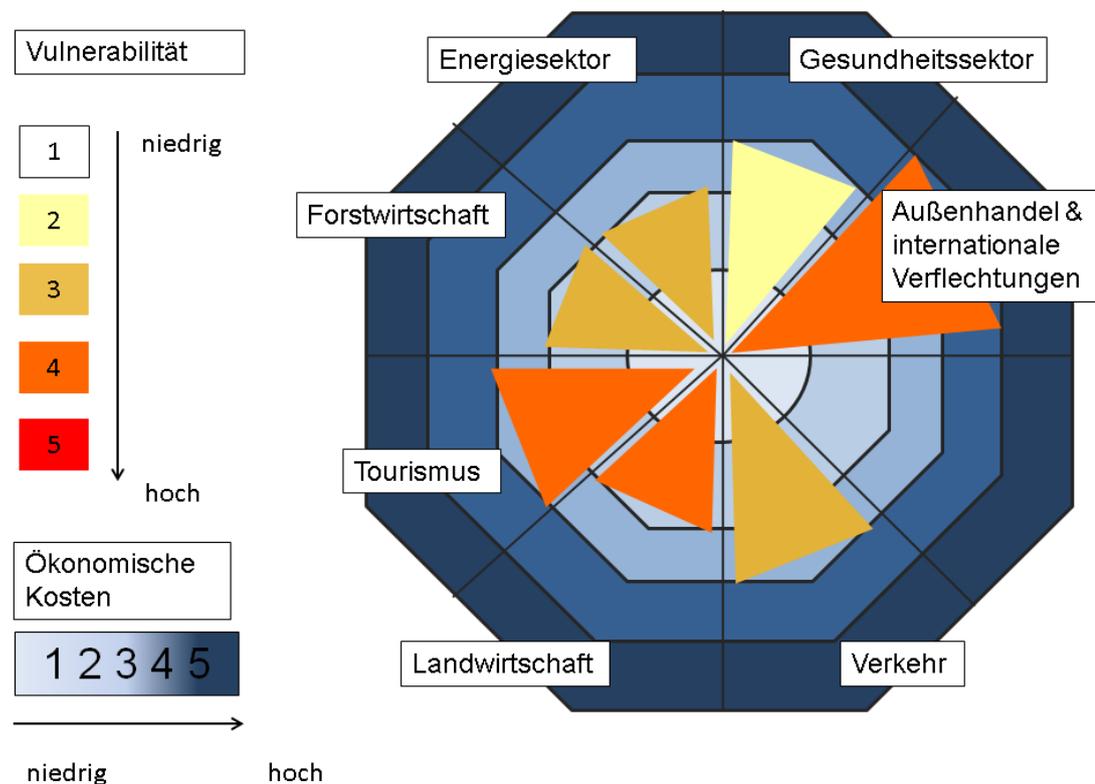
In Abbildung 31 werden die kumulierten Kosten, die auf Basis des moderaten Klimawandelszenarios (A1B) berechnet wurden, jeweils mit einer Diskontierungsrate von null und einem Prozent dargestellt. Der Tourismussektor verzeichnet mit rund 55,1 Mrd. Euro die höchsten Kosten, gefolgt vom Landwirtschaftssektor mit rund 21,8 Mrd. Euro. Insgesamt halbieren sich die kumulierten Kosten bei einer Diskontierung von einem Prozent. Die Diskontierungsrate hat also einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse bei kumulierten Kostenberechnungen über eine größere Zeitspanne. Insgesamt beeinflussen Annahmen zu Kosten- und Preisentwicklungen die Ergebnisse der Abschätzungen maßgeblich.

Synthese der Sektoranalysen bis 2050

Abbildung 32 bzw. Abbildung 33 veranschaulichen den Zusammenhang zwischen Vulnerabilität und der Höhe der erwarteten ökonomischen Kosten einzelner Bereiche im Jahr 2050 bzw. 2100. Dabei beziehen sich die ökonomischen Kosten auf die direkten Effekte, die durch den Klimawandel entstehen. Die Dimension der Vulnerabilität spiegelt die generelle Positionierung des Bereichs gegenüber dem Klimawandel wider und schließt somit neben direkten Effekten auch Anpassungsmöglichkeiten mit ein. Abbildung 32 bzw. Abbildung 33 stellen eine qualitative Einschätzung zur Vulnerabilität gegenüber den klimawandelbedingten Veränderungen und zu den klimawandelbedingten ökonomischen Kosten dar. Die beiden Indikatoren laufen von eins bis fünf, wobei eins eine geringe Betroffenheit bedeutet und in der Dimension der Vulnerabilität einen Sektor bezeichnet, der leicht vulnerable gegenüber Klimaveränderungen ist. Bei den ökonomischen Kosten stellt eins eine geringere Belastung des Sektors dar. Die Zahl fünf steht folglich für eine hohe Vulnerabilität und hohe ökonomische Kosten. Die Skala der ökonomischen Kosten ist durch die achteckige Form dargestellt, wobei sie von innen nach außen zunimmt. Die Höhe der ökonomischen Kosten eines Sektors kann anhand der Größe der Dreiecke abgelesen werden. Die Vulnerabilität eines Sektors ist durch die Farbe des Dreiecks zu erkennen. Der Indikator wurde auf die höchsten Werte skaliert, die in den betrachteten Sektoren vorkommen können. Die höchsten Werte in beiden Dimensionen (Vulnerabilität, ökonomische Kosten) nimmt der Außenhandel und die internationalen Verflechtungen gegen Ende des Jahrhunderts ein. Die Skalierung

der Indikatoren wurde dementsprechend auf diese Werte angepasst. Obwohl die Außenwirtschaft und die internationalen Verflechtungen nicht im Fokus dieser Studie standen, verfestigt sich auf Basis der Literaturanalyse und Expertengespräche die Einschätzung, dass die möglichen Effekte des Bereichs auf die österreichische Volkswirtschaft bedeutend sein können.

Abbildung 32: Zusammenhang zwischen Vulnerabilität und ökonomischen Kosten für einzelne Bereiche für 2050



Quelle: IHS Darstellung

Da die Wasserkraft einen relevanten Anteil an der österreichischen Stromproduktion hat, haben Klimaschwankungen einen signifikanten Einfluss auf das Potenzial der Stromerzeugung. Ebenso beeinflusst die Temperatur neben anderen Faktoren die Energienachfrage für Heiz- und Kühlzwecke, sodass der **Energiesektor** von den Entwicklungen des Klimawandels im mittleren Maße tangiert wird; bis zur Mitte des Jahrhunderts die wirtschaftlichen Kosten eher niedrig sein werden. Die **Forstwirtschaft** ist durchschnittlich vulnerabel, denn obwohl das System Wald sensibel auf Klimaänderungen und Extremereignisse reagiert, verfügen ForstwirtInnen über eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen. Die Forstwirtschaft wird mit leicht steigenden Schäden zu rechnen haben, jedoch hängen Kosten und Nutzen stark vom jeweiligen Bewaldungsszenario und der Entwicklung des nationalen und internationalen Holzmarktes ab. Der Klimawandel ist für den Menschen spürbar, doch durch die Möglichkeit sein Verhalten anzupassen, kann die

Vulnerabilität reduziert werden. Wirtschaftliche Kosten im **Gesundheitssektor** werden vor allem durch eine sinkende Produktivität und direkte medizinische Kosten während der Hitzeperioden entstehen. Allergene Krankheiten und die vermehrte Verbreitung von Bakterien und Vektoren können ebenso die Kosten erhöhen.

Der **Außenhandel** und die **internationalen Verflechtungen** wirken ebenfalls auf die österreichische Volkswirtschaft ein. Diese Effekte wurden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt, werden allerdings als hoch eingeschätzt. Die Effekte des Klimawandels werden im Rest der Welt deutlicher zu spüren sein, u.a. durch erhöhten Wassermangel, Hitze- und Dürreperioden und die Zunahme von Extremereignissen. Diese Entwicklungen werden die Exporte und Importe der österreichischen Volkswirtschaft betreffen, da es zu Einbrüchen in der Exportnachfrage, zu Unterbrechungen in der Lieferkette und von Importen kommen kann. Energielieferungen werden dabei eine besondere Rolle spielen. Eine andere Dimension umfasst die Migration, da menschliche Lebensräume zerstört werden bzw. nicht mehr lebensfähig sein werden. Die Vulnerabilität und die ökonomischen Schäden aus und in diesem Bereich sind bis 2050 als bedeutend einzustufen.

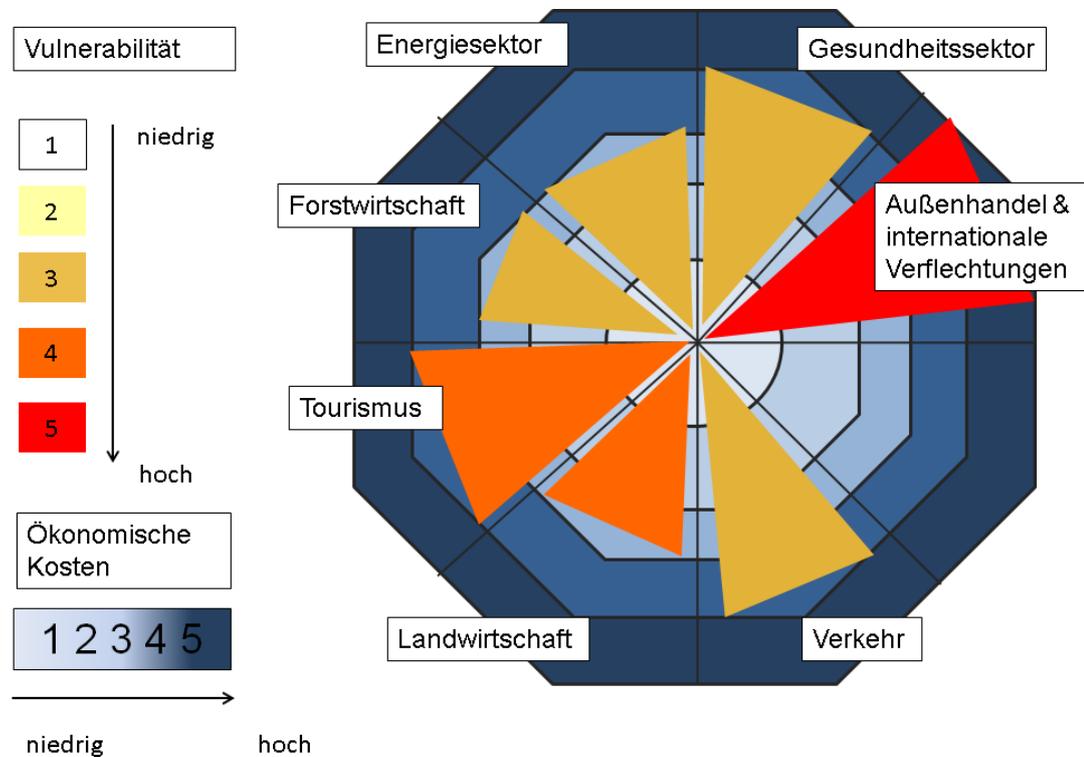
Synthese der Sektoranalysen bis 2100

In Abbildung 33 wird nun der Zusammenhang zwischen Vulnerabilität und Kosten der Sektoren für den Zeitraum 2100 präsentiert. Der Energiesektor sieht sich nun höheren ökonomischen Schäden gegenüber, was einerseits durch den erhöhten Kühlbedarf und andererseits durch das sinkende Wasserkraftpotenzial begründet ist. Die wirtschaftlichen Kosten erhöhen sich im Gesundheitssektor, da alle Effekte (Temperaturerhöhung und Hitzeperioden) gegen Ende des Jahrhunderts zunehmen. Die Individuen können begrenzt ausweichen bzw. Anpassungsmaßnahmen treffen. Bestimmte Effekte wie der Wärmeinseleffekt in einer Stadt werden trotz raumplanerischer Anpassung bestehen bleiben.

Die Vulnerabilität bleibt im **Landwirtschaftssektor** in etwa gleich. Die Landwirtschaft hängt direkt vom Wetter und der Ausbreitung biotischer Schädlinge ab. Wie unsere Analyse gezeigt hat, profitiert die Landwirtschaft vorerst von der Klimaveränderung, jedoch nehmen die Ertragsschwankungen und die Schäden aufgrund von Extremereignissen zu. Ab Mitte des Jahrhunderts dominieren die negativen Effekte mehr und mehr und folglich steigen auch die ökonomischen Kosten stark an.

Die Betroffenheit des **Tourismussektors** ist heterogen. Während durch den Klimawandel mit vielen positiven Effekten besonders in den Sommermonaten zu rechnen ist, ist der alpine Wintertourismus insgesamt deutlich negativ betroffen.

Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Vulnerabilität und ökonomischen Kosten für einzelne Bereiche für 2100



Quelle: IHS Darstellung

Die Vulnerabilität ist daher nur durchschnittlich, jedoch gibt es im Vergleich der Jahre 2050 und 2100 einen signifikanten Anstieg der erwarteten Schäden, da ab Mitte des Jahrhunderts viele Skigebiete unter wirtschaftlichen Druck geraten werden und es zu einem erheblichen Wertschöpfungsrückgang kommt.

Hochwasser, andere extreme Ereignisse, Hitzeperioden und damit verbundene Unfallraten führen im **Verkehrssektor** zu steigenden ökonomischen Kosten bis 2050. Gegen Ende des Jahrhunderts nehmen die Kosten weiter zu, da mit einer Zunahme der Intensität von Starkregenereignissen und einem weiteren Temperaturanstieg zu rechnen ist.

Im Außenhandel und in den internationalen Verflechtungen steigt der Indikator der Vulnerabilität und Kosten auf fünf an. Zwar besteht das Potenzial für Mitigations- und Anpassungsmaßnahmen, die die weltweite Vulnerabilität gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels senken könnte. Allerdings ist selbst bei einer weltweiten ambitionierten Umweltpolitik und Reduktion der jährlichen Treibhausgasemissionen mit einer Erdoberflächenerwärmung um die zwei Grad zu rechnen. Auf Basis der historischen Treibhausgasentwicklungen und der internationalen Politik ist nicht mit einer Einhaltung des 2°Grad – Ziels zu rechnen. Das 2°Grad-Ziel wird von vielen KlimaforscherInnen als Schwellenwert genannt, über dem bestimmte Dynamiken des Klimasystems (z.B.

Erwärmung des Meeres, Schmelzen des arktischen Eises) nicht mehr rückgängig zu machen sind. Die ökonomischen Kosten, die durch den Außenhandel und über die internationalen Verflechtungen für die österreichische Volkswirtschaft generiert werden, sind vom jetzigen Standpunkt aus als hoch einzuschätzen. Extremereignisse können zu Unterbrechungen der Energielieferungen führen. Die größten Volkswirtschaften (USA, Japan, BRIC-Länder) werden maßgeblich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein und somit auch die österreichische Volkswirtschaft beeinflussen.

Die Berechnungen und Analysen dieser Studie stützen sich unter anderem auf das moderate A1B-Szenario. Dieses Szenario wurde unter anderen ins Zentrum dieser Studie gestellt, da die meisten naturwissenschaftlichen, technischen Untersuchungen, die als Ausgangsbasis dieser Studie dienen darauf basieren. Zudem stellt es eine realistisch-mögliche Entwicklung der Zukunft dar. Es gilt jedoch zu beachten, dass dieses Szenario einen erheblicher Aufwand an Mitigationsmaßnahmen unterstellt, damit der Anstieg der Treibhausgasemissionen auf höchstens 61Gt CO₂-Äquivalent pro Jahr gegen Ende des Jahrhunderts limitiert werden kann (IPCC 2007c): S.44, S.58). Durch adäquate Anpassungsmaßnahmen können die Schäden, die durch den Klimawandel in Österreich entstehen, reduziert werden. Die Analyse von möglichen Anpassungs- und notwendigen Mitigationsmaßnahmen ist jedoch nicht Gegenstand dieser Studie, da sie jeweils einen eigenen, umfangreichen Forschungsgegenstand darstellt, der gesondert behandelt werden sollte.

13. Befragte Experten

- Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Josef Eitzinger, Leiter Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
- Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Manfred J. Lexer, Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur
- Dipl. Ing. Christian Mlinar, Fachbereich Technik, Innovation und Umwelt, Teamleiter Umwelt- und Verfahrensmanagement, Klimaschutzbeauftragter, ASFINAG Bau Management GmbH
- O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans-Peter Nachtnebel Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau, Universität für Bodenkultur
- Assist. Prof. DI Dr. Rupert Seidl, Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur
- Dr. Hanns Moshhammer, Institut für Umwelthygiene, Medizinische Universität Wien
- Mag. Thomas Schuh MSc, Geschäftsbereichsleitung, Nachhaltigkeitskoordinator ÖBB-Infrastruktur AG
- Dr. Mario Winkler, Leitung Kommunikation, Die Österreichische Hagelversicherung

Die in der Studie dargestellten Fakten stellen nicht direkt oder nur zum Teil die Aussagen der Experten da, vielmehr floss die Expertise der Befragten in die Analyse und dem methodischen Vorgehen mit ein.

14. Literaturverzeichnis

- Altenhuber, C. (2011): Sturmschaden Österreich: Modellierung des Jahresschadenbedarfes mithilfe einer Nachbarschaftsrelationsmethode, Karl-Franzens-Universität Graz, Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Wissenschaftlicher Bericht Nr. 44-2011.
- Aquaprox (Hrsg.) (2007): Kühlwasserbehandlung, Springer-Verlag Deutschland.
- Arbesser, M.; Grohall, G.; Helmenstein, C.; Kleissner, A. (2010): Die ökonomische Bedeutung des alpinen Wintersports in Österreich. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ). SportsEconAustria, Institut für Sportökonomie. Wien.
- Astelbauer-Unger, K.; Baumgartner, C.; Hrbek, R.; Plattner, G.: (2011) Alpiner Wintertourismus und Klimawandel. Naturfreunde Österreich. Wien.
- Atanasoff, K.; Bergthaler, W.; Klenner, M.F.; Kühnert, Lindner, B.; Stundner, W.; Wolf, C. (2011): Leitfaden Versickerung chloridbelasteter Straßenwässer. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien.
- Austria-Forum (2014): Landwirtschaft, In: <http://austria-forum.org/af/AEIOU/Landwirtschaft> [Zugriff am 19.02.2014].
- Baumann, M. und Lang, B. (2013): Entwicklung energiewirtschaftlicher Inputdaten und Szenarien für das Klimaschutzgesetz und zur Erfüllung der österreichischen Berichtspflichten des EU Monitoring Mechanismus 2013, Österreichische Energieagentur im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Wien.
- Blöschl, G.; Schöner, W.; Kroiß, H; Blaschke, A.P.; Böhm, R.; Haslinger, K.; Kreuzinger, N.; Merz, R.; Parajka, J.; Salinas, J. L.; Viglione, A. (2010): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Ziele und Schlussfolgerungen der Studie für Bund und Länder, Teil der Studie Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft, im Auftrag des BMLFUW und der Länder. ZAMG, TU-Wien. Wien.
- BMLFUW (2012a): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 1 – Kontext. Wien.
- BMLFUW (2012b): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel Teil 2 – AKTIONSPLAN. Wien.

BMLFUW (2013) Entwicklung Biologische Landwirtschaft, In: http://www.bmlfuw.gv.at/land/bio-lw/zahlen-fakten/Bio_Produktion.html [Zugriff am 19.02.2014].

Buchholz, W., Paqu , K.-H., Rauscher, M., Schumacher, J. (2009): Die Wahl der Diskontrate bei der Bewertung von Kosten und Nutzen der Klimapolitik, in Diskurs Klimapolitik Jahrbuch ökologischer Ökonomie 6, Metropolis Verlag für Ökonomie, Gesellschaft und Politik, Marburg.

Bundesministerium für Finanzen (2012): Der Katastrophenfonds in Österreich.

CEDR (2012): Adaptation to climate change. Conference of European Directors of Roads. Oslo.

Die  sterreichische Hagelversicherung (2006): Der Klimawandel und seine Folgen, In: <http://www.hagel.at/site/index.cfm?objectid=8FFA7453-F59E-9797-7AC150F5EEA02FCC&refid=4556C282-3005-96D1-4E851A9662DBDC85> [Zugriff am 19.02.2014].

E-Control (2013a): Jährliche Bilanz elektrischer Energie. Entwicklung von Verwendung und Aufbringung in tabellarischer und grafischer Darstellung, In: <http://www.e-control.at/de/statistik/strom/betriebsstatistik/jahresreihen> [Zugriff: 11.11.2013].

E-Control (2013b): Jährliche Erzeugung elektrischer Energie Entwicklung der inländischen Erzeugung, In: <http://www.e-control.at/de/statistik/strom/betriebsstatistik/jahresreihen> [Zugriff: 15.11.2013].

Eitzinger, J. (2007): Einfluss des Klimawandels auf die Produktionsrisiken in der  sterreichischen Landwirtschaft und mögliche Anpassungsstrategien. Erschienen in der Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Jahrgang 2007 *Ländlicher Raum*. Universität für Bodenkultur. Wien.

Ennemoser, K. (2009): Chancen für den Wintertourismus. WKO Fachverband Hotellerie.

Essl, F.; Rabitsch, W. (2013): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. Präsentation. Umweltbundesamt. Wien.

Felderer, A.; Formayer, H.; Koblinger, S.; Prutsch, A. (2012): Anpassungsmaßnahmen der ÖBB-Infrastruktur an den Klimawandel (KLIWA). Endbericht. Umweltbundesamt.

Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie. Im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur AG. Wien.

Fleischhacker, V.; Formayer, H.; Gerersdorfer, T.; Prutsch, A.; Aigner, M.; Gamper, T.; Jelinek, R.; Lund-Durlacher, D.; Mayer, T.; Reitterer, M.; Steiger, R.; Tscharf, H.; Wallergraber, M.; Prutsch, A. (2012): Klimawandel und Tourismus in Österreich 2030. Institut für touristische Raumplanung. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Meteorologie und Zentrum für Globalen Wandel und Nachhaltigkeit. Studie im Auftrag vom Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ). Wien

Formayer, H.; Clementschitsch, L.; Hofstätter, M.; Kromp-Kolb, H. (2009): Vor Sicht Klimawandel in Österreich, regional betrachtet. BOKU-Met Report 16. Institut für Meteorologie (BOKU-Met), Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt, Universität für Bodenkultur. Endbericht im Auftrag von Global 2000 Österreich, Universität für Bodenkultur. Wien.

Formayer, H.; Frischauf, C. (2004): Extremereignisse und Klimawandel in Österreich aus der Sicht der Forschung. Institut für Meteorologie der BOKU Wien. Im Auftrag des WWF Österreich. Wien.

Forsberg, B.; Orru, H.; Åström, C.; Berencsi, G.; Zurbier, M.; van den Hazel, P. (2009): Deliverable D8: Report on capacity and impact assessment, Climate-TRAP.

Hanusch, H. (2011): Nutzen-Kosten-Analyse, Verlag Franz Vahlen München, München.

Hoffmann, E.; Rotter, M.; Welp, M. (2009): Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels – Verkehrsinfrastruktur. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). Berlin.

International Energy Agency (2011): World Energy Outlook 2011.

International Energy Agency (2013a): World Energy Outlook 2013.

International Energy Agency (2013b): World Energy Outlook 2013, Präsentation vom 12. November 2013. London.

IPCC (2000): Emissions Scenarios, Nakicenovic, N. and Swart, R. (Eds.), Cambridge University Press. UK.

- IPCC (2007a): Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2007b): Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2007c): Climate Change 2007. Synthesis Report, Contribution to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2012): Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.
- IPCC (2013): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, IPCC WGII AR 5 Summary for Policymakers.
- Kemfert, C. (2007a): Die Kosten des Klimawandels. Der Mensch heizt die Erde auf – was muss er dafür bezahlen?, *Internationale Politik* 2, Februar 2007, S. 38-45.
- Kemfert, C (2007b): Die ökonomischen Folgen des Klimawandels. In: *Aus Politik und Zeitgeschichte*, 47, 14-19.
- Kranzl, L.; Haas, R.; Kalt, G.; Müller, A.; Nakicenovic, N.; Redl, C., Formayer, H., Haas, P.; Lexer, M.-J.; Seidl, R.; Schörghuber, S.; Nachtnebel, H.-P.; Stanzel, P. (2010): Energie der Zukunft. Endbericht. KlimAdapt. Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel, im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Wien.
- Kromp-Kolb, H. (Projektleitung) (2006): Klimawandel und Gesundheit. Endbericht, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, des Bundesministeriums für Gesundheit und Frauen, des

Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Kultur, der Österreichischen Nationalbank, der Österreichischen Hagelversicherung, des Umweltbundesamts, der Verbund AHP, Wien.

Landesstatistik Tirol (2013): Der Tourismus im Winter 2012/2013. Amt der Tiroler Landesregierung. Sachgebiet Landesstatistik und *tiris*. Landesstatistik Tirol. Innsbruck.

Lexner, M.J.; Seidl, R. (2007): Der österreichische Wald im Klimawandel – Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung. Erschienen in der Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Jahrgang 2007 *Ländlicher Raum*. Universität für Bodenkultur. Wien.

Matulla, C. (2009): Das Klima der nächsten 100 Jahre. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Wien.

Memmer, G. (2012): Studie Erfolgsfaktoren für den Tourismus in den österreichischen Seenregionen. Kohl & Partner Tourismusberatung GesmbH. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend. Villach.

Münchener Rückversicherung (2003): Topics. Jahresüberblick Naturkatastrophen 2002, 10.Jahrgang.

Nachtnebel, H.P.; Stanzel, P.; Herrnegger, M. (2013): Power through Resilience of Energy Systems: Energy Crises, Trends and Climate Change (PRESENCE), ACRP - Austrian Climate Research Program, Draft March 2013.

Neunteufel, R.; Richard, L.; Perfler, R.; Tuschel, S.; Böhm, K.; Haas, E. (2012): Wasserverbrauch und Wasserbedarf. Auswertung empirischer Daten zum Wasserverbrauch, Hg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

Niedermair, M.; Lexner, M.J.; Plattner, G.; Formayer, H.; Seidl, R. (2008): Klimawandel & Artenvielfalt. Wie klimafit sind Österreichs Wälder, Flüsse und Alpenlandschaften? Österreichische Bundesforste. Wien.

Österreich Werbung (2014): T-MONA Basisinfo Familienurlauber in Österreich. Auswertungszeitraum Winter 2013/14. Wien.

Schöner, W.; Böhm, R.; Haslinger, K.; Blöschl, G.; Merz, R.; Blaschke, A.P.; Viglione, A.; Parajka, J.; Kroiß, H.; Kreuzinger, N. (2011): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft, Studie von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und der Technischen Universität Wien im Auftrag von Bund und Ländern,

Hg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.

Stanzel, P. und Nachtnebel, H.P. (2010): Wasserkrafterzeugung bei Klimaveränderungen, In: Zukunft denken 1909-2010: Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserwirtschaft in Österreich, Präsentation der aktuellen Studien, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband. Wien.

Stern, N. (2008): The economics of climate change. In: American Economic Review, 98, 1-37.

Statistik Austria (2012): Energiebilanzen Österreich 1970-2011.

Statistik Austria (2013a): Heizungen 2003 bis 2012 nach Bundesländern, verwendetem Energieträger und Art der Heizung.

Statistik Austria (2013b): Landwirtschaftliche Gesamtrechnung: http://www.statistik.gv.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/gesamtrechnung/andwirtschaftliche_gesamtrechnung/index.htm [Zugriff 7.2.2014].

Statistik Austria (2013c): Neue Höchstwerte in der Wintersaison 2012/13: 65,6 Mio. Nächtigungen, knapp 17 Mio. Gäste; In: http://www.statistik.at/web_de/dynamic/statistiken/tourismus/071118 [Zugriff 7.2.2014].

Statistik Austria (2014a): Bevölkerung zum Jahresdurchschnitt 1952 bis 2075.

Statistik Austria (2014b): Statistik-Satellitenkonto – Wertschöpfung: http://statistik.gv.at/web_de/statistiken/tourismus/tourismus-satellitenkonto/wertschoepfung/index.html [Zugriff 7.2.2014].

Statistik Austria (2014c): Statistiken. Tourismus, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/tourismus/index.html [Zugriff 7.2.2014].

Statistik Burgenland (2014): Tourismus Jahr 2013. Amt der Burgenländischen Landesregierung. Landesamtsdirektion – Stabsstelle Europabüro und Statistik. Statistik Burgenland. Eisenstadt.

Steininger, K.; Formayer, H.; Habsburg-Lothringen, C.; Pretenthaler, F.; Tobin, A.; Töglhofer, C. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Niederösterreich Endbericht, Wegener Center for Climate and Global Change, University of Graz.

Url, T. (2008) Wahrscheinlichkeits-Überschreitungskurven für Hochwasserkatastrophen in Österreich, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, In: http://www.wifo.ac.at/wwa/jsp/index.jsp?fid=23923&id=34140&typeid=8&display_mode=2 [Zugriff: 15.03.2014].

Verbund (2013): Nachhaltigkeitsbericht 2012 Lebenswert. Wir wirtschaften nachhaltig – für Menschen, Gesellschaft und Umwelt.

Vienna Online (2013): Hochwasser in Österreich 2013 kostet heimische Versicherer 250 Mio. Euro, Artikel vom 16.7.2013, In: <http://www.vienna.at/hochwasser-in-oesterreich-2013-kostet-heimische-versicherer-250-mio-euro/3641103> [Zugriff: 11.3.2014].

Wien Energie (2013): Grüne Wärme Fernwärme, In: <http://www.wienenergie.at/eportal/ep/channelView.do/pageTypeld/11893/channelld/-45271> [Zugriff_ 27.03.2014].

WKO (2013): Tourismus und Freizeitwirtschaft in Zahlen. Österreichische und internationale Tourismus- und Wirtschaftsdaten. Wien.

15. Annex

Genauere Ergebnisse und Berechnungen im Wasser- und Energiesektor

Tabelle 6: Kumulierte Kosten ohne und mit Diskontierungsrate von 1% durch Verluste der Stromproduktion aus Wasserkraft

Berechnungsgrundlage	Szenario	Kumulierte Kosten in 2010 Mio. Euro
Variante 1	MODERATE ohne Diskont	-11.536
	MODERATE mit Diskont	-4.197
Variante 4	MODERATE ohne Diskont	-7.076
	MODERATE mit Diskont	-2.226
Variante 1	INTENSIV ohne Diskont	-6.970
	INTENSIV mit Diskont	-2.769
Variante 4	INTENSIV ohne Diskont	-4.312
	INTENSIV mit Diskont	-1.643

Quelle: IHS Berechnungen, Baumann & Lang 2013, IEA 2013, Stanzel & Nachtnebel 2010, Kranzl et.al. 2010

In Tabelle 7 werden die Annahmen und Berechnungen zum Energiebedarf für Heizen und Warmwasser dargestellt.

Tabelle 7: Kostenersparnis durch sinkenden Heizbedarf

Auswirkungen auf den Heizbedarf											
	Einheit	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Energiebedarf A1B	GWh	0	-1.000	-4.000	-6.000	-6.000	-7.345	-8.790	-10.185	-14.794	-18.856
Energiebedarf A2	GWh	0	-1.000	-500	-6.000	-6.000	-7.195	-8.467	-9.700	-14.293	-18.350
Gaspreis A1B	Euro/ MWh	14	19	22	24	25	29	34	39	46	53
Gaspreis A2	Euro/ MWh	14	18	21	22	24	28	33	38	44	51
Kostenersparnis											
A1B	Mio. Euro	0	19	87	143	152	216	299	402	676	997
A2	Mio. Euro	0	18	10	133	146	203	277	367	627	934

Quelle: Eigene Berechnungen, Kranzl et.al. (2010: S.99,108).

Der Energiebedarf, der für Kühlung aufgrund der Klimaveränderungen entsteht, wird in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Kosten durch zusätzlichen Kühlungsbedarf

Auswirkungen auf den Kühlungsbedarf										
	Einheit	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Energiebedarf A1B	GWh	500	1.500	2.000	4.750	5.275	5.622	5.744	5.806	5.869
Energiebedarf A2	GWh	1.000	2.000	4.750	9.300	11.260	12.436	13.212	13.486	13.766
Strompreis A1B	Euro/ MWh	63	63	67	67	71	74	78	82	86
Strompreis A2	Euro/ MWh	58	54	57	57	59	60	62	64	66
Kosten in 2010 Mio. Euro										
A1B	Mio. Euro	32	95	135	320	373	417	448	475	503
A2	Mio. Euro	58	109	273	530	660	750	820	861	904

Quelle: Eigene Berechnungen, Kranzl et.al. (2010: S.101,102,108)

Autoren: Severin Grussmann, Julia Janke, Andreas Schibany

Titel: Die wirtschaftlichen Kosten des Klimawandels in Österreich

Projektbericht/Research Report

© 2013 Institute for Advanced Studies (IHS),
Stumpergasse 56, A-1060 Vienna • ☎ +43 1 59991-0 • Fax +43 1 59991-555 • <http://www.ihs.ac.at>
