

Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Klimaerwärmung in Oberösterreich und Österreich

Mag. Robert Tichler
o.Univ.-Prof. Dr. Friedrich Schneider
DI (FH) Johannes Lindorfer

Oktober 2007

Robert Tichler, Johannes Lindorfer sind wissenschaftliche Assistenten am Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz.

Altenberger Straße 69, 4040 Linz

E-mail: tichler@energieinstitut-linz.at

Internet: www.energieinstitut-linz.at

Friedrich Schneider ist ordentlicher Universitätsprofessor am Institut für Volkswirtschaftslehre sowie Leiter der Abteilung Energiewirtschaft am Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz.

Altenberger Straße 69, 4040 Linz

E-mail: friedrich.schneider@jku.at

Vorwort

Der menschlich verursachte Klimawandel nimmt immer größere Ausmaße an. Die wesentlichen Auswirkungen des Klimawandels sind der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur und des Meeresspiegels sowie die Zunahme extremer Wetterereignisse und Naturkatastrophen, welche enorme volkswirtschaftliche Schäden verursachen. Die Emissionen von Treibhausgasen und damit auch die Treibhausgaskonzentrationen sind in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen sind Industriestaaten mit hohem Pro-Kopf-Energieverbrauch und Emissionen wie die USA, Europa, Japan. Inzwischen hat das energieintensive Wachstum Chinas dazu geführt, dass dieses Land schon heute Platz 2 der weltweiten CO₂-Emissionen einnimmt. Es ist abzusehen, dass der vom Menschen verursachte Klimawandel langfristige, irreversible Schäden verursachen wird, die die natürlichen Lebensgrundlagen gefährden.

Die Anzahl und Stärke extremer Naturkatastrophen, wie durch extreme Regenfälle verursachte Überschwemmungen, Hitzewellen und Stürme mit steigenden Intensitäten, nehmen immer weiter zu. Manche Regionen in der Welt werden und sind schon heute stärker von dem Klimawandel betroffen als andere. In den Regionen Nordamerikas sind vermehrt Stürme und Tornados mit extremen Windintensitäten zu erwarten, wohingegen in Asien Überschwemmungen wahrscheinlicher sind. In Europa wiederum ist in Zukunft neben extremen Hitze-Ereignissen und Überflutungen aufgrund extremer Niederschläge oder eines Meeresspiegelanstiegs auch mit starken Stürmen wie Tornados und Hurrikane zu rechnen.

Schon heute zeigt sich ein starker Anstieg der volkswirtschaftlichen Schäden, welcher in Teilen allerdings auch auf ein Bevölkerungswachstum und ein Anstieg der volkswirtschaftlichen Wohlfahrt zurückgeht. Das „Jahrtausendhochwasser“ hat in Österreich, Tschechien vor allem Deutschland wirtschaftliche Schäden hervorgerufen. Die durch die Hitzewelle im Jahr 2003 verursachten Wirtschaftsschäden umfassten Gesundheitsschäden durch erhöhte Krankheitsgefahren, Ernteauffälle, Störungen in der Energiebereitstellung und ein Anstieg der Waldbrände. Insgesamt sind für das Jahr 2003 Schäden der Hitzewelle in Höhe von 10 bis 17 Mrd. Euro für Europa geschätzt worden.

Versicherungsunternehmen bewerten zumeist die direkt versicherten Schäden. In wenig versicherten Gebieten, wie in armen Ländern und Regionen in der Welt, werden die wirtschaftlichen Schäden jedoch durch eine solche Bemessung unterbewertet. Zusätzlich zu den direkt messbaren Schäden müssen darum die Schäden der Infrastruktur, Krankheit durch das Ausbrechen von Seuchen, Todesfälle, Schäden der Landwirtschaft (bei Überflutungen) und Ökologie berücksichtigt werden. Diese Schäden sind vom Staat

aufzuwenden, es sind Ausgaben, die an anderer Stelle der Volkswirtschaft fehlen (sogenannter Crowding out Effekt). Allerdings können auch Branchen profitieren. Werden durch extreme Klimaereignisse Gebäude in Infrastrukturen beschädigt oder ganz zerstört, können Branchen, die mit dem Wiederaufbau beschäftigt sind, positive Wachstumseffekte zuzielen. Zudem können alle Sektoren profitieren, welche umweltfreundliche Technologien produzieren und anbieten und für eine nachhaltige Mobilität sorgen.

Der für sehr viel Aufmerksamkeit sorgende Bericht der britischen Regierung unter der Schirmherrschaft von Sir Nicolas Stern (Stern 2006) untersucht ebenfalls die möglichen volkswirtschaftlichen Effekte des Klimawandels. Er kommt zu dem Schluss, dass der Klimawandel erhebliche volkswirtschaftliche Kosten verursachen wird, in der Höhe von bis zu 20 % des Bruttosozialprodukts bis zum Jahre 2100. Damit kann der Klimawandel die weltweiten Volkswirtschaften in eine Rezession führen.

Der vorliegende Bericht „Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Klimaerwärmung in Oberösterreich und Österreich“ quantifiziert die volkswirtschaftlichen Schäden, die durch einen Klimawandel in Österreich hervorgerufen werden. Österreich wird aufgrund seiner geologischen Lage in erster Linie durch eine vermehrte Anzahl von wärmeren und heißen Tagen, sowie einer Zunahme von extremen Niederschlägen betroffen sein. Die Studie nutzt Informationen über bereits erforschte Klimaänderungen in Österreich und leitet daraus die möglichen Folgewirkungen für die Österreichische Wirtschaft ab. In den kommenden 25 Jahren werden somit erhebliche Auswirkungen auf einen wichtigen Wirtschaftsbereich in Österreich, der Tourismuswirtschaft, auftreten. Somit müssen sich einige Wirtschaftsbereiche auf eben diese Änderungen einstellen. Der hier unterstellte Klimawandel wird gerade in dem Untersuchungszeitraum bis 2050 kaum aufzuhalten sein. Die Studie trägt somit dazu bei, dass die politischen Entscheidungsträger zwei Dinge tun müssen: 1. verhindern, dass es eine deutliche Klimaerwärmung geben wird und somit darauf hinwirken, dass die globalen Emissionen auf dem Niveau eingefroren werden und 2. sich an den Klimawandel anpassen, um noch drastischere ökonomische Folgewirkungen zu vermeiden.

Prof. Dr. Claudia Kemfert

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

Inhalt

1	Einleitung.....	6
2	Ausprägungen des Klimawandels	7
2.1	Der anthropogene Klimawandel	7
2.2	Klimaprognosen für Oberösterreich.....	11
2.2.1	Relevanz der Klimaveränderungen für diese Studie	12
2.2.2	Entwicklung der Temperaturen	13
2.2.3	Entwicklung der Niederschläge	14
2.2.4	Entwicklung der Hitze- und Frostperioden.....	15
3	Differenzierte ökonomische Auswirkungen des Klimawandels	18
3.1	Auswirkungen des Klimawandels auf Wetterextreme.....	19
3.2	Auswirkungen von Temperaturänderungen im Sommer	23
3.3	Auswirkungen von Temperaturänderungen im Winter	26
3.4	Auswirkungen von Niederschlagsänderungen	27
4	Gesamtwirtschaftliche Analyse der Effekte auf die oberösterreichische Volkswirtschaft	29
4.1	Simulation mit prognostizierter Klimaerwärmung (Szenario 1).....	30
4.1.1	Kalkulation der volkswirtschaftlichen Veränderungen von 2026 bis 2050 für Oberösterreich.....	38
4.2	Simulation mit abgeschwächter Klimaerwärmung (Szenario 2)	40
4.2.1	Kalkulation der volkswirtschaftlichen Veränderungen von 2026 bis 2050 für Oberösterreich bei einer abgeschwächten Klimaerwärmung.....	48
5	Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Volkswirtschaft	49
6	Zusammenfassung	52
6.1	Übersicht zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die oberösterreichische Volkswirtschaft (Simulationsergebnisse)	54
6.2	Übersicht zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Volkswirtschaft (berechnete Ergebnisse)	57
6.3	Schlussfolgerung	60
7	Literatur	61
8	Beschreibung des Simulationsmodells MOVE	64
9	Appendix.....	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Global Warming Potential für eine Zeitperiode von 100 Jahren.....	9
Tabelle 4-1: Sektorale Veränderungen aufgrund des Klimawandels in den Jahren 2007 bis 2025 ..	32
Tabelle 4-2: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen des Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (mit zusätzlichen Hochwasserereignissen)	33
Tabelle 4-3: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen des Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (ohne zusätzliche Hochwasserereignisse)	36
Tabelle 4-4: Kalkulation der volkswirtschaftlichen Veränderungen in Oberösterreich (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) bis zum Jahr 2050.....	39
Tabelle 4-5: Sektorale Belastung aufgrund des (abgeschwächten) Klimawandels in den Jahren 2007 bis 2025	42
Tabelle 4-6: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen eines abgeschwächten Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (mit zusätzlichen Hochwasserereignissen).....	43
Tabelle 4-7: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen eines abgeschwächten Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (ohne zusätzliche Hochwasserereignisse).....	46
Tabelle 4-8: Kalkulation der volkswirtschaftlichen Veränderungen in Oberösterreich in Szenario 2 (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) bis zum Jahr 2050.....	48
Tabelle 5-1: Übersicht zu den Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die österreichische Volkswirtschaft in Szenario 1.....	50
Tabelle 5-2: Übersicht zu den Auswirkungen der abgeschwächten Klimaerwärmung auf die österreichische Volkswirtschaft in Szenario 2	51
Tabelle 6-1: Auswirkungen des Klimawandels auf das oberösterreichische Bruttoregionalprodukt und auf das österreichische Bruttoinlandsprodukt	59
Tabelle 9-1: Veränderungen der Temperaturen in Szenario 1	70
Tabelle 9-2: Veränderungen der Temperaturen in Szenario 2.....	71
Tabelle 9-3: Veränderungen der Niederschläge in Szenario 1	72
Tabelle 9-4: Veränderungen der Niederschläge in Szenario 2	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen des Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (mit zusätzlichen Hochwasserereignissen).....	34
Abbildung 4-2: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen des Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (ohne zusätzliche Hochwasserereignisse).....	37
Abbildung 4-3: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen eines abgeschwächten Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (mit zusätzlichen Hochwasserereignissen).....	44
Abbildung 4-4: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen eines abgeschwächten Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (ohne zusätzliche Hochwasserereignisse).....	47

1 Einleitung

Die vorliegende Studie *Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Klimaerwärmung in Oberösterreich und Österreich* setzt sich das Ziel, einen wissenschaftlichen Beitrag zur Diskussion der Auswirkungen der Klimaerwärmung zu leisten und erstmals für Österreich bzw. für ein österreichisches Bundesland konkrete volkswirtschaftliche Effekte der Klimaveränderung zu liefern.

Mittels eines am Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz erstellten Simulationsmodells wird untersucht, in welchem Ausmaß die monetär bewertbaren Auswirkungen der Klimaerwärmung die heimische Volkswirtschaft beeinflussen. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) analysierte bereits in einem alternativen Bewertungsverfahren die Effekte der Klimaerwärmung auf die deutsche Volkswirtschaft bis zum Jahr 2050.¹ Diese Studie soll diese Fragestellung für die (ober-)österreichische Ökonomie beantworten.

Die Studie basiert auf dem modernen wissenschaftlichen *common-sense* der Existenz eines anthropogen (mit-)verursachten Klimawandels, dessen Existenz in dieser Studie nicht in Frage gestellt wird. Zu den Berechnungen der volkswirtschaftlichen Folgeerscheinungen werden aktuelle meteorologische Prognosen herangezogen, die für Österreich und Oberösterreich einer Regionalisierung unterzogen werden. Dies erlaubt zum einen die deskriptive Analyse einzelner Schadenskosten aufgrund von klimatischen Veränderungen und darauf aufbauend zum anderen auch die simultane Bewertung der Auswirkungen dieser Schadensfälle auf die oberösterreichische und auf die österreichische Volkswirtschaft.

In Kapitel 2 erfolgt zu Beginn ein kurzer Überblick zur Thematik des anthropogenen Klimawandels, bevor die regionale klimatischen Veränderungen für die heimische Region erläutert wird. In Kapitel 3 werden anschließend die differenzierten ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels deskriptiv analysiert. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Modellsimulation für die oberösterreichische Volkswirtschaft präsentiert. In Kapitel 5 erfolgt eine Hochrechnung dieser Ergebnisse für die österreichische Volkswirtschaft. Anschließend wird in Kapitel 6 eine Zusammenfassung der Studie präsentiert. Am Ende der Studie wird in Kapitel 8 ein Überblick zum Simulationsmodell MOVE gegeben, das für diese Studie zur Simulation der einzelnen Szenarien herangezogen wird.

¹ Vgl. Kemfert (2007); Kemfert (2007a).

2 Ausprägungen des Klimawandels

2.1 Der anthropogene Klimawandel

Das Klima ist ein entscheidender Einflussfaktor auf die belebte Natur und damit auch auf die Lebensbedingungen des Menschen. Die Diskussion betreffend einer einschneidenden und nachhaltigen Klimaveränderung hat mittlerweile eine breite Öffentlichkeit erreicht und ist durch aktuelle Wetterphänomene nicht mehr nur wissenschaftlichen Inhalts, sondern für jedermann in Erscheinung getreten. Mittlerweile herrscht nahezu gänzliche Übereinstimmung in der Wissenschaft darüber, dass neben einer natürlichen Klimaentwicklung auch eine anthropogen bedingte Klimabeeinflussung stattfindet. Bevor in der gegenständlichen Studie die wirtschaftlichen Folgen der zukünftigen Klimaveränderung bis zum Jahr 2050 für die Regionen Oberösterreich und Österreich berechnet werden, erfolgt eine kurze Beschreibung des Phänomens Klimawandel und eine Zusammenfassung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes.

Das globale Klimasystem wird grundsätzlich durch eine Vielzahl komplexer Wechselwirkungen zwischen spezifischen Subsystemen - die im Folgenden kurz erläutert werden - bestimmt, wodurch auch seine Modellierung erschwert wird.²

Das grundsätzliche Medium für den Klimawandel ist die *Atmosphäre*, die sich im Wesentlichen zu rund 78% aus Stickstoff und rund 21% aus Sauerstoff zusammensetzt. Sie hat eine vertikale Ausdehnung von 300 km und besteht aus mehreren übereinander liegenden Schichten, der *Troposphäre*, der *Stratosphäre*, der *Mesosphäre*, der *Thermosphäre* sowie der *Exosphäre*. Für klimatische Vorgänge (und die Wetterdynamik) sind die *Troposphäre*, mit einer Höhe von 6 – 18 km (je nach geographischer Breite) und die *Stratosphäre*, mit einer Höhe von bis zu 50 km, bedeutsam. Die Temperatur in der Troposphäre nimmt nach oben hin kontinuierlich ab, während sie in der Stratosphäre mit der Höhe ansteigt. In der Troposphäre findet im Wesentlichen die Wolken- und Niederschlagsbildung statt. Die *Hydrosphäre* (Ozeane, Binnenseen, Flüsse, Grundwasser) liefert zudem durch Verdunstung den Wasserdampf für die Atmosphäre, der zu Wolken kondensiert und in Form von Niederschlag wieder auf die Erde gelangt und somit den Wasserkreislauf schließt. Da Wasser eine bessere Wärmespeicherkapazität als der Boden aufweist, stellen vor allem Ozeane große Energiereservoirs dar. Zur sogenannten *Kryosphäre* zählen alle Eis- und Schneeflächen der Erde, die durch Speicherung großer Wassermengen, insbesondere in Form der großen Eisschilde in Antarktis und Arktis, aber lokal auch durch den Aufbau und das Abschmelzen von Talgletschern, den Wasserhaushalt

² Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2001).

entscheidend beeinflussen. Maßgeblich beteiligt am Energieumsatz der Erde ist die sogenannte *Lithosphäre* (Gesteins- und Bodenoberfläche) durch Ausgleichsbewegungen der Kontinentalplatten und CO₂-Ausgasungen. Die Biosphäre stellt die Lebenswelt der Pflanzen und Tiere dar und wirkt sich durch ihre Vegetationsdecke auf den Verdunstungshaushalt aus. Durch den Kreislauf von Biomasse Ab- und Aufbau wird die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre wesentlich beeinflusst.³

Im folgenden Abschnitt werden kurz wesentliche Faktoren der Strahlungsbilanz, wie Sonnenaktivität, Aerosole und Ozon und die sogenannten Treibhausgase charakterisiert. Treibhausgase sind Moleküle, die in der Lage sind, die von der Erde reflektierte Infrarot-Strahlung zu absorbieren. Der Anteil dieser Gase an der Atmosphäre macht zusammen weniger als 1% aus. Als wichtigste Treibhausgase sind folgende Verbindungen zu nennen: Kohlendioxid (CO₂), Wasserdampf (H₂O), Ozon (O₃), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O). Hinzu kommen noch künstliche Gase wie beispielsweise Fluorierte-Chlorierte-Kohlenwasserstoffe (FCKWs) und Schwefelhexafluorid (SF₆). Diese Treibhausgase wirken sich in der Form auf die Strahlungsbilanz der Erde aus, dass sie, sehr vereinfacht wiedergegeben, die von der Sonne einfallende UV-Strahlung weitgehend passieren lassen, während sie die von der Erde reflektierte langwellige Infrarot-Strahlung absorbieren (dabei absorbieren die einzelnen Spurengase in unterschiedlichen Absorptionsbanden). Durch diesen Effekt erhöht sich auf natürliche Weise die durchschnittliche Temperatur an der Erdoberfläche von ca. -18° Celsius auf ca. +15° Celsius und ermöglicht dadurch die vorhandene Artenvielfalt.⁴

Als Konsequenz menschlichen Handelns steigt die Konzentration der Treibhausgase – abgesehen von Wasserdampf – künstlich an. Infolge kommt es zum anthropogenen Treibhauseffekt und zur globalen Erwärmung. Als Hauptursache für den anthropogenen Treibhauseffekt wird die Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) beim Verbrennungsprozess fossiler Energieträger angesehen. Dabei hängt die Anreicherung von CO₂ in der Atmosphäre davon ab, wie viel CO₂ in die Atmosphäre emittiert und wie viel von der Landoberfläche und der Ozeanfläche aufgenommen wird. Diese Wechselwirkung zwischen den Kohlenstoffreservoirs der Komponenten des Klimasystems wird durch die Temperaturverhältnisse beeinflusst. Die weltweiten anthropogenen Kohlendioxidemissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger, geänderter Landnutzung usw. betragen derzeit ca. 30 Mrd. Tonnen Kohlendioxid pro Jahr. Von diesem zusätzlichen Kohlendioxid verbleiben heute ca. 40 % in der Atmosphäre und ca. 60 % werden durch Senken wie Ozeane und die Landvegetation aufgenommen.⁵

³ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2001).

⁴ Vgl. ebenda.

⁵ Vgl. ebenda.

Neben dem Treibhauseffekt prägen eine Reihe weiterer Faktoren und Maßzahlen die Charakterisierung des Klimawandels. Als wesentliche Faktoren sind das sogenannte *Radiative Forcing* und das *Global Warming Potential* anzuführen. *Radiative Forcing (RF)* bezeichnet die Änderung des globalen Mittels der Strahlungsbilanz an der *Stratopause* und ist daher ein Maß für die Störung des Gleichgewichtes zwischen einstrahlender Solarenergie und an den Weltraum abgegebener langwelliger Strahlung. Ein positives Radiate Forcing, angegeben in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, führt zu einer Erwärmung in der Atmosphäre. Das Radiative Forcing beschreibt somit die Erwärmungswirkung der anthropogenen Treibhausgasemissionen auf die Erdatmosphäre. Die Radiative Forcing-Werte, die sich aufgrund des Anstieges der Konzentrationen an gut durchmischten Treibhausgasen ergeben, werden aufgrund eines gewachsenen Verständnisses der Zusammenhänge auf $+1,6 \text{ Wm}^{-2}$ als Mittelwert geschätzt.⁶

Das Konzept des *Global Warming Potential (GWP)* baut auf jenem des Radiative Forcing auf und umfasst die Summe aller Radiative Forcing-Beiträge eines Gases, die durch die einmalige Freisetzung einer Maßeinheit am Beginn des Zeitraumes bis zu einem gewählten Zeithorizont verursacht werden. Dieses relative Treibhauspotential gibt somit Aufschluss darüber, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt. Als Vergleichswert hierfür dient Kohlendioxid. Dies bedeutet, dass etwa ein Kilogramm Methan 25-mal stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als ein Kilogramm CO_2 . Somit ist es möglich, die Klimawirksamkeit von Treibhausgasen für unterschiedliche Zeithorizonte in die Zukunft zu extrapolieren. In der Regel wird das Global Warming Potential für einen Bezugszeitraum von 100 Jahren angegeben

Tabelle 2-1: Global Warming Potential für eine Zeitperiode von 100 Jahren

Chemische Verbindung	Global Warming Potential für eine Zeitperiode von 100 Jahren in Kohlendioxid-Äquivalenten
Kohlendioxid (CO_2)	1 CO_2e
Methan (CH_4)	25 CO_2e
Distickstoffmonoxid (N_2O)	298 CO_2e
Schwefelhexafluorid (SF_6)	22.800 CO_2e
Teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe (HFKW's)	bis zu 14.800 CO_2e
Vollhalogenierte Kohlenwasserstoffe (FKWs)	bis zu 17.700 CO_2e

CO₂e: Kohlendioxid-Äquivalente

Quelle: Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007)

Neben den Treibhausgasen kann auch den Aerosolen⁷ eine Klima-beeinflussende Wirkung zugeschrieben werden. Natürliche Aerosolquellen stellen Meersalz, vulkanischer Staub oder mineralischer Staub dar. Als anthropogene Aerosolquelle ist in erster Linie die Verbrennung fossiler Energieträger zu nennen. Aerosole absorbieren und reflektieren solare Strahlung und

⁶ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007).

⁷ Kleine Partikel oder Tropfen (0,01 bis 0,1 μm) die in der Atmosphäre schweben.

beeinflussen somit das Strahlungsgleichgewicht direkt. Sie sind auch in der Lage, das Reflexionsvermögen oder die Lebenszeit von Wolken zu verändern oder chemische Reaktionen zwischen Atmosphärenkomponenten zu beschleunigen und greifen daher indirekt in den Strahlungshaushalt ein. Es wird heute davon ausgegangen, dass Aerosole in Summe einen kühlenden Effekt auf die Erdoberfläche haben. Die Unsicherheit in der Quantifizierung der Aerosoleffekte ist jedoch wesentlich größer als die Quantifizierung der Treibhausgase.⁸

Das Klima war grundsätzlich im Laufe der Erdgeschichte sehr großen Schwankungen unterworfen. Die letzten 10.000 Jahre (*Holozän*) waren jedoch klimatisch relativ stabil und ermöglichten so u.a. die kulturelle und interkulturelle Entwicklung des Menschen. Diese Stabilität könnte durch die derzeit voranschreitende rasche Erderwärmung gefährdet sein.⁹ Es wird davon ausgegangen, dass die im 20. Jahrhundert beobachtete Erderwärmung eine Kombination von natürlichen und anthropogenen Faktoren ist. Die messbaren meteorologischen Größen werden als statistische Größen aufgezeichnet und dienen als Datenbasis für die Erstellung von Klimamodellen und Langzeitprognosen. Das Auftreten z.B. eines einzelnen Starkniederschlages ist aufgrund der Dynamik der vielen Einflussfaktoren nicht geeignet, als Klimaänderungssignal interpretiert zu werden. Während die Erwärmung in der ersten Hälfte des Jahrhunderts noch mit natürlichen Faktoren wie Sonnenaktivität oder Vulkanismus begründet werden kann, ist die Erwärmung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts nicht alleine durch natürliche Faktoren zu erklären. Werden die natürlichen und anthropogenen Faktoren in einem Modell kombiniert, wird eine gute Übereinstimmung mit der beobachteten Erwärmung erzielt.¹⁰

Zukünftige Treibhausgasentwicklungen sind das Produkt von sehr komplexen dynamischen Systemen, die durch die Entwicklung bestimmter *driving forces* wie Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Landnutzung, technologischem Fortschritt, eingesetztem Energiemix, sowie Landwirtschaft bestimmt sind. Aussagen über das Ausmaß zukünftiger Treibhausgasemissionen sind daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Als Basis für Schätzungen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) über zukünftige Temperaturentwicklungen dienen verschiedene Treibhausgas-Emissionsszenarien. Der prognostizierte Verlauf der globalen mittleren Temperatur verhält sich bei der Mehrzahl der als SRES-Szenarien¹¹ bezeichneten Prognosen bis zum Jahr 2030 gleich, für den darauf folgenden Prognosehorizont gibt es eine breitere Spanne der möglichen Temperaturentwicklung.

⁸ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007).

⁹ Vgl. Alley et al. (2003).

¹⁰ Vgl. Alley et al. (2003).

¹¹ SRES: Second Report on Emission Scenarios.

Nach dem aktuellen IPPC-Bericht 2007 beläuft sich der globale Temperaturanstieg am Ende des Jahrhunderts auf mindestens 1,8° Celsius (gemessen an den Temperaturen zu Beginn des Jahrhunderts). Die Schätzungen des *high scenarios* prognostizieren einen Anstieg um etwa 4° Celsius. Der Anstieg des Meeresspiegels wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mindestens 18 cm betragen, im *high scenario* steigt der Meeresspiegel um 59 cm an.¹²

2.2 Klimaprognosen für Oberösterreich

Nach der vorangegangenen allgemeinen Beschreibung des Klimawandels soll im Folgenden auf die Ausprägungen in Oberösterreich eingegangen werden. Diese Studie ermittelt zusätzlich auch die Änderungen der Klimaerwärmung auf die österreichische Volkswirtschaft. Wie nachstehend erläutert wird, können allerdings die Effekte auf die oberösterreichische Volkswirtschaft mittels der Anwendung eines eigenen Simulationsmodells viel detaillierter berechnet werden. Die Veränderungen in der österreichischen Volkswirtschaft müssen mittels Hochrechnung der oberösterreichischen Werte unter Berücksichtigung der leicht differenzierten Wirtschaftsstruktur ermittelt werden, sodass davon auszugehen ist, dass die äußerst geringfügigen Abweichungen zwischen den klimatischen Veränderung in Oberösterreich und den klimatischen Veränderungen im gesamten Österreich in dieser geringen Ausprägung keine signifikante Rolle spielen. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Klimaprognosen für Oberösterreich erläutert.

Generell kann jedoch die globale Temperaturentwicklung nicht auf jede spezifische Region 1:1 übertragen werden. Der globale Treibhauseffekt bewirkt durch das Zusammenspiel unzähliger klimatischer aber auch topographischer Variablen für einzelne Regionen durchaus verschiedene Ausprägungen ihrer klimatischen Veränderungen. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie auf regionalisierte Klimawerte bis 2050 zurückgegriffen.

Exkurs: Problem der Nicht-Linearität von Klimaänderungen

An dieser Stelle soll kurz auf die Problematik der Nicht-Linearität von Klimaänderungen eingegangen werden. Klimatische Veränderungen unterliegen im Normalfall keinem linearen Trend. Die Frequenz von Extremereignissen (wie beispielsweise von extremen Hochwasserereignissen) unterliegt ebensowenig einem linearen Trend wie jährliche Niederschlagssummen oder jährliche Temperaturmittel. Allerdings können langfristige Trends, im Sinne einer tendenziellen Veränderung der Mittelwerte, beobachtet werden. Für diese Studie, die eine monetäre Bewertung der Veränderungen beinhaltet, ist es jedoch erforderlich, die langfristigen Trends in lineare Veränderungen umzulegen, die in einem

¹² Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007).

konkreten Jahr in der Realität nicht vollständig erreicht werden. Die Annahme von willkürlichen jährlichen Abweichungen vom langjährigen linearen Trend und die Annahme einer willkürlichen Varianz dieser Abweichungen erscheint jedoch viel problematischer, da beispielsweise in einem bestimmten Jahr nicht bekannt sein kann, ob positive oder negative Abweichungen vorherrschen. Aus diesem Grund entscheiden sich die Autoren für die Heranziehung eines linearen Trends der Klimaänderung.

2.2.1 Relevanz der Klimaveränderungen für diese Studie

Um die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die oberösterreichische und auf die österreichische Volkswirtschaft analysieren zu können, bedarf es zunächst auch der Festlegung eines Vergleichsszenarios, im Folgenden *business-as-usual-Szenario* genannt. Im Allgemeinen wird in einem business-as-usual-Szenario der zukünftige erwartete Trend fortgeschrieben und mit einem Szenario verglichen, in dem ein spezifischer Schock in der Volkswirtschaft angenommen wird. In dem speziellen Fall dieser Studie muss diese Definition des business-as-usual-Szenarios modifiziert werden. Eine Weiterführung des Trends in den klimatischen Faktoren würde die Inkludierung der Klimaerwärmung in das business-as-usual-Szenario bedeuten, wodurch jedoch keine Möglichkeit zur Abschätzung der Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Volkswirtschaft mehr möglich ist. Aus diesem Grund wird im business-as-usual-Szenario dieser Studie angenommen, dass die klimatischen Faktoren konstant zum aktuellen Niveau bleiben, sodass die Veränderungen in den klimatischen Variablen in den neu definierten Szenarien abgebildet werden und somit die Veränderungen in der Volkswirtschaft analysiert werden können.

Diese Studie enthält grundsätzlich zwei verschiedene Szenarien (zusätzlich zum business-as-usual-Szenario), um unterschiedliche zukünftige Ausprägungen des Klimawandels und dessen verschiedenen Auswirkungen auf die Volkswirtschaft untersuchen zu können. Die unterschiedlichen zukünftigen ökonomischen sowie energiepolitischen Reaktionen zur Vermeidung insbesondere von Kohlendioxid-Emissionen werden auch in einem unterschiedlichen Ausmaß die zukünftige Entwicklung der Erderwärmung beeinflussen.

In einem ersten Szenario (Szenario 1) erfolgt die Analyse der volkswirtschaftlichen Veränderungen durch die aktuell prognostizierte Klimaerwärmung für Oberösterreich und Österreich bis 2050. In Szenario 2 wird die Annahme getroffen, dass es global gelungen ist, die Klimaerwärmung leicht zu „dämpfen“, wobei dennoch noch eine signifikante Erhöhung der Temperaturen zu beobachten ist.

2.2.2 Entwicklung der Temperaturen

Die Prognose der Veränderungen der Temperaturen in Oberösterreich bis zum Jahr 2050 in Szenario 1 basiert auf der im Jahr 2007 von Loibl et al. im Zuge des reclip:more-Projektes publizierten Studie *reclip:more - research for climate protection: model run evaluation. Klimazukunft Österreich. Kleinräumige Klimaszenarien 1981-1990 und 2041-2050. Signale des Klimawandels*.¹³ Diese Studie beinhaltet für verschiedene Regionen in Österreich saisonale Veränderungen der Temperaturen im Vergleich der Perioden 1981-1990 und 2041 bis 2050.¹⁴

Die in der aktuellen Diskussion dominierenden Werte des *Fourth Assessment Reports* des Intergovernmental Panel on Climate Change¹⁵ bieten Prognosen zur Veränderung der globalen Temperaturen, jedoch keine exakten Werte zur klimatischen Veränderung bestimmter Regionen wie Österreich oder im Speziellen Oberösterreich. Aus diesem Grund basieren die Berechnungen der vorliegenden Studien in Szenario 1 auf den regionalisierten Daten der globalen Klimaerwärmung in Loibl et al. (2007a). Die Temperaturveränderungen, auf denen die Berechnungen des Szenarios 2 der vorliegenden Studie basieren, orientieren sich grundlegend auch an den Veränderungen in Szenario 1, allerdings auf einem anderen Niveau. Das Verhältnis der Temperaturveränderungen der beiden Szenarien 1 und 2 entspricht dem Verhältnis der Szenarien A1B und B1 in IPCC (2007)¹⁶.

Die Temperaturveränderung wurde auf die Veränderung zwischen 2007 und 2050 linear umgelegt, wobei für Oberösterreich auch eine anteilmäßige Inkludierung der Region des Alpenraumes, für die in Loibl et al. (2007a) auch eine Abschätzung erfolgt, vorgenommen wird. Somit ergeben die Veränderungen der Temperaturen in Oberösterreich im Vergleich zum business-as-usual-Szenario eine Erhöhung der Temperaturen im jährlichen Mittel für das Szenario 1 dieser Studie von insgesamt +1,63° Celsius im Jahr 2050 gegenüber 2007 und somit auch um +1,63° Celsius gegenüber dem business-as-usual-Szenario. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Erhöhung der Temperatur im Jahresmittel von +0,037° Celsius. Gemäß den Annahmen der Temperaturveränderungen von Loibl et al.

¹³ Vgl. Loibl, W., Beck, A., Dorninger, M., Formayer, H., Gobiet, A., Schöner, W. [Hrsg.] (2007) 'Kwiss-Programm reclip:more - research for climate protection: model run evaluation. Final Report';

sowie Loibl, W., Beck, A., Dorninger, M., Formayer, H., Gobiet, A., Schöner, W. [Hrsg.] (2007a) 'reclip:more - research for climate protection: model run evaluation. Klimazukunft Österreich. Kleinräumige Klimaszenarien 1981-1990 und 2041-2050. Signale des Klimawandels', Medieninformation zum Projektabschluss;

sowie Loibl, W., Beck, A., Dorninger, M., Formayer, H., Gobiet, A., Schöner, W. (2007b) 'reclip:more Research for Climate Protection: Model Run Evaluation 2004-2006. Generation of climate change scenarios for the Alps with the meso-scale models MM5 and ALADIN. Executive summary'.

¹⁴ Vgl. Loibl et al. (2007a).

¹⁵ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007 und 2007a).

¹⁶ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007), S. 12 ff.

(2007a) wird in Oberösterreich die höchste saisonale Steigerung im Herbst anzutreffen sein, mit $+2,02^{\circ}$ Celsius im Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 2007, gefolgt von den Veränderungen im Sommer um $+1,72^{\circ}$ Celsius, im Frühling um $+1,63^{\circ}$ Celsius sowie im Winter um $+1,14^{\circ}$ Celsius. In der Heizperiode (Oktober bis März) ist mit einer Zunahme der Temperatur im Jahr 2050 von $+1,51^{\circ}$ Celsius gegenüber dem Jahr 2007 zu rechnen.

Für die Berechnungen der Veränderungen der Temperaturen in Oberösterreich des Szenarios 2 dienen die Berechnungen des Szenarios 1 als Basis. Wie bereits erläutert wird in Szenario 2 eine abgeschwächte Klimaerwärmung angenommen. Hierzu dienen die Prognosen des IPCC als Umlage des Verhältnisses der Temperaturveränderungen der Szenarien A1B und B1 in IPCC (2007). Die Relation der beiden Szenarien des IPCC-Berichtes wird auf die von Loibl et al. (2007a) regionalisierten Daten umgelegt.

In Szenario 2 errechnet sich somit für Oberösterreich im Vergleich zum business-as-usual-Szenario eine Erhöhung der Temperaturen von insgesamt $+1,04^{\circ}$ Celsius im Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 2007. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Erhöhung der Temperatur im Jahresmittel von $+0,024^{\circ}$ Celsius. Die höchste saisonale Steigerung des Szenarios 2 wird in Oberösterreich auch im Herbst mit $+1,29^{\circ}$ Celsius im Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 2007 zu beobachten sein, gefolgt von den Veränderungen im Sommer um $+1,1^{\circ}$ Celsius, im Frühling um $+1,04^{\circ}$ Celsius sowie im Winter um $+0,73^{\circ}$ Celsius. In der Heizperiode (Oktober bis März) ist in Szenario 2 mit einer Zunahme der Temperatur im Jahr 2050 von $+0,97^{\circ}$ Celsius gegenüber dem Jahr 2007 zu rechnen.

Die exakten jährlichen und saisonalen Veränderungen der Temperaturen, die als Basis für die Berechnungen dieser Studie dienen, können dem Appendix entnommen werden.

2.2.3 Entwicklung der Niederschläge

Für die Berechnung der Änderung der Niederschläge in Oberösterreich bis 2050 wurde die idente Herangehensweise gewählt wie zur Berechnung der Temperaturen. Als Basis dient Loibl et al. (2007a). Diese Studie beinhaltet für verschiedene Regionen in Österreich auch saisonale Veränderungen der Niederschläge im Vergleich der Perioden 1981-1990 und 2041 bis 2050.¹⁷ Wiederum wurden die regionalisierten Werte der oberösterreichischen Region angepasst und auf die Untersuchungsperiode 2007 bis 2050 umgelegt, um die Veränderung des Szenarios 1 zu erhalten.

Somit ergibt sich für Szenario 1, dass (wiederum unter der Annahme einer linearen Entwicklung) die Niederschläge im Jahr 2050 insgesamt lediglich um 1,34 mm gegenüber

¹⁷ Vgl. Loibl et al. (2007a).

dem Jahr 2007 ansteigen und somit im Jahr 2050 1,34 mm über dem business-as-usual-Szenario liegen. Die saisonalen Veränderungen sind allerdings weitaus stärker ausgeprägt. Die geringeren Niederschläge in Sommer und Herbst werden vollständig durch höhere Niederschläge in Winter und Frühjahr kompensiert. So können für das Jahr 2050 um 40 mm höhere Niederschläge im Winter und um 30 mm höhere Niederschläge im Frühjahr ausgegeben werden. Jedoch werden für das Jahr 2050 um 44 mm geringere Niederschläge im Sommer und um 25 mm geringere Niederschläge im Herbst errechnet.

Zur Kalkulation der Veränderung der Niederschläge in Szenario 2, der abgeschwächten Klimaerwärmung, wird die Korrelation der Veränderung der Temperaturen sowie der Niederschläge des Szenarios 1 auf das Szenario 2 übertragen. Als Ergebnis errechnet sich für das Jahr 2050 eine Zunahme an Niederschlägen von 0,86 mm gegenüber dem Jahr 2007. Die saisonalen Veränderungen werden auch auf Szenario 2 (in Relation) übertragen, sodass für das Jahr 2050 im Winter +26 mm, im Frühjahr +19 mm, im Sommer -28 mm und im Herbst -16 mm an Niederschlägen gegenüber dem Jahr 2007 und somit auch gegenüber dem Jahr 2050 des business-as-usual-Szenarios ausgewiesen werden.

Die exakten jährlichen und saisonalen Veränderungen der Niederschläge, die als Basis für die Berechnungen der vorliegenden Studie dienen, können wiederum dem Appendix entnommen werden.

2.2.4 Entwicklung der Hitze- und Frostperioden

Zusätzlich zur zukünftigen Entwicklung der saisonalen Temperaturen ist es für die vorliegende Studie auch von Bedeutung, inwiefern sich Hitze- und Frostperioden in ihrer Frequenz in der Zukunft verändern werden.

Als *Hitzetage* werden Tage bezeichnet, an denen die Maximaltemperatur über 30° Celsius liegt. Durch den Anstieg der mittleren Temperaturen in den letzten Jahrzehnten kam es in Oberösterreich zu einer Zunahme an Hitzetagen. Gemäß Formayer et al. (2007) ist für die oberösterreichischen Messstationen Lambach und Hörsching ein Anstieg der mittleren Anzahl der Hitzetage pro Jahr von rund 5 bis 6 auf 9 bis 10 und an der Messtation Kremsmünster ein Anstieg des Mittels von 1,1 auf 3,6 zu verzeichnen. In Freistadt ist der mittlere Anstieg mit einer Erhöhung von 4,0 auf 5,3 nicht so stark ausgeprägt. Diese Zahlen stellen die beobachtete Veränderung von der Klimanormalperiode 1961-1990 zu den Verhältnissen der letzten 30 Jahre von 1976-2005 dar.

Auffallend ist die Zunahme der maximalen Hitzetage. In Hörsching stieg die Anzahl der maximalen Hitzetage von 15 auf ca. 28 Tage und in Freistadt war eine Zunahme der

maximalen Hitzetage von 12 auf 23 Tage zu beobachten.¹⁸ Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass an den Messstationen Hörsching und Lambach die Hitzetage um rund 20 Tage und an den Standorten in Kremsmünster und Freistadt um 10 Tage zunehmen und somit zu einer Verdopplung in den Jahren von 1990 bis 2005 führten. Schreitet die Klimaerwärmung im aktuell prognostizierten Ausmaß voran, so werden um das Jahr 2020 in Hörsching im Mittel dreimal so viele Hitzetage zu beobachten sein als in der Periode 1961-1990, 2050 werden es viermal so viele sein. Auch im Szenario 2, das eine abgeschwächte Klimaerwärmung beinhaltet, werden die Hitzetage pro Jahr ansteigen, wenn auch nicht in demselben Ausmaß wie in Szenario 1. Szenario 2 zeigt einen Anstieg der mittleren Anzahl an Hitzetagen von 4,0 auf 8,1 bis zum Jahr 2050.¹⁹

Im Bereich der zukünftigen Entwicklung von Hitzeperioden ist auch die Prognose der Entwicklung von zukünftigen *Kyselyperioden* zu beachten. Von einer Kyselyperiode wird gesprochen, wenn an drei aufeinander folgenden Tagen die Maximaltemperatur über 30° Celsius liegt. Diese Periode hält an, solange die mittlere Maximaltemperatur über den gesamten Zeitraum über 30°C bleibt und die Maximaltemperatur an keinem Tag unter 25°C liegt. In Bezug auf die derzeitigen Verhältnisse in Oberösterreich ist eine Kyselyperiode als Extremereignis zu werten.²⁰

In der Klimaperiode von 1961-1990 konnten an den beiden Standorten Hörsching und Lambach im Durchschnitt 3,3 bzw. 2,2 Kyselytage, an den Standorten Freistadt und Kremsmünster durchschnittlich 1,8 bzw. 0,6 Kyselytage pro Jahr festgestellt werden. Zwischen 1976 und 2005 konnte ein starker Anstieg an den „wärmeren“ Messstationen in Hörsching und Lambach um das 2,5-fache auf 7,7 bzw. 6,4 und an den „kühleren“ Messstationen von 1,8 und 0,6 auf 3,2 und 2,1 Kyselytage verzeichnet werden.²¹

Weiters wird anhand der Szenarien erkennbar, dass die Anzahl der Kyselyperioden kontinuierlich zunehmen wird. Im konkreten Fall von Hörsching bedeutet dies, dass die Kyselytage in Szenario 1 (dem klimatischen A1B-Szenario) bis ins Jahr 2050 von 7,7 Kyselytagen in der Klimaperiode 1976-2005 auf 21,1 steigen werden. In Szenario 2 (dem klimatischen B1-Szenario), in dem es gelungen ist die Klimaerwärmung abzuschwächen, wird die Anzahl der Kyselytage bis zum Jahr 2050 von 7,7 auf 9,0 steigen.²²

Die Anzahl der Sommertage ist für die Berechnungen dieser Studie sekundär, dennoch soll die künftige Entwicklung kurz beschrieben werden. Gemäß Loibl et al. (2007) wird sich die Zahl der Sommertage bis 2050 verdoppeln. Für den Osten, Südosten und Süden Österreichs

¹⁸ Vgl. Formayer et al. (2007), S. 13 ff.

¹⁹ Vgl. Formayer et al. (2007), S. 13.

²⁰ Vgl. Formayer et al. (2007), S. 16.

²¹ Vgl. Formayer et al. (2007), S. 16.

²² Vgl. Formayer et al. (2007).

bedeutet dies einen Anstieg der Sommertage von 40 auf 80 Tage, im oberösterreichischen Zentralraum und im Donautal sind 50 Sommertage pro Jahr zu erwarten und im Alpenvorland werden es 30 Tage sein.²³

Zusätzlich ist laut Loibl et al. (2007a) zu erwarten, dass die Anzahl der Frosttage bis ins Jahr 2050 um ca. 50% zurückgehen wird. Für den Osten und Südosten Österreichs sowie für das Donau- und Rheintal bedeutet dies einen Rückgang der Frosttage um 30-45 Tage bis ins Jahr 2050. Im Unterinntal und im Klagenfurter Becken werden die Frosttage um 35-40 Tage zurückgehen. Ein starker Rückgang um 40 bis 50 Tage ist auch in den Alpen auf 1500 bis 2000 Meter Seehöhe zu beobachten. In 2000 bis 3000 m Höhe wird es 60 Frosttage weniger geben. Generell ist im Durchschnitt mit einer Abnahme von 24 Frosttagen zu rechnen.²⁴

²³ Vgl. Loibl et al. (2007a), S. 7.

²⁴ Vgl. Loibl et al. (2007a), S. 7.

3 Differenzierte ökonomische Auswirkungen des Klimawandels

Im folgenden Kapitel werden die zukünftigen Auswirkungen unterschiedlicher Klimaveränderungen auf Basis von Literaturanalysen veranschaulicht und für die oberösterreichische Region monetär bewertet. Dabei werden die Klimaänderungen in vier verschiedene Ausprägungen unterteilt. Zuerst werden in Kapitel 3.1 die Auswirkungen des Klimawandels auf Wetterextreme untersucht, zum einen auf deren Frequenz und zum anderen auf die Intensität der zukünftigen regionalen Ereignisse wie Hochwasser, Stürme, Lawinen und Hagel. Zum Abschluss des deskriptiven Kapitels über die Auswirkungen des Klimawandels auf Wetterextreme wird untersucht, inwieweit die durch den Klimawandel vermehrt auftretenden *Hurricanes* (insbesondere im Atlantischen Ozean) die heimischen Energiepreise beeinflussen.

In Kapitel 3.2 werden sodann die Auswirkungen von Temperaturänderungen im Sommer veranschaulicht, wobei selbstverständlich spezifische Auswirkungen im Frühjahr und Herbst berücksichtigt werden. Zentrale zu untersuchende Variablen sind in diesem Zusammenhang Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit durch höhere Temperaturen, Effekte auf Gesundheit und Leben, Auswirkungen der höheren Temperaturen auf den Einsatz von Klimaanlage und die Gebäudeisolierung sowie mögliche Auswirkungen auf den Sommertourismus. In diesem Zusammenhang sind darüber hinaus auch Änderungen in den Ernteerträgen der Landwirtschaft inklusive des Schädlingsbefalles in Land- und Forstwirtschaft relevant.

Anschließend erfolgt in Kapitel 3.3 eine Beschreibung möglicher Auswirkungen der Temperaturänderungen im Winter. Zum einen werden durch die höheren Temperaturen signifikante Auswirkungen im Wintertourismus spürbar sein, zum anderen kann durch wärmere Winter der Energieeinsatz in dieser Jahreszeit verringert und somit Heizkosten gespart werden.

In Kapitel 3.4 werden die Einflüsse von Niederschlagsänderungen auf die heimische Volkswirtschaft untersucht. Im Fokus stehen hierbei mögliche Auswirkungen auf die heimische Stromproduktion aus Wasserkraft sowie Änderungen in den Ernteerträgen der Landwirtschaft, wobei vor allem letztere Auswirkungen in Kombination mit Temperaturänderungen zu betrachten sind.

Ausschließlich relevant für diese Studie sind Abweichungen und Veränderungen im Vergleich zum business-as-usual-Szenario. Wie bereits erläutert wurde, wird im business-as-usual-Szenario die Annahme getroffen, dass im Vergleich zum heutigen Niveau sämtliche klimatische Faktoren konstant bleiben. Stellt sich somit im Zuge der Literaturrecherche heraus, dass sich beispielsweise die Frequenz sowie die Intensität eines extremen Wetterereignisses in Zukunft nicht signifikant oder vorhersehbar verändern wird, so

entstehen auch keine für diese Studie relevanten Schadenskosten im Sinne einer Veränderung zum business-as-usual-Szenario.

Sämtliche beobachtbare Auswirkungen werden in diesem Teil der Studie *ceteris paribus* sowie ohne Multiplikatoreffekte betrachtet – es erfolgt keine Kombination mit anderen Veränderungen von Variablen. Die umfassende Analyse der Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Volkswirtschaft erfolgt für Oberösterreich mittels Modellsimulation in Kapitel 4 und für Österreich mittels Hochrechnung in Kapitel 5.

3.1 Auswirkungen des Klimawandels auf Wetterextreme

Zu den am Schwierigsten zu bewertenden klimatischen Auswirkungen zählt die Veränderung von Frequenz und Intensität der Wetterextreme. Nachdem die Entstehung eines klimatischen Extremereignisses mit zahlreichen Faktoren verbunden ist, deren Auftreten und Zusammenwirken nur äußerst schwer vorhersagbar sind, erweisen sich meteorologische Studien als sehr zurückhaltend in Prognosen zur zukünftigen Entwicklung von Wetterextremen in einer spezifischen Region. Aus diesem Grund treffen die Autoren dieser Studie konservative Annahmen zur zukünftigen Entwicklung von Wetterextremereignissen in Oberösterreich und Österreich.

Ein Rückblick auf das Auftreten solcher Ereignisse in Österreich in den letzten Jahren zeigt, dass insbesondere Hochwasserereignisse signifikante monetäre und somit volkswirtschaftliche Auswirkungen mit sich ziehen.

Wie erwähnt ist es für diese Studie im Bereich der Wetterextreme relevant, ob in Zukunft aufgrund der Klimaerwärmung mit einer Zunahme der Frequenz bzw. der Intensität der Ereignisse zu rechnen sein wird (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario, das eine Fortschreibung der aktuellen klimatischen Bedingungen beinhaltet). Für diese Studie bedeutet dies, dass beispielsweise ein extremes Hochwasserereignis nicht von Interesse ist, sofern sich die Frequenz dieses Ereignisses gegenüber dem business-as-usual-Szenario nicht verändert, wenn eine gleich hohe Intensität des Ereignisses angenommen wird. Dies gründet sich darauf, dass einerseits aufgrund von veränderten klimatischen Bedingungen die Extremereignisse leicht intensiviert auftreten können, allerdings andererseits die verbesserten Schutzmaßnahmen die potentiell höheren Schäden wiederum kompensieren werden.

Kromp-Kolb und Formayer (2007) untersuchten die Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse speziell für Oberösterreich. Grundsätzlich konstatieren sie: „Betrachtet man verallgemeinernd Regionen statt einzelner Flüsse [...], so sieht man, dass

im Grunde in ganz Österreich die meteorologischen Voraussetzungen für Hochwasser mit dem Klimawandel zunehmen.“²⁵

Definitive Aussagen über die genaue Zunahme der Frequenz der Ereignisse können aufgrund der Vielzahl der unterschiedlichen Ereignisse nicht getroffen werden. Die Kombination verschiedener Auswirkungen der Klimaerwärmung im alpinen Raum, wie Änderungen der Starkniederschläge, Erhöhung der Schneefallgrenze, generelle Niederschlagszunahmen in den Wintermonaten, Änderungen in der Vegetation aufgrund von klimatischen Veränderungen, Auswirkungen auf Erosion im alpinen Bereich, lässt tendenziell jedoch auf eine Zunahme der Hochwasserereignisse schließen. Zentrale Einflussgröße für das Auftreten eines extremen Hochwassers ist die sogenannte *Vb-Wetterlage*. „Die Ereignisse des letzten Jahrzehntes lassen eine Zunahme dieser Vb-Lagen im Sommer befürchten. Sollte sich der Trend des letzten Jahrzehntes mit dem häufigeren Auftreten im Sommer weiter fortsetzen, würde dies das Risiko [eines Hochwassers] noch weiter ansteigen lassen.“²⁶

Das Fehlen einer exakten Prognose der zukünftigen Frequenz von regional bedeutsamen Hochwasserereignissen erfordert, dass in dieser Studie die Simulation von verschiedenen Frequenzen der zukünftigen Hochwasserereignisse durchgeführt wird. In Szenario 1 wird angenommen, dass sowohl in Oberösterreich als auch in Österreich innerhalb eines Jahrzehnts ein zusätzliches (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) Hochwasser auftritt. Dies begründet sich auch auf der Überlegung, dass im letzten Jahrzehnt zwei konkrete extreme Hochwasserereignisse in Österreich beobachtbar waren. In Szenario 1 erfolgt allerdings auch eine Simulation ohne die Existenz von zusätzlich extremen Hochwasserereignissen, um die Auswirkungen der Klimaerwärmung auch ohne diese konkrete Annahme der Frequenzzunahme analysieren zu können. In Szenario 2, das auf einer in Relation zu Szenario 1 abgeschwächten Klimaerwärmung basiert, wird das Auftreten eines zusätzlichen extremen Hochwasserereignisses je 20 Jahre angenommen. Wiederum wird auch eine Simulation ohne zusätzliches Hochwasserereignis durchgeführt.

Für die monetäre Bewertung der zukünftigen Hochwasserereignisse werden die detailliert aufgelisteten Schadenskosten des österreichischen Hochwasserereignisses 2002 der Publikationen Kletzan et al. (2003), Habersack und Fuchs (2003), Habersack und Moser (2003) sowie Habersack et al. (2004) und der Beschreibung des Hochwasserereignisses 2005 des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser (2006 und 2006a) herangezogen.

Im Zentrum der Berechnung stehen die Basiswerte von Kletzan et al. (2003) zum

²⁵ Kromp-Kolb und Formayer (2007), S. 18.

²⁶ Kromp-Kolb und Formayer (2007), S. 13.

Hochwasserereignis im Sommer 2002. Für eine detaillierte Auflistung der Schadenskosten sei auf ebendiese Publikation verwiesen. Die Schadenskosten des Ereignisses im Jahr 2002 werden verknüpft mit den Schadenskosten des Ereignisses im Jahr 2005, wobei hier eine einfache Mittelwertbildung der Gesamtkosten vorgenommen wird und auf die detaillierten spezifischen Schadenskosten des 2005-Ereignisses in Relation umgelegt wird.

Die Bewertung von Schäden, die aufgrund einer potentiellen Zunahme von Stürmen durch die Klimaerwärmung auftreten, erweist sich aufgrund des Fehlens exakter Prognosen der Sturmentwicklung für die Österreich und Oberösterreich diffizil. Nach Bresch et al. (2000) ist eine unmittelbare Korrelation zwischen Sturmschäden und einer Klimaerwärmung auf Basis gesicherter Daten nicht nachweisbar.

Die große Bedeutung von zusätzlichen Sturmschäden durch Ereignisse wie dem Sturm *Kyril* im Januar 2007 lassen die Autoren dieser Studie auf eine andere Studie zurückgreifen. Heck et al. (2006) prognostizieren eine Schadenszunahme ohne Teuerung für die EU-27 von 16 bis 68% für den Zeitraum 1975 bis 2085. Der jährlich erwartete versicherte Schaden aus Winterstürmen beträgt aktuell für Europa etwa 2,6 Mrd. €, sodass bei einer linearen Entwicklung eine Zunahme der Schäden um jährlich 11 Mio. € in der EU-27 durch Winterstürme errechnet werden kann.²⁷ Auf Oberösterreich umgelegt bedeutet dies, dass durch das vermehrte Auftreten von Stürmen aufgrund der Klimaerwärmung jährlich ca. 0,04 Mio. € an direkten Schäden (in Szenario 1) zu kalkulieren sind. Für Szenario 2 ergeben sich nach Umlage der Schadenskosten von Szenario 1 direkte jährliche Schäden im Ausmaß von 0,02 Mio. € in Oberösterreich.

Eine Abschätzung des Einflusses der Klimaerwärmung auf zukünftige Hagelereignisse kann nach Zimmerli (2005) zur Zeit nicht gegeben werden; die Frage nach den Auswirkungen der Klimaerwärmung auf zukünftige Hagelereignisse muss aktuell als unbeantwortbar definiert werden, sodass auch keine Berücksichtigung in der vorliegenden Studie erfolgt. Ähnlich wie die Abschätzung der Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Hagelereignisse kann auch keine Bewertung der Effekte auf das Auftreten von Lawinen und somit auf die Entwicklung von Schäden aus Lawinen getroffen werden.

Die bisher untersuchten Wetterextreme betreffen ausschließlich regionale Veränderungen. Nicht außer Acht zu lassen sind auch Auswirkungen auf die heimische Volkswirtschaft durch klimatische Veränderungen in anderen Weltregionen. Als bedeutsam erweist sich in diesem Zusammenhang der potentielle Einfluss von Hurricanes auf die amerikanische Ölproduktion und die damit verbundenen Auswirkung auf den internationalen Rohölpreis. Sollte ein signifikanter Effekt auf den Rohölpreis nachweisbar sein, so ist dies auch für die heimische Volkswirtschaft aufgrund einer Verteuerung der fossilen Energieträger von Bedeutung.

²⁷ Vgl. Heck et al. (2006).

Nordhaus (2006) stellt fest, dass die Klimaerwärmung höchstwahrscheinlich zu stärkeren Hurricanes führt, die Auswirkung auf die Frequenz der Hurricanes kann jedoch nicht eindeutig konstatiert werden. Im Gegensatz dazu konstatieren Holland und Webster (2007) einen direkten Zusammenhang zwischen Klimaerwärmung und der Frequenz des Auftretens von Hurricanes, jedoch keinen Zusammenhang zwischen Klimaerwärmung und Intensität der Hurricanes. Eine Abschätzung der Schäden von Hurricanes aufgrund der Klimaerwärmung ergibt bei Nordhaus (2006), dass sich die durchschnittlichen jährlichen Schäden für die amerikanische Volkswirtschaft auf 8 Mrd. USD (0,06% des US-Bruttoinlandsproduktes) belaufen.

Von Bedeutung sind diese Zusammenhänge für die heimische Volkswirtschaft lediglich wenn ein Einfluss auf den Rohölpreis aufgrund der amerikanischen Produktionsrestriktionen durch auftretende Hurricanes im Golf von Mexiko zu beobachten ist. Ein weiterer Zusammenhang könnte noch durch eine amerikanische Rezession aufgrund eines katastrophalen Hurricane-Ereignisses bestehen. Diese potentielle Korrelation wird in der vorliegenden Studie jedoch nicht weiter untersucht. In dieser Studie wird allerdings deskriptiv eine kurze Analyse des Auftretens des Jahrhundert-Hurricanes *Katrina* (und dessen folgenden Rohöl-Produktionsausfälle) und die Auswirkungen auf den amerikanischen und in Folge auf den für Europa relevanten Rohölpreis unternommen.²⁸ Im Fokus der Beobachtung steht der amerikanische Rohölpreis (*Cushing, OK WTI Spot Price FOB*) des Jahres 2005²⁹. Die frühest mögliche Reaktion der Aktienkurse sowie des Rohölpreises konnte am 23. August 2005, dem Tag der Bildung von *Katrina* über dem Atlantik, vorhanden gewesen sein. Die stärkste Reaktion des Rohölpreises auf den Hurricane (in Relation zum Rohölpreis am 22. August 2005) war am 30. August mit einer Preiserhöhung von 6,7% zu beobachten. Bereits am 7. September erreichte der Rohölpreis das Niveau des Preises vor dem Hurricane *Katrina*. Umgelegt auf den durchschnittlichen Preis des Jahres 2005 bedeutet dies eine Zunahme des Rohölpreises um 0,07%. Äquivalent dazu stieg im gleichen Zeitraum der Preis der für Europa relevanten Sorte Brent um maximal 2,5% an, sodass sich der Jahrespreis 2005 um 0,047% gegenüber einer Situation ohne *Katrina* erhöht hat. Diese marginale Preiserhöhung kann keinerlei messbare Nachfrageveränderungen mit sich bringen. Aufgrund der Tatsache, dass der Hurricane *Katrina* als Jahrhundertereignis gewertet wird, werden durchschnittliche Hurricanes viel geringere Auswirkungen mit sich ziehen. Aus diesem Grund kann in dieser Studie keine Rohölpreisveränderung (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) durch die Klimaerwärmung inkludiert werden.

²⁸ Trotz intensiver Recherche konnte keine seriöse Publikation gefunden werden, die diese Korrelation im Zusammenhang mit dem Hurricane Katrina empirisch untersucht hat.

²⁹ Vgl. Energy Information Administration: www.eia.doe.gov.

3.2 Auswirkungen von Temperaturänderungen im Sommer

Die Auswirkungen von Temperaturänderungen im Sommer beziehen sich vor allem auf Veränderungen der Produktionsprozesse der einzelnen Wirtschaftssektoren. Neben Auswirkungen der Änderungen von klimatischen Bedingungen auf die Bepflanzung und Ernteerträge in der Landwirtschaft entstehen durch zusätzliche Hitzeperioden sowie einer generellen Anhebung der Temperaturen im Sommer Verluste durch eine geringere Leistungsfähigkeit der Arbeitskräfte sowie potentielle Verluste durch steigende Krankenstände. Weitere Auswirkungen, die in Folge kurz beschrieben werden, sind der zusätzliche Strombedarf für Klimaanlage inklusive zu tätige Mehrkosten für Energie und Gerätebestand sowie vermehrt auftretende Sterbefälle in Hitzeperioden und ein dadurch auftretender Wertschöpfungsverlust in der Volkswirtschaft.

Basierend auf den in Kapitel 2.2 beschriebenen prognostizierten klimatischen Veränderungen werden die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Land- und Forstwirtschaft untersucht. Für die Berechnung der monetären Auswirkungen erfolgt eine Heranziehung von Soja et al. (2005). Diese Studie enthält Analysen zu Korrelationen zwischen Erträgen und ausgewählten meteorologischen Parametern für die landwirtschaftlichen Produkte *Sommergerste*, *Weichweizen*, *Körnermais* und *Wiese*. Anhand dieser Korrelationen sowie den eruierten klimatischen Veränderungen (saisonale Temperatur- und Niederschlagsveränderungen) werden die Effekte der Klimaerwärmung auf die landwirtschaftliche Wertschöpfung errechnet. Hierzu muss jedoch die Annahme getroffen werden, dass im Vergleich zum business-as-usual-Szenario keine Substitution zu anderen Produkten erfolgt. Dies ist auch aus dem Gesichtspunkt notwendig, dass den Autoren keine Effekte der Klimaerwärmung auf andere landwirtschaftliche Produkte vorliegen. Zusätzlich wird die Annahme getroffen, dass die Auswirkungen auf diese vier Produkte – die in Oberösterreich 63% und in Österreich 79% der Getreidenutzfläche beanspruchen – den Auswirkungen auf die restlichen Getreideprodukte approximativ entsprechen, sodass eine Hochrechnung der spezifischen Werte auf sämtliche Getreideprodukte möglich ist. Negative Auswirkungen auf andere land- und forstwirtschaftliche Produkte wie Wald oder Dauerkulturen sowie auf tierische Erzeugnisse können aufgrund der Nicht-Existenz von Analysen nicht erfolgen, sodass die tendenzielle Überschätzung im Getreidebereich durch die Umlage der Berechnungen letztendlich durch die Nichtberücksichtigung der *nicht-Getreide*-Produkte wieder kompensiert wird. Auf Basis der durchschnittlichen Erträge der Getreideprodukte werden schließlich die direkten monetären Auswirkungen der Klimaerwärmung im Vergleich zum business-as-usual-Szenario im Sinne von Wertschöpfungsverlusten kalkuliert.

Im Zuge der Temperatur- und Niederschlagsveränderungen wird sich auch die heimische Fauna den zukünftigen klimatischen Bedingungen anpassen, was vor allem bezüglich des Schädlingsbefalls in der Land- und Forstwirtschaft von Interesse ist. Allerdings beinhaltet auch die im Zuge des StartClim-Projektes vorgenommene Studie Kromp et al. (2006) „Einflüsse des Klimawandels auf landwirtschaftliche Schädlinge und Nützlinge im Biologischen Landbau Ostösterreichs“ keine aggregierten bewertbaren monetären Auswirkungen, sodass keine Berücksichtigung dieser Problematik in dieser Studie erfolgen kann.

Von zentraler Bedeutung sind die Effekte der Klimaerwärmung auf die Leistungsfähigkeit. Besonders starke und extreme Hitze während der Sommermonate beeinflusst die Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmer und somit auch die Produktionsprozesse der Unternehmen. Hübler und Klepper (2007) analysieren die Ergebnisse mehrerer Studien zum Zusammenhang von Hitzetagen und Leistungsfähigkeit und stellen dabei fest: „Die Ergebnisse zeigen eine außerordentliche Bandbreite, die von 3% Leistungsminderung bei hohen Temperaturen bis zu 50% reicht.“³⁰ Zur weiteren Berechnung verwenden Hübler und Klepper eine konservative Bandbreite eines Leistungsverlustes von 3% bis 12% bei Auftreten einer Hitzeperiode. Diesem konservativen Ansatz schließen sich die Autoren der vorliegenden Studie an. Die je nach Szenario zusätzlich auftretenden Hitzetage aufgrund der Klimaerwärmung werden somit in Verbindung gesetzt mit dem Leistungsabfall der Arbeitnehmer.

Extreme Hitzeperioden im Sommer zeigen sich auch verantwortlich für eine höhere Mortalität während dieser Perioden vor allem aufgrund von vermehrt auftretenden tödlichen Herz- und Kreislaufproblemen. Die Basis für die Berechnung der vermehrten Todesfälle in Hitzeperioden aufgrund des Klimawandels sind die Ergebnisse aus Moshammer et al. (2006). Dabei wird die in Moshammer et al. (2006) ermittelte Differenz an Todesfällen an Kyselytagen und an „normalen“ Tagen auf die zusätzlichen Kyselytage aufgrund des Klimawandels auf Oberösterreich bzw. auf Österreich übertragen. Die monetäre Bewertung der zusätzlichen Zahl der Todesfälle aufgrund des Klimawandels wird nach Vrijling und van Gelder (2000) vorgenommen.

Als problematisch zu bezeichnen ist die Abschätzung der Auswirkung der Klimaerwärmung auf die allgemeine Gesundheit der Menschen. Nach Hübler und Klepper (2007) ist die Abschätzung der Gesundheitseffekte sehr problematisch. „Höhere Temperaturen zeigen keinen einfachen monokausalen Zusammenhang zu negativen Gesundheitsfolgen. Eine Vielzahl von zusätzlichen Parametern bestimmt, wie stark die Folgen von hohen Temperaturen sind. Neben der absoluten Temperatur sind dies andere meteorologische

³⁰ Hübler und Klepper (2007), S. 59.

Größen wie Luftfeuchte, Dauer der Hitzewelle, Tag-Nach-Schwankungen der Temperatur und anderes mehr.“³¹ Die Gegenüberstellung von positiven Effekten durch wärmere Winter mit negativen Effekten durch heißere Sommer erweist sich auch deswegen als diffizil. Die Autoren kommen somit zu der Schlussfolgerung: „Neben dem Extremfall eines tödlichen Ausgangs von großer Hitze gibt es eine Vielzahl nicht tödlicher Gesundheitseffekte. Deren Ausmaß ist wegen der fehlenden Statistiken nicht direkt zu quantifizieren.“³² Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie keine Quantifizierung der Auswirkungen auf nicht tödliche Gesundheitseffekte erfolgen.

Aufgrund der steigenden Temperaturen im Sommer und der daraus in Kapitel 2.2 ebenso beschriebenen resultierenden Zunahme an Hitzetagen und Kyselyperioden kommt es in Zukunft zu einem vermehrten Bedarf an Energie zur Raumkühlung und somit zum verstärkten Einsatz von Klimaanlageanlagen. Zur Bewertung des zukünftigen Energieverbrauchs für Klimaanlageanlagen wird auf eine Berechnung des Energiesparverbandes Oberösterreich zurückgegriffen, die bereits in Wegmayr et al. (2007) publiziert wurde. Der vermehrte Einsatz von Klimageräten sowohl in Wohngebäuden als auch in Nicht-Wohngebäuden erzeugt darüber hinaus auch zusätzliche Investitionskosten in den Zukauf neuer Geräte, die ebenfalls in die Simulationen eingehen.

Veränderungen in den Temperaturen können auch Veränderungen in der Art der Gebäudeisolierung mit sich ziehen. Den Autoren dieser Studie liegt jedoch trotz intensiver Literaturrecherche keine Studie vor, die die Auswirkungen von steigenden Temperaturen im Sommer auf den Grad der Gebäudeisolierung analysiert. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass die steigenden Temperaturen im Winter und somit die reduzierte Notwendigkeit zur Gebäudeisolierung für kältere Temperaturen die erhöhte Notwendigkeit zur Gebäudeisolierung aufgrund von Hitzeperioden im Sommer kompensieren wird. Aus diesen Gründen wird in dieser Studie die monetäre Bewertung von Änderungen in der Gebäudeisolierung vernachlässigt.

Die Auswirkungen der Klimaerwärmung auf den heimischen Sommertourismus können zum Zeitpunkt des Verfassens der vorliegenden Studie nicht monetär bewertet werden. Trotz intensiver Literaturrecherche kann auf keine aktuell verfügbare Analyse zu diesem Thema für die (ober-)österreichische Region zurückgegriffen werden.³³

Für die allgemeine Korrelation zwischen der Klimaerwärmung und der Entwicklung des internationalen Tourismus bzw. der Auswirkung der Erderwärmung auf den Tourismus existiert eine Vielzahl an Studien. So untersucht etwa Hamilton et al. (2005) die

³¹ Hübler und Klepper (2007), S. 26.

³² Hübler und Klepper (2007), S. 58.

³³ Das Land Oberösterreich plant allerdings die Publikation einer Studie zu diesem Thema Ende des Jahres 2008.

Auswirkungen auf die internationalen Touristenströme, Bigano et al. (2006) die Einflussgröße des Klimas auf die Auswahl der Feriendestination oder Berrittella et al. (2006) mittels eines allgemeinen Gleichgewichtsmodells die Korrelation zwischen Klimaänderung und ökonomischen Veränderungen im Tourismussektor. Allerdings können diese Studien nicht für eine gesonderte Analyse des Sommertourismus in Österreich bzw. Oberösterreich herangezogen werden, da zum einen keine spezifischen regionalen Klimaeffekte in die Analyse einfließen und zum anderen keine Disaggregationen für verschiedene Bundesländer sowie für verschiedene saisonale Auswirkungen enthalten sind.

3.3 Auswirkungen von Temperaturänderungen im Winter

Eine Erhöhung der Temperaturen im Winterhalbjahr bzw. in der Heizperiode hat die Konsequenz, dass ein geringerer Raumwärmebedarf in der Volkswirtschaft entsteht. Diese Auswirkung zieht eindeutig positive Effekte mit sich. Zum einen verringert sich der private energetische Konsum, wodurch vor allem auch der Wertschöpfungsabfluss aufgrund des Importes von fossilen Energieträgern zur Raumwärmebereitstellung wie Kohle- oder Heizöl-Produkte, reduziert wird. Zum anderen können die Produktionskosten aufgrund der geringeren Energiekosten verringert werden, sodass eine höhere Wertschöpfung im Produktionsprozess generiert werden kann bzw. eine Substitution zu anderen Produktionsinputs möglich ist.

Die Nachfrageelastizität spezifischer Energieträger zur Raumwärmebereitstellung aufgrund von Temperaturänderungen ist in Oberösterreich je nach Wirtschaftssektor und Energieträger unterschiedlich ausgeprägt und wird im Modell im Detail in den Regressionen abgebildet. Je nach Szenario errechnet sich sodann eine unterschiedlich hohe Reduktion im Energieverbrauch der Volkswirtschaft. Dieser niedrigere Raumwärmeverbrauch in der Heizperiode im Vergleich zum business-as-usual-Szenario ohne Klimaerwärmung muss letztendlich der zusätzlichen Nachfrage nach elektrischer Energie zur Raumkühlung im Sommer gegenübergestellt werden, um definitive Aussagen zur Differenz im Energieverbrauch tätigen zu können.

Die Erhöhung der Temperaturen im Winter zieht jedoch auch negative Effekte mit sich. Die steigenden Temperaturen aufgrund der Erderwärmung setzen den heimischen Wintertourismus aufgrund der Anhebung der Schneefallgrenze verstärkt unter Druck. Die Berechnungen der vorliegenden Studie zu den negativen Auswirkungen der Temperaturerhöhung in den Wintermonaten auf den Wintertourismus stützen sich auf OECD (2007). Für die vorliegende Studie wird somit auf aufgrund des Fehlens von aktuellen umfassenden und detaillierten heimischen Analysen zu den Veränderungen im Tourismus auf Teilsegmente einer internationale Studie für eine erste Abschätzung der Auswirkungen

im Wintertourismus zurückgegriffen. Das Land Oberösterreich plant die Publikation einer umfassenden Studie zu den Auswirkungen der Klimaerwärmung auf den Tourismus in Oberösterreich für Ende des Jahres 2008, sodass sodann eine leichte Modifikation der Werte erfolgen könnte.

Die Analyse der Änderungen im Wintertourismus aus OECD (2007) basieren auf der sogenannten *100-day rule*: „It states that in order to successfully operate a ski area, a snow cover sufficient for skiing should last at least 100 days per season. The 100-day rule is not a strict rule, rather a working tool and has been widely accepted among the operators of larger Swiss ski areas.“³⁴ Zusätzlich zu dieser Annahme wird davon ausgegangen, dass sich die relevante Schneefallgrenze bzw. die Seehöhe einer akzeptablen Schneesicherheit (*snow reliability line*) bei einem mittleren Temperaturanstieg um 1° Celsius um 150 m erhöht.³⁵ Dies hat gemäß OECD (2007) zur Folge, dass in Oberösterreich aufgrund der niedrigeren Seehöhe der Skigebiete bei einem Anstieg der Temperaturen um 1° Celsius anstelle von 11 Skigebieten nur mehr 4 Skigebiete im Sinne der *100-day rule* rentabel geführt werden können. Die Autoren der vorliegenden Studie treffen die Annahme, dass jedes nicht mehr rentable Skigebiet im Durchschnitt dennoch ca. 50% des Umsatzes eines rentablen Skigebietes generieren kann. Die Umlage der bereits erläuterten Temperaturentwicklung in den Wintermonaten sowie der historischen Entwicklung des Anteils des Wintertourismus an der gesamten Bruttowertschöpfung des Sektors ergibt grundlegend eine sinkende Bruttowertschöpfung des Tourismussektors. Der Wertschöpfungsrückgang des Wintertourismussektors steigt somit von 1,4 Mio. € im Jahr 2007 auf bis zu 67 Mio. € im Jahr 2050 in Szenario 1 an. In Szenario 2, der abgeschwächten Klimaerwärmung, errechnet sich ein Rückgang von 0,9 Mio. € 2007 bis zu 42,6 Mio. € im Jahr 2050.

Hinzu kommt eine zusätzliche Kostenbelastung zur Kunstschneeproduktion, da nicht davon auszugehen ist, dass in den Wintersportgebieten andere notwendigerweise zu tätige Investitionen durch die zusätzliche Kunstschneeproduktion substituiert werden können. Auf Basis von OECD (2007) errechnen sich jährlich zusätzlich notwendige Aufwendungen zur Kunstschneeproduktion in Oberösterreich von durchschnittlich 4,5 Mio. €.

3.4 Auswirkungen von Niederschlagsänderungen

Die Analyse der Auswirkungen der Niederschlagsänderungen auf die Produktion von elektrischer Energie aus Wasserkraft ist äußerst diffizil. Aufgrund des hohen Anteils an der Energieproduktion in Oberösterreich und Österreich muss dieser Thematik verstärkt Aufmerksamkeit gewidmet werden. Signifikante Auswirkungen von Niederschlags-

³⁴ Vgl. OECD (2007), S. 29.

³⁵ Vgl. OECD (2007), S. 31.

änderungen auf die Stromproduktion aus Wasserkraft ziehen aufgrund der hohen Produktionsmengen auch wichtige Änderungen im Bereich der Energieimporte und -exporte mit sich. Wie bereits in Kapitel 2.2.3 gezeigt werden konnte, ist für Oberösterreich und als Konsequenz auch für Österreich keine signifikante Veränderung der Jahresniederschlagssumme im Zuge der Klimaerwärmung zu beobachten. Es stellt sich allerdings in diesem Zusammenhang die Frage, ob die saisonalen Schwankungen Auswirkungen auf die Jahresproduktion mit sich ziehen. Zahlreiche Faktoren müssen bei dieser Analyse berücksichtigt werden. So etwa beeinflussen saisonale Niederschlagsschwankungen Speicher- und Laufkraftwerke in unterschiedlicher Art und Weise.

Höhere Winterniederschläge, wie sie in Zukunft in Oberösterreich aufgrund der Klimaerwärmung anzutreffen sein werden, führen erst mit Verzögerung zu vermehrtem Schmelzwasser im Sommer. Grundsätzlich profitieren Speicherkraftwerke durch die stärker ausgeprägte Gletscherschmelze aufgrund der höheren Temperaturen. Diese Effekte könnten jedoch wiederum durch verringerte Abflüsse in den Sommermonaten kompensiert werden. Den Laufkraftwerken wird in den Wintermonaten weitaus mehr Wasser zugeführt. Verantwortlich dafür ist neben dem vermehrten Niederschlag auch die Anhebung der Schneefallgrenze, sodass gegenüber einer Situation mit kälteren Temperaturen im Winter mehr Wasser abfließen wird. Somit wird sich die Produktion einer signifikanten Menge an elektrischer Energie aus Wasserkraft in Laufkraftwerken von den Sommermonaten tendenziell zu den Wintermonaten verlagern.³⁶ Eine Abschätzung, ob diese Verlagerung insgesamt eine Änderung der Jahresproduktion an Strom aus Wasserkraft in Österreich und im Speziellen in Oberösterreich bewirkt, kann in der einschlägigen Literatur nicht gefunden werden. Nach Rücksprache mit Experten oberösterreichischer Energieversorgungsunternehmen ist jedoch davon auszugehen, dass sich die verschiedenen Effekte in etwa kompensieren werden.

Mögliche Auswirkungen auf das ausreichende Angebot von Kühlwasser für Atomkraftwerke können aufgrund der Nicht-Existenz dieser Kraftwerke nicht direkt quantifiziert werden. Die Autoren unterstellen darüber hinaus, dass die unterschiedliche Bereitstellung von Kühlwasser für AKWs im benachbarten Ausland keine Effekte auf die Energiepreise in Oberösterreich und Österreich mit sich ziehen.

Die Auswirkungen der Niederschlagsänderungen auf Land- und Forstwirtschaft wurden bereits in Kombination mit den Auswirkungen der Temperaturänderungen auf diesen Sektor in Kapitel 3.2 erläutert, sodass darauf an dieser Stelle nicht eingegangen wird.

³⁶ Vgl. z.B. Hauenstein (2004).

4 Gesamtwirtschaftliche Analyse der Effekte auf die oberösterreichische Volkswirtschaft

Die direkten Auswirkungen der Klimaerwärmung wurden bereits in Kapitel 3 detailliert erläutert. Im Folgenden werden diese Einzelergebnisse herangezogen und deren aggregierte Auswirkungen auf die oberösterreichische Volkswirtschaft mittels einer Modellsimulation analysiert. Als Simulationsmodell dient das in Kapitel 8 vorgestellte makroökonomische Modell MOVE (Modell zur Simulation der Oberösterreichischen Volkswirtschaft mit Schwerpunkt Energie).

Es werden vier verschiedene Simulationen vorgenommen. Wie bereits erläutert, werden in Szenario 1 die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der prognostizierten Klimaerwärmung für Oberösterreich simuliert.³⁷ Aufgrund der dominanten Effekte zusätzlicher Hochwasserereignisse wird das Szenario 1 auch ohne zusätzliches Hochwasserereignis modelliert, um die übrigen Effekte deutlicher erkennen zu können. Im Szenario 2 erfolgt die Abschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen mittels Modellsimulation einer etwas abgeschwächten Klimaerwärmung (wie bereits in Kapitel 2.2 erläutert) für Oberösterreich. Auch hier erfolgt schließlich eine zusätzliche Simulation ohne Annahme eines Auftretens zusätzlicher Hochwasserereignisse.

Ein Problem in der Simulationsanwendung stellt der lange Beobachtungszeitraum dar. Eine Modellschätzung von detaillierten makroökonomischen Modellen wie MOVE über eine Beobachtungsperiode von 2007 bis 2050 kann aufgrund von ökonomischen Beschränkungen sowie des unsicheren Verlaufs des zukünftigen technischen Fortschritts nicht mehr vertreten werden. Aus diesem Grund erfolgen die Simulationen bis zum Jahr 2025. Für die restliche Periode erfolgt eine Hochrechnung auf Basis der ökonomischen Entwicklungen und der eruierten klimatischen Veränderungen.

Die Kalkulation der Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die österreichische Volkswirtschaft auf Basis der Simulationsergebnisse für die oberösterreichische Volkswirtschaft wird in Kapitel 5 vorgenommen.

Zentrale Gemeinsamkeit aller Simulationen ist die Tatsache, dass sämtliche Ergebnisse zu den Preisen 2007 angegeben werden. Darüber hinaus wird angenommen, dass der technische Fortschritt in den definierten Szenarien dem technischen Fortschritt im business-as-usual-Szenario entspricht. Dies bedeutet, dass der Klimawandel den Grad des technischen Fortschritts nicht verändert. Mögliche sektorale Veränderungen im technischen Fortschritt beispielsweise aufgrund von Innovationen im Umwelttechnikbereich werden wiederum kompensiert durch einen geringeren Innovationsgrad in anderen Sektoren.

³⁷ Die Daten zur Klimaerwärmung werden den regionalisierten Daten von Loibl et al. (2007a) entnommen.

4.1 Simulation mit prognostizierter Klimaerwärmung (Szenario 1)

Im ersten Szenario wird analysiert, welche Auswirkungen sich auf die oberösterreichische Volkswirtschaft durch die bereits erläuterte prognostizierte Klimaerwärmung ergeben. Wie bereits beschrieben, kann aus ökonometrischen Gründen nur eine Modellsimulation bis zum Jahre 2025 erfolgen. Gegenüber dem business-as-usual-Szenario errechnet sich in Szenario 1 als Ausgangsbasis somit für das Jahr 2025 ein Temperaturzuwachs von 0,7° Celsius (+1,63° Celsius im Jahr 2050).³⁸ In Kapitel 3 wurden bereits die spezifischen Einflüsse der Klimaerwärmung bzw. der verschiedenen Veränderungen der klimatischen Bedingungen aufgrund der Klimaerwärmung beschrieben. Nun erfolgt eine simultane Berechnung der volkswirtschaftlichen Effekte aller auftretenden Veränderungen in Oberösterreich mittels des Simulationsmodells MOVE.

Im Durchschnitt verringert sich das oberösterreichische Bruttoregionalprodukt aufgrund der Klimaerwärmung in den Jahren 2007 bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario ohne zusätzlicher Klimaerwärmung um jährlich 250 Mio. €. Werden die jährlichen Differenzen des Bruttoregionalproduktes von 2007 bis 2025 aggregiert, so kann eine gesamte Belastung der öö. Volkswirtschaft in diesem Zeitraum von ca. 4,7 Mrd. € konstatiert werden.³⁹ Der jährliche relative „Rückgang“ von 250 Mio. € entspricht in etwa 0,6% des aktuellen Bruttoregionalproduktes Oberösterreichs. Es soll allerdings ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass dieses Ergebnis nicht bedeutet, dass aufgrund des Klimawandels ein negatives Wirtschaftswachstum in Oberösterreich entsteht. Es kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass das Wirtschaftswachstum aufgrund des Klimawandels geringer ausfällt als ohne der Klimaerwärmung.

Durchschnittlich sind aufgrund der klimatischen Veränderungen und der daraus resultierenden Folgeerscheinungen in der Periode 2007-2025 um 1.730 Personen jährlich weniger beschäftigt. Der private Konsum reduziert sich im Jahr um durchschnittlich 85 Mio. €, die Nettoexporte sinken im Jahr im Schnitt um 74 Mio. € von 2007 bis 2025.

Aufgrund des sinkenden Heizbedarfs im Winter wird insgesamt im Vergleich zum business-as-usual-Szenario der Endenergieverbrauch in Oberösterreich sinken, der steigende Strombedarf im Sommer gleicht den sinkenden Heizbedarf im Winter nicht aus. Somit entsteht die paradoxe Situation, dass aufgrund der Klimaerwärmung, die vor allem durch den Einsatz von Energie anthropogen mitverursacht wird, der Endenergieverbrauch wieder sinken wird, in Relation zur Situation ohne Klimaerwärmung. Allerdings wird aufgrund der Reduzierung des oberösterreichischen Heizbedarfs keine Auswirkung auf die globale

³⁸ Zur Problematik der Annahme einer linearen Entwicklung der Klimavariablen siehe Kapitel 2.2.

³⁹ Diese Schadenssumme von 4,7 Mrd. € kann selbstverständlich nicht mit dem jährlichen Bruttoregionalprodukt Oberösterreichs in Relation gesetzt werden sondern muss mit dem von 2007 bis 2025 aggregierten jährlichen Bruttoregionalprodukt verglichen werden.

Erderwärmung zu beobachten sein, in dem Maße, dass sich die regionalen klimatischen Bedingungen dadurch wieder verändern. Dazu würde es der Annahme bedürfen, dass global betrachtet, der Heizbedarf in den Wintermonaten so stark sinkt, sodass der globale absolute Anstieg des Energieverbrauches überkompensiert wird. Davon ist ceteris paribus nicht auszugehen. Hinzu kommt die Tatsache, dass im business-as-usual-Szenario ein leicht steigender Energieverbrauch enthalten ist⁴⁰ und somit von einer negativen relativen Abweichung in Szenario 1 nicht auf einen absoluten Verbrauchsrückgang geschlossen werden kann.

Aufgrund der negativen ökonomischen Effekte der Klimaerwärmung reduziert sich in Relation zum business-as-usual-Szenario die Investitionssumme der oberösterreichischen Wirtschaftssektoren jährlich um durchschnittlich 89 Mio. €. Durch den Investitionsrückgang, aber vor allem auch aufgrund der zusätzlich auftretenden Schadenskosten und der damit verbundenen Reduktion des Kapitalstocks verringert sich in Folge auch die Bruttowertschöpfung der heimischen Unternehmen, im Durchschnitt in der Periode 2007-2025 um 225 Mio. €.

Am stärksten betroffen durch die Auswirkungen der Klimaerwärmung ist in Oberösterreich der Tourismussektor. Der Rückgang im Wintertourismus durch die Anhebung der Schneefallgrenze aufgrund des Temperaturanstiegs bewirkt in Kombination mit anderen Auswirkungen (insbesondere den zusätzlichen Kosten zur Kunstschneeproduktion) eine jährliche durchschnittliche Reduktion der Bruttowertschöpfung des ganzen Tourismussektors um 47 Mio. €. Dies entspricht in etwa 20% des gesamten Rückgangs der öö. Bruttowertschöpfung (in Relation zum business-as-usual-Szenario) sowie eines Rückgangs der Wertschöpfung des Sektors im Vergleich zum business-as-usual-Szenario im Ausmaß von 6% im Jahr 2025. Allerdings ist in diesem Zusammenhang noch zu erwähnen, dass keine Studien zur Veränderung des Sommertourismus in Oberösterreich aufgrund des Klimawandels vorliegen.

Besonders betroffen von der Klimaerwärmung ist auch der Land- und Forstwirtschaftssektor aufgrund des relativen Ernterückgangs im Vergleich zum business-as-usual-Szenario. Dies impliziert jedoch auch, dass potentielle Einnahmengewinne durch den vermehrten Einsatz von Biomasse als Energieträger auch im business-as-usual-Szenario enthalten sind. Der Rückgang in diesem Sektor beträgt ca. 3 % der Bruttowertschöpfung im Jahr 2025.⁴¹

⁴⁰ Das business-as-usual-Szenario inkludiert keine aktuell beschlossenen Programme zur Forcierung erneuerbarer Energieträger sowie der Energieeffizienz (z.B. „Energiezukunft OÖ“). Werden Effizienzsteigerungen inkludiert, so verringern sich die Veränderungen im Heizbedarf von Szenario 1 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario.

⁴¹ Die Autoren gehen davon aus, dass die tendenzielle Umstellung in der Landwirtschaft zu einer vermehrten Bereitstellung von Biomasse zur energetischen Verwendung auch im business-as-usual-Szenario stattfindet.

Am geringsten betroffen durch den Klimawandel (gemessen in % der Bruttowertschöpfung) in Relation zum business-as-usual-Szenario sind im Jahr 2025 der Handel, der Bausektor sowie der Finanzsektor.

Die folgende Abbildung zeigt den Anteil der einzelnen Sektoren am gesamten Rückgang der Bruttowertschöpfung in der Periode 2007 bis 2050 sowie die einzelnen prozentuellen Einbußen der Sektoren im Jahr 2025.

Tabelle 4-1: Sektorale Veränderungen aufgrund des Klimawandels in den Jahren 2007 bis 2025

Bruttowertschöpfung des öö. Wirtschaftssektors	%-Anteil am gesamten Rückgang der Bruttowertschöpfung der Volkswirtschaft (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) im Jahr 2025	%-Differenz in der Bruttowertschöpfung im Jahr 2025 (i.V. zum business-as-usual-Szenario)
Tourismus	20,3	-6,0
Land- und Forstwirtschaft	6,7	-2,9
Öffentlicher Sektor	7,0	-1,2
Realitätenwesen	18,8	-0,7
Transport	8,7	-0,6
Restl. Dienstleistungen	9,4	-0,6
Sachgütererzeugung	20,1	-0,5
Energiewirtschaft	1,2	-0,4
Bergbau	0,4	-0,2
Finanz	0,8	-0,1
Bau	3,9	-0,1
Handel	2,9	-0,1

Quelle: eigene Berechnung

In Kapitel 3 wurde die Basis zur Berechnung der direkten Schadenskosten einzelner Veränderungen bereits ausführlich geschildert. Die Ermittlung der volkswirtschaftlichen Effekte eines einzelnen Schadensfalles wie beispielsweise des Leistungsverlustes der Beschäftigten im Sommer aufgrund von vermehrten Hitzeperioden würde den Rahmen dieser Studie sprengen, da jeweils eine eigene Modellsimulation durchzuführen wäre. In Tabelle 4-2 und in Abbildung 4-1 können somit „nur“ die Gesamteffekte aller auftretenden bewertbaren Veränderungen aufgrund der Klimaerwärmung in Oberösterreich betrachtet werden.

Enorme Auswirkungen zeigen die zusätzlichen Hochwasserereignisse, die in Szenario 1 in dieser Simulation alle zehn Jahre zu beobachten sind. In Abbildung 4-1 werden die Auswirkungen dieser Ereignisse bis 2025 sichtbar. Beide Extremwerte sind auf die Existenz und die ökonomischen Folgen eines zusätzlichen Hochwassers zurückzuführen.

Tabelle 4-2: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen des Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (mit zusätzlichen Hochwasserereignissen)

Jahr	Veränderungen im Vergleich zum business-as-usual-Szenario						
	Bruttoregional- produkt	Beschäftigte	Endenergie- verbrauch	privater Konsum	Nettoexporte	Investitionen	Brutto- wertschöpfung
	Mio. €	Personen	TJ	Mio. €	Mio. €	Mio. €	Mio. €
2007	-95	-479	-92	-16	-44	-35	-70
2008	-111	-715	-121	-27	-43	-42	-91
2009	-125	-726	-197	-34	-47	-44	-103
2010	-133	-782	-259	-37	-50	-45	-110
2011	-139	-840	-321	-41	-52	-46	-118
2012**	-547	-4.572	-841	-167	-48	-331	-541
2013	-315	-1.967	-533	-73	-156	-85	-198
2014	-272	-1.372	-458	-104	-99	-67	-211
2015	-220	-1.243	-584	-73	-84	-61	-174
2016	-210	-1.315	-654	-79	-70	-58	-184
2017	-200	-1.329	-760	-75	-66	-58	-182
2018	-199	-1.376	-849	-77	-63	-57	-188
2019	-199	-1.415	-947	-78	-61	-57	-193
2020	-200	-1.461	-1.042	-80	-60	-58	-200
2021	-202	-1.507	-1.142	-82	-60	-58	-208
2022**	-607	-5.239	-1.698	-207	-55	-342	-632
2023	-371	-2.622	-1.425	-111	-161	-96	-289
2024	-327	-2.041	-1.387	-143	-103	-78	-305
2025	-274	-1.909	-1.550	-111	-87	-72	-271
Summe	-4.746	*	-14.860	-1.613	-1.410	-1.689	-4.268
Durchschnitt	-250	-1.732	-782	-85	-74	-89	-225

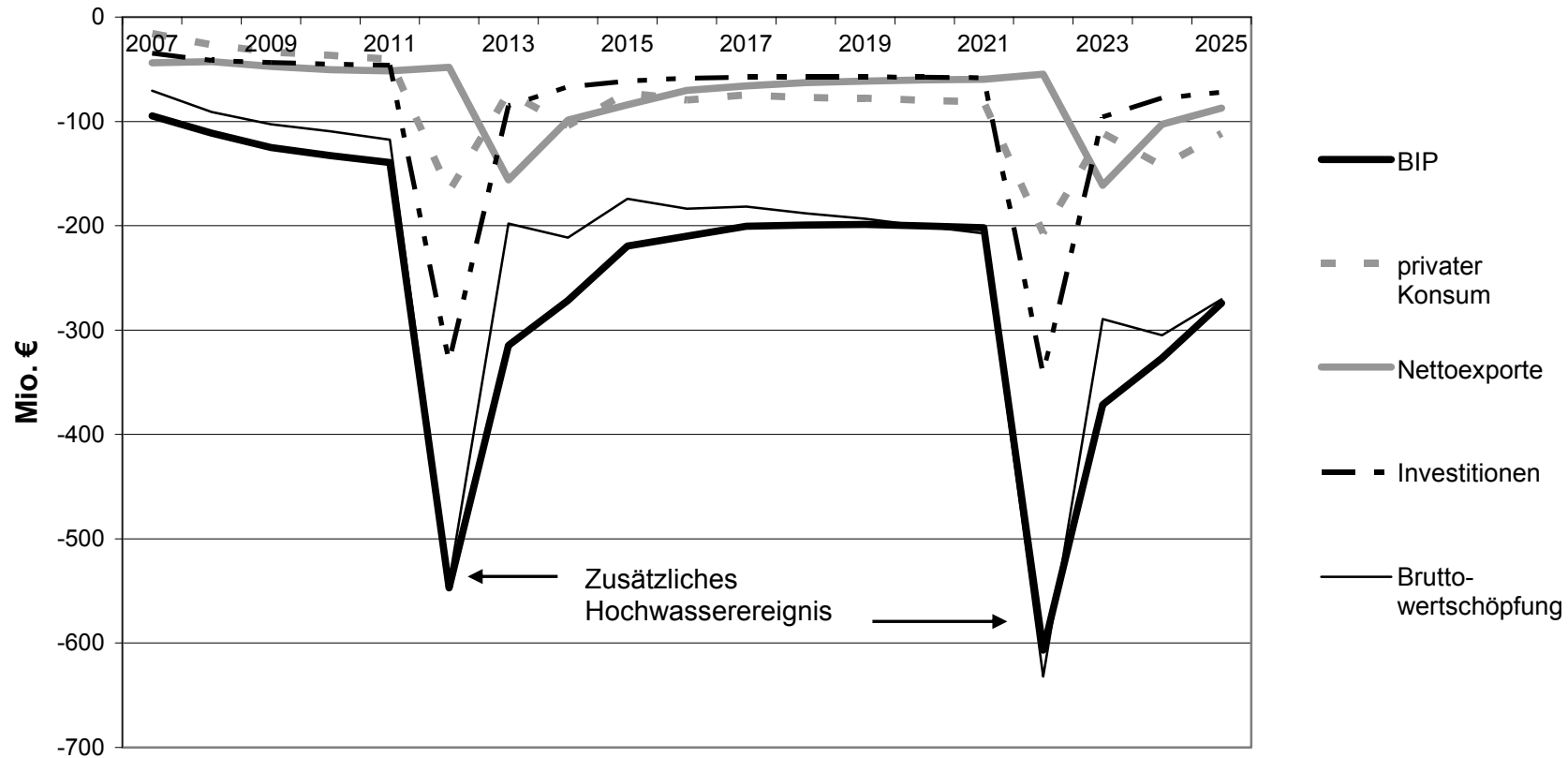
Anmerkung: Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios.

* Eine Aggregation der jährlichen Differenzen in den Beschäftigten darf nicht als gesamte zusätzliche Beschäftigungsveränderung interpretiert werden. Es kann anhand dieser Werte keine Aussage über die Dauer eines bestimmten zusätzlichen Beschäftigungsverhältnisses getroffen werden.

** 2012 und 2022: zusätzliches Hochwasserereignis

Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 4-1: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen des Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (mit zusätzlichen Hochwasserereignissen)



Anmerkung: Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios.
Quelle: eigene Berechnung

Um die Effekte der Klimaerwärmung ohne die zusätzlich (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) auftretenden Hochwasserereignisse veranschaulichen zu können, wird eine Simulation des Szenarios 1 vorgenommen, die die Schäden aus Hochwasserereignissen exkludiert.

Die volkswirtschaftlichen Effekte der Klimaerwärmung ohne zusätzliche Hochwasserereignisse werden in Tabelle 4-3 und in Abbildung 4-2 präsentiert. Die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Auswirkungen sowie die aggregierten Effekte der Klimaerwärmung sind geringer ausgeprägt als in der Simulation mit zusätzlichen Hochwasserereignissen. Die in der obigen Simulation zu beobachtenden negativen Extremwerte der Auswirkungen durch zusätzliche Hochwasserereignisse in den Jahren 2012 und 2022 sind in dieser Simulation somit nicht mehr zu beobachten.

Die Simulation des Szenarios 1 ohne zusätzliche Hochwasserereignisse ergibt, dass im Vergleich zum business-as-usual-Szenario aufgrund der Klimaerwärmung das Bruttoregionalprodukt in Oberösterreich in der Periode 2007 bis 2025 um durchschnittlich jährlich 158 Mio. € geringer ist. Durchschnittlich werden jährlich ca. 1.100 weniger Beschäftigungsverhältnisse (Vollzeitäquivalente) in Oberösterreich existieren. Diese Entwicklungen basieren zum einen auf einer Reduktion (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) des privaten Konsums von durchschnittlich 54 Mio. € pro Jahr, sowie auf einer Reduktion der Investitionen um 50 Mio. € pro Jahr und zum anderen auf einem Rückgang der Nettoexporte um jährlich 53 Mio. €. Der Rückgang in den Investitionen sowie die direkten Schadenskosten reduzieren die Bruttowertschöpfung der oberösterreichischen Wirtschaftssektoren in diesem Fall um durchschnittlich 154 Mio. € pro Jahr im Vergleich zum business-as-usual-Szenario.

Werden die jährlichen Differenzen des Bruttoregionalproduktes von 2007 bis 2025 aggregiert, so kann konstatiert werden, dass die Klimaerwärmung - ohne zusätzliche Hochwasserereignisse - in diesem Zeitraum eine Gesamtbelastung der öö. Volkswirtschaft von ca. 3 Mrd. € verursacht.⁴² Der jährliche relative „Rückgang“ von 158 Mio. € entspricht in etwa 0,4% des aktuellen Bruttoregionalproduktes Oberösterreichs. Es soll allerdings auch an diese Stelle nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass dieses Ergebnis nicht bedeutet, dass aufgrund des Klimawandels ein negatives Wirtschaftswachstum in Oberösterreich entsteht. Es kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass das Wirtschaftswachstum aufgrund des Klimawandels geringer ausfällt als ohne dem Auftreten der Klimaerwärmung.

⁴² Diese Schadenssumme von 3 Mrd. € kann nicht mit dem jährlichen Bruttoregionalprodukt Oberösterreichs in Relation gesetzt werden, sondern muss mit dem von 2007 bis 2025 aggregierten jährlichen Bruttoregionalprodukt verglichen werden.

Tabelle 4-3: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen des Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (ohne zusätzliche Hochwasserereignisse)

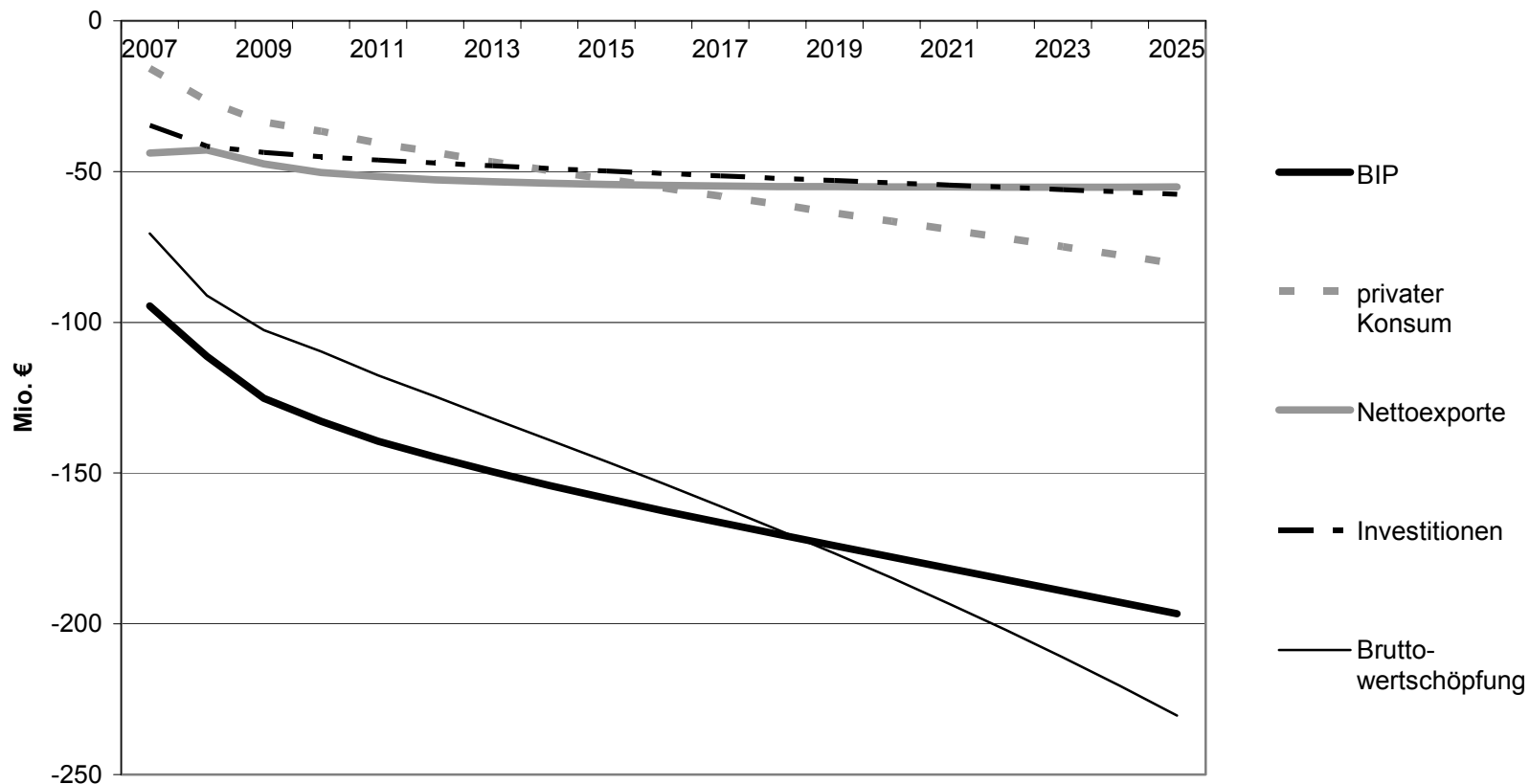
Jahr	Veränderungen im Vergleich zum business-as-usual-Szenario						
	Bruttoregional- produkt	Beschäftigte	Endenergie- verbrauch	privater Konsum	Nettoexporte	Investitionen	Brutto- wertschöpfung
	Mio. €	Personen	TJ	Mio. €	Mio. €	Mio. €	Mio. €
2007	-95	-479	-92	-16	-44	-35	-70
2008	-111	-715	-121	-27	-43	-42	-91
2009	-125	-726	-197	-34	-47	-44	-103
2010	-133	-782	-259	-37	-50	-45	-110
2011	-139	-840	-321	-41	-52	-46	-118
2012	-145	-895	-388	-44	-53	-47	-125
2013	-150	-950	-458	-47	-53	-48	-132
2014	-154	-1.003	-530	-50	-54	-49	-139
2015	-158	-1.056	-606	-53	-54	-50	-146
2016	-162	-1.108	-684	-55	-55	-51	-154
2017	-166	-1.162	-765	-58	-55	-51	-161
2018	-170	-1.215	-850	-61	-55	-52	-169
2019	-174	-1.269	-937	-64	-55	-53	-177
2020	-178	-1.323	-1.028	-66	-55	-54	-185
2021	-182	-1.377	-1.122	-69	-55	-54	-193
2022	-185	-1.432	-1.220	-72	-55	-55	-202
2023	-189	-1.488	-1.322	-75	-55	-56	-211
2024	-193	-1.544	-1.428	-78	-55	-57	-221
2025	-197	-1.601	-1.539	-81	-55	-57	-230
Summe	-3.007	*	-13.865	-1.025	-1.001	-946	-2.935
Durchschnitt	-158	-1.103	-730	-54	-53	-50	-154

Anmerkung: Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios.

* Eine Aggregation der jährlichen Differenzen in den Beschäftigten darf nicht als gesamte zusätzliche Beschäftigungsveränderung interpretiert werden. Es kann anhand dieser Werte keine Aussage über die Dauer eines bestimmten zusätzlichen Beschäftigungsverhältnisses getroffen werden.

Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 4-2: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen des Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (ohne zusätzliche Hochwasserereignisse)



Anmerkung: Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios.
 Quelle: eigene Berechnung

4.1.1 Kalkulation der volkswirtschaftlichen Veränderungen von 2026 bis 2050 für Oberösterreich

Die Simulation der volkswirtschaftlichen Auswirkungen kann aufgrund der erwähnten ökonometrischen Beschränkungen innerhalb des Modells MOVE nur bis zum Jahr 2025 erfolgen. Darüber hinaus erfolgt eine approximative Hochrechnung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Klimaerwärmung bis zum Jahr 2050.

Die Hochrechnung der Ergebnisse der Modellsimulation des Szenarios 1 für die Periode 2007 bis 2050 erfolgt unter Berücksichtigung der ermittelten einzelnen Schadensfälle sowie der ermittelten klimatischen Veränderungen in Oberösterreich bis zum Jahr 2050. In der folgenden Tabelle werden die zentralen Ergebnisse dieser Hochrechnung für Oberösterreich präsentiert, wobei zwischen einer Simulation inklusive und einer Simulation exklusive der Berücksichtigung zusätzlicher Hochwasserereignisse unterscheiden wird.

Es soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass eine Kalkulation bis 2050 mit vielen Unsicherheiten verbunden ist. Grundlegende Technologiesprünge bzw. schwerwiegende ökonomische Schocks können nicht berücksichtigt werden. Die vorgenommene Kalkulation impliziert darüber hinaus, dass der technologische Fortschritt des business-as-usual-Szenarios sowie des Vergleichsszenarios 1 – wie auch bereits bei der Modellsimulation für 2007 bis 2025 angemerkt – keine signifikanten Unterschiede aufweist. Dies bedeutet, dass der Klimawandel den Grad des technischen Fortschrittes nicht verändert. Mögliche sektorale Veränderungen im technischen Fortschritt beispielsweise aufgrund von Innovationen im Umwelttechnikbereich werden wiederum kompensiert durch einen geringeren Innovationsgrad in anderen Sektoren.

Unter Berücksichtigung dieser Problematik errechnet sich für die oberösterreichische Volkswirtschaft durch die Klimaerwärmung in Szenario 1 ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang des Bruttoregionalprodukts in der Periode 2007 bis 2050 im Vergleich zu einer Situation ohne Klimaerwärmung von ca. 300 Mio. €. Dieser Rückgang basiert auf einer durchschnittlichen jährlichen Reduktion des privaten Konsums von 2007 bis 2050 im Ausmaß von 140 Mio. €, einer Differenz in der gesamten jährlichen Investitionssumme von -95 Mio. € sowie einem Rückgang in den Nettoexporten von jährlich 70 Mio. €.

Diese Werte stützen sich auf die Annahme zusätzlicher Hochwasserereignisse. Ohne diese zusätzlichen klimatischen Extremereignisse beläuft sich der relative Rückgang des öö. Bruttoregionalproduktes auf durchschnittlich ca. 200 Mio. € pro Jahr im Vergleich zum business-as-usual-Szenario.

Werden die jährlichen Differenzen im Bruttoregionalprodukt aggregiert, so ergibt sich inklusive Schäden aus zusätzlichen Hochwasserereignissen eine gesamte Schadenssumme

für die öö. Volkswirtschaft in der Periode 2007 bis 2050 im Ausmaß von 13,5 Mrd. € aufgrund der Klimaerwärmung. Exklusive zusätzliche Hochwasserereignisse beläuft sich der Rückgang auf ca. 9 Mrd. €. Die Tabelle 4-4 gibt einen Überblick zu den kalkulierten Ergebnissen.

Tabelle 4-4: Kalkulation der volkswirtschaftlichen Veränderungen in Oberösterreich (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) bis zum Jahr 2050

Veränderung in Relation zum business-as-usual-Szenario		Szenario 1 mit zusätzlichen Hochwasserereignissen**	Szenario 1 ohne zusätzliche Hochwasserereignisse
Bruttoregionalprodukt, Mio. €	Summe 2007-2050	-13.454	-9.028
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-306	-205
Beschäftigte*	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-2.233	-1.806
Privater Konsum, Mio. €	Summe 2007-2050	-6.072	-3.950
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-138	-90
Investitionen, Mio. €	Summe 2007-2050	-4.121	-2.627,6
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-94	-60
Nettoexporte, Mio. €	Summe 2007-2050	-3.081	-2.270,2
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-70	-52

Quelle: eigene Berechnungen

* Eine Aggregation der jährlichen Differenzen in den Beschäftigten darf nicht als gesamte zusätzliche Beschäftigungsveränderung interpretiert werden. Es kann anhand dieser Werte keine Aussage über die Dauer eines bestimmten zusätzlichen Beschäftigungsverhältnisses getroffen werden.

** 2012 und 2022: zusätzliches Hochwasserereignis

4.2 Simulation mit abgeschwächter Klimaerwärmung (Szenario 2)

In Szenario 2 wird eine im Vergleich zu Szenario 1 leicht abgeschwächte Klimaerwärmung als Basis der Berechnungen herangezogen. Somit wird in diesem Szenario die Annahme getroffen, dass es global gelungen ist, die Klimaerwärmung leicht zu „dämpfen“, wobei dennoch eine signifikante Erhöhung der Temperaturen zu beobachten ist. Wie bereits angeführt, wird nicht davon ausgegangen, dass sich der Grad des technologischen Fortschrittes aufgrund potentiell intensiverer Forschungstätigkeiten im Bereich der Umwelttechnik in Relation zum business-as-usual-Szenario grundlegend unterscheidet. Mögliche sektorale Veränderungen im technischen Fortschritt beispielsweise aufgrund von Innovationen im Umwelttechnikbereich werden wiederum kompensiert durch einen geringeren Innovationsgrad in anderen Sektoren.

Für die Berechnungen der Veränderungen der Temperaturen in Oberösterreich dieses Szenarios dienen wie bereits erläutert die Berechnungen des Szenarios 1 als Basis, wobei Szenario 1 grundlegend auf der Regionalisierung der globalen Klimaerwärmung durch Loibl et al. (2007a) basiert. Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben werden die Prognosen der Szenarien A1B und B1 in IPCC (2007) anschließend als Umlage des Verhältnisses der Temperaturveränderungen für die Szenarien 1 und 2 herangezogen.

Somit errechnet sich für Szenario 2 für Oberösterreich im Vergleich zum business-as-usual-Szenario eine Erhöhung der Temperaturen von insgesamt $+0,45^{\circ}$ Celsius im Jahr 2025 gegenüber dem Jahr 2007. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Erhöhung der Temperatur im Jahresmittel von $+0,024^{\circ}$ Celsius. Die höchste saisonale Steigerung des Szenarios 2 wird in Oberösterreich im Herbst mit $+0,56^{\circ}$ Celsius im Jahr 2025 gegenüber dem Jahr 2007 zu beobachten sein, gefolgt von den Veränderungen im Sommer mit $+0,48^{\circ}$ Celsius, im Frühling mit $+0,45^{\circ}$ Celsius sowie im Winter mit $+0,31^{\circ}$ Celsius.

Nachdem die Vorgehensweise der Simulationen bereits für Szenario 1 erläutert wurde, wird auf diese Thematik an dieser Stelle nicht näher eingegangen. In Kapitel 3 wurden zusätzlich bereits die einzelnen spezifischen Einflüsse der Klimaerwärmung bzw. der verschiedenen Veränderungen der klimatischen Bedingungen aufgrund der Klimaerwärmung beschrieben.

Die Modellsimulation unter der Voraussetzung eines gedämpften Klimawandels ergibt, dass sich im Durchschnitt das oberösterreichische Bruttoregionalprodukt aufgrund der Klimaerwärmung in den Jahren 2007 bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario ohne zusätzlicher Klimaerwärmung um jährlich ca. 170 Mio. € verringert. Diese jährliche negative Abweichung vom business-as-usual-Szenario des Bruttoregionalproduktes im Ausmaß von 170 Mio. € entspricht in etwa 0,4% des aktuellen Bruttoregionalproduktes

Oberösterreichs. Werden die jährlichen Differenzen des Bruttoregionalproduktes von 2007 bis 2025 aggregiert, so ist eine gesamte Belastung der oberösterreichischen Volkswirtschaft in diesem Zeitraum im Ausmaß von ca. 3,3 Mrd. € festzustellen.⁴³ Es soll allerdings auch an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass dieses Ergebnis nicht bedeutet, dass aufgrund des Klimawandels ein negatives Wirtschaftswachstum in Oberösterreich entsteht. Es kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass das Wirtschaftswachstum aufgrund des Klimawandels geringer ausfällt als ohne Klimaerwärmung.

Durchschnittlich sind in diesem Szenario aufgrund der klimatischen Veränderungen und der daraus resultierenden Folgeerscheinungen in der Periode 2007-2025 um 1.071 Personen jährlich weniger beschäftigt. Von 2007 bis 2025 reduziert sich der private Konsum pro Jahr durchschnittlich um 57 Mio. €, die Nettoexporte sinken pro Jahr im Schnitt um 59 Mio. €.

Aufgrund des sinkenden Heizbedarfs im Winter wird insgesamt im Vergleich zum business-as-usual-Szenario der Endenergieverbrauch in Oberösterreich auch in diesem Szenario sinken - der steigende Strombedarf im Sommer gleicht somit den sinkenden Heizbedarf im Winter nicht aus. Somit entsteht auch hier die paradoxe Situation, dass aufgrund der Klimaerwärmung, die vor allem durch den Einsatz von Energie anthropogen mitverursacht wird, der Endenergieverbrauch in Relation zur Situation ohne Klimaerwärmung wieder sinken wird.⁴⁴

Aufgrund der negativen ökonomischen Effekte der Klimaerwärmung reduziert sich in Relation zum business-as-usual-Szenario die Investitionssumme der oberösterreichischen Wirtschaftssektoren in Szenario 2 jährlich um durchschnittlich 55 Mio. €. Durch den Investitionsrückgang, aber vor allem auch aufgrund der zusätzlich auftretenden Schadenskosten und der damit verbundenen Reduktion des Kapitalstocks verringert sich in Folge auch die Bruttowertschöpfung der heimischen Unternehmen, im Durchschnitt in der Periode 2007-2025 um 145 Mio. €.

Am stärksten betroffen durch die Auswirkungen der Klimaerwärmung ist auch in Szenario 2 in Oberösterreich der Tourismussektor. Gemessen an den gesamten Schadenskosten verzeichnet dieser Sektor im Szenario 2 prozentuell gesehen eine größere Belastung als in Szenario 1. Der Rückgang der sektoralen Bruttowertschöpfung des Tourismussektors entspricht in etwa 24% des gesamten Rückgangs der öö. Bruttowertschöpfung. Dieser Rückgang der sektoralen Wertschöpfung entspricht einem Rückgang im Ausmaß von 4,4% im Jahr 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario. Auch hier sei in diesem

⁴³ Diese Schadenssumme von 3,3 Mrd. € kann nicht mit dem jährlichen Bruttoregionalprodukt Oberösterreichs in Relation gesetzt werden, sondern muss mit dem von 2007 bis 2025 aggregierten jährlichen Bruttoregionalprodukt verglichen werden.

⁴⁴ Vgl. Kapitel 4.1.

Zusammenhang noch zu erwähnen, dass keine Studien zur Veränderung des Sommertourismus in Oberösterreich aufgrund des Klimawandels vorliegen.

Die folgende Abbildung zeigt den Anteil der einzelnen Sektoren am gesamten Rückgang der Bruttowertschöpfung in der Periode 2007 bis 2050 in Szenario 2 sowie die einzelnen prozentuellen Einbußen der Sektoren im Jahr 2025 gegenüber dem business-as-usual-Szenario.

Tabelle 4-5: Sektorale Belastung aufgrund des (abgeschwächten) Klimawandels in den Jahren 2007 bis 2025

Bruttowertschöpfung des öö. Wirtschaftssektors	%-Anteil am gesamten Rückgang der Bruttowertschöpfung der Volkswirtschaft (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) im Jahr 2025	%-Differenz in der Bruttowertschöpfung im Jahr 2025 (i.V. zum business-as-usual-Szenario)
Tourismus	24,4	-4,38
Land- und Forstwirtschaft	6,6	-1,88
Öffentlicher Sektor	5,9	-0,70
Realitätenwesen	17,7	-0,45
Transport	8,0	-0,37
Restl. Dienstleistungen	9,6	-0,35
Sachgütererzeugung	18,9	-0,26
Energiewirtschaft	1,5	-0,32
Bergbau	0,3	-0,11
Finanz	0,6	-0,05
Bau	3,9	-0,06
Handel	2,5	-0,05

Quelle: eigene Berechnung

Enorme Auswirkungen zeigt auch in diesem Szenario das zusätzliche Hochwasserereignis in der Periode 2007 bis 2025. In der folgenden Tabelle und der folgenden Abbildung werden die Auswirkungen der abgeschwächten Klimaerwärmung auf die oberösterreichische Volkswirtschaft detailliert wiedergegeben.

Tabelle 4-6: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen eines abgeschwächten Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (mit zusätzlichen Hochwasserereignissen)

Jahr	Veränderungen im Vergleich zum business-as-usual-Szenario						
	Bruttoregional- produkt	Beschäftigte	Endenergie- verbrauch	privater Konsum	Nettoexporte	Investitionen	Brutto- wertschöpfung
	Mio. €	Personen	TJ	Mio. €	Mio. €	Mio. €	Mio. €
2007	-85	-402	-49	-13	-44	-28	-58
2008	-98	-600	-53	-23	-41	-34	-75
2009	-108	-588	-105	-28	-45	-35	-83
2010	-114	-623	-143	-30	-47	-36	-88
2011	-119	-661	-180	-33	-49	-37	-93
2012**	-432	-3.280	-586	-135	-44	-253	-439
2013	-246	-1.482	-341	-53	-129	-64	-148
2014	-218	-1.042	-258	-82	-84	-52	-161
2015	-178	-931	-346	-56	-73	-48	-130
2016	-171	-982	-385	-62	-63	-46	-137
2017	-163	-982	-455	-58	-60	-45	-134
2018	-163	-1.011	-510	-60	-58	-45	-138
2019	-162	-1.031	-572	-60	-57	-45	-140
2020	-163	-1.057	-633	-61	-56	-45	-144
2021	-164	-1.082	-697	-62	-56	-45	-148
2022	-165	-1.109	-762	-63	-55	-45	-153
2023	-166	-1.136	-830	-65	-55	-46	-158
2024	-168	-1.164	-900	-66	-55	-46	-163
2025	-169	-1.192	-972	-68	-54	-46	-168
Summe	-3.251	*	-8.776	-1.076	-1.126	-1.042	-2.758
Durchschnitt	-171	-1.071	-462	-57	-59	-55	-145

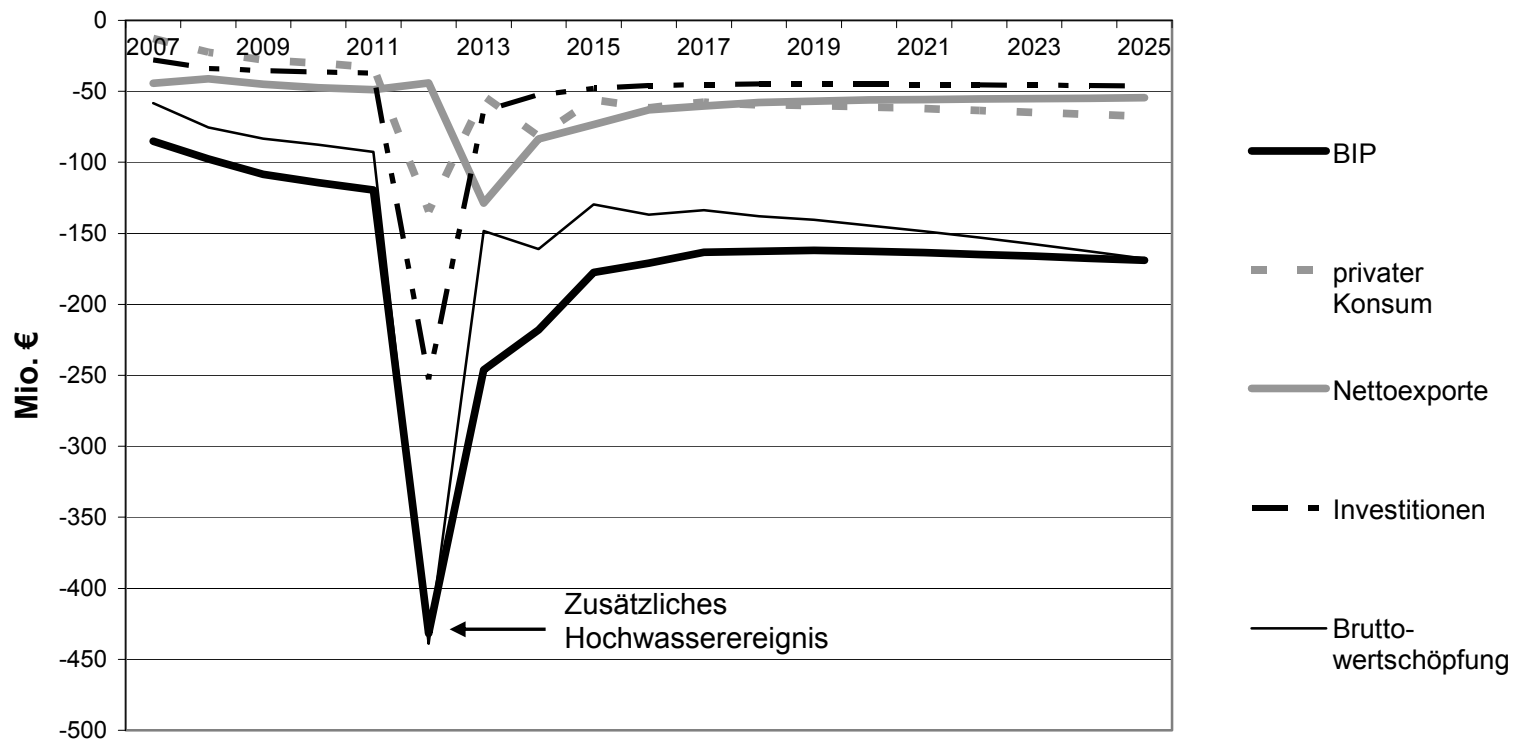
Anmerkung: Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios.

* Eine Aggregation der jährlichen Differenzen in den Beschäftigten darf nicht als gesamte zusätzliche Beschäftigungsveränderung interpretiert werden. Es kann anhand dieser Werte keine Aussage über die Dauer eines bestimmten zusätzlichen Beschäftigungsverhältnisses getroffen werden.

** 2012: zusätzliches Hochwasserereignis

Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 4-3: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen eines abgeschwächten Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (mit zusätzlichen Hochwasserereignissen)



Anmerkung: Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios.
 Quelle: eigene Berechnung

Um die Effekte der Klimaerwärmung ohne die zusätzlich (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) auftretenden Hochwasserereignisse veranschaulichen zu können, wird auch in Szenario 2 eine Simulation vorgenommen, die die Schäden aus Hochwasserereignissen von der Simulation exkludiert.

Die detaillierten volkswirtschaftlichen Effekte der abgeschwächten Klimaerwärmung ohne zusätzliche Hochwasserereignisse können Tabelle 4-7 und Abbildung 4-4 entnommen werden. Die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Auswirkungen sowie die aggregierten Effekte der Klimaerwärmung sind selbstverständlich geringer ausgeprägt als in der Simulation mit zusätzlichen Hochwasserereignissen. Der im obigen Szenario zu beobachtende Extremwert durch ein zusätzliches Hochwasser im Jahr 2012 ist in dieser Simulation somit nicht mehr zu finden.

Die Simulation des Szenarios 2 ohne zusätzliches Hochwasserereignis ergibt, dass im Vergleich zum business-as-usual-Szenario aufgrund der Klimaerwärmung das Bruttoregionalprodukt in Oberösterreich in der Periode 2007 bis 2025 um 132 Mio. € geringer ist. Der jährliche relative „Rückgang“ von ca. 130 Mio. € entspricht in etwa 0,3% des aktuellen öö. Bruttoregionalproduktes. Werden die jährlichen Differenzen des Bruttoregionalproduktes von 2007 bis 2025 aggregiert, so kann festgestellt werden, dass die (abgeschwächte) Klimaerwärmung - ohne zusätzliches Hochwasserereignis - eine gesamte Belastung der öö. Volkswirtschaft in diesem Zeitraum von ca. 2,5 Mrd. € verursacht.⁴⁵

Durchschnittlich werden jährlich ca. 820 weniger Beschäftigungsverhältnisse (Vollzeitäquivalente) in Oberösterreich existieren. Diese Entwicklungen basieren zum einen auf einer Reduktion (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) des privaten Konsums von durchschnittlich 42 Mio. € pro Jahr, sowie auf einer Reduktion der Investitionen um 39 Mio. € pro Jahr und zum anderen auf einem Rückgang der Nettoexporte um jährlich 50 Mio. €. Der Rückgang in den Investitionen sowie die direkten Schadenskosten reduzieren in diesem Fall die Bruttowertschöpfung der oberösterreichischen Wirtschaftssektoren um durchschnittlich 114 Mio. € pro Jahr im Vergleich zum business-as-usual-Szenario.

⁴⁵ Diese Schadenssumme von 3 Mrd. € kann nicht mit dem jährlichen Bruttoregionalprodukt Oberösterreichs in Relation gesetzt werden, sondern muss mit dem von 2007 bis 2025 aggregierten jährlichen Bruttoregionalprodukt verglichen werden.

Tabelle 4-7: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen eines abgeschwächten Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (ohne zusätzliche Hochwasserereignisse)

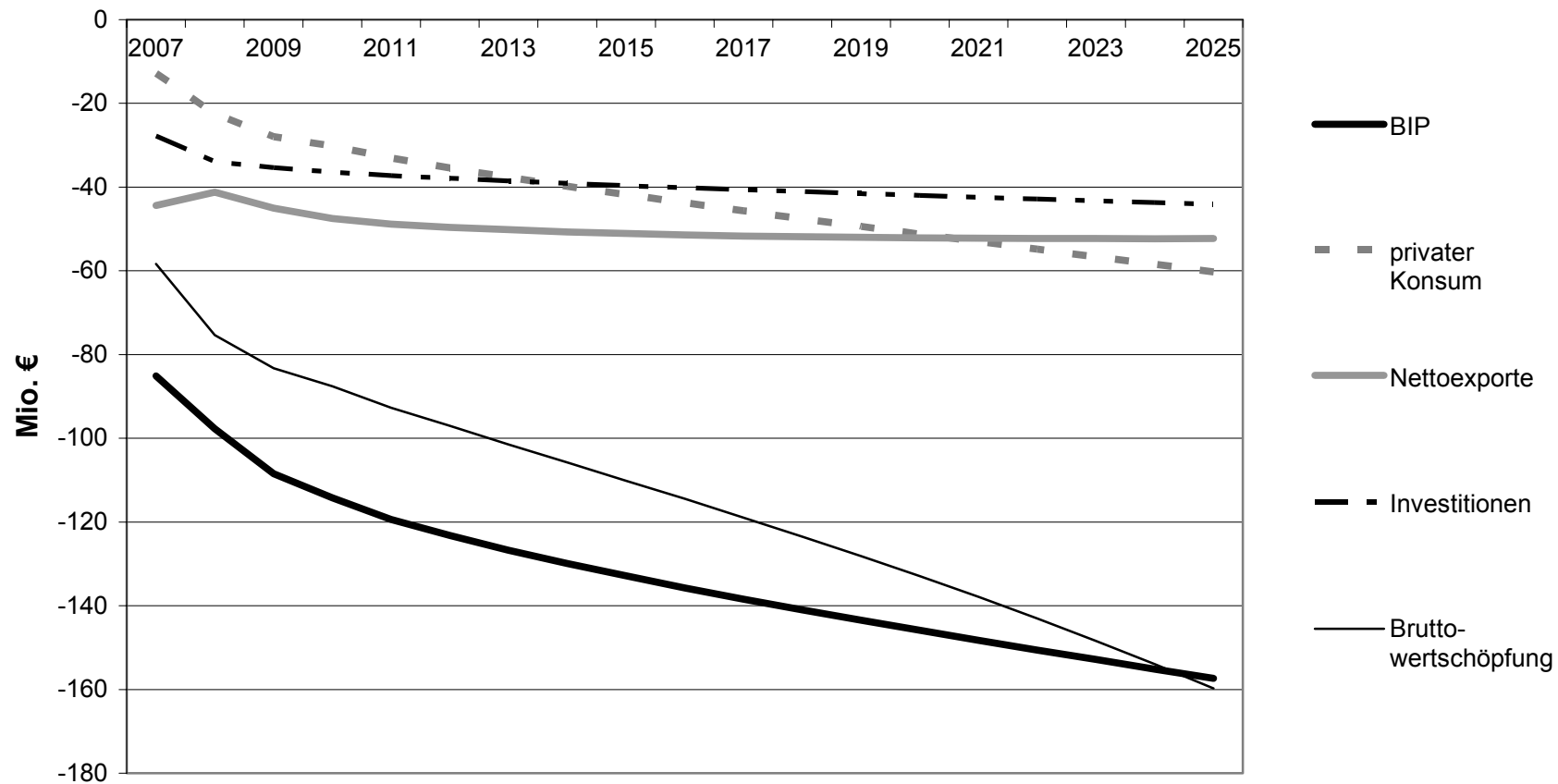
Jahr	Veränderungen im Vergleich zum business-as-usual-Szenario						
	Bruttoregional- produkt	Beschäftigte	Endenergie- verbrauch	privater Konsum	Nettoexporte	Investitionen	Brutto- wertschöpfung
	Mio. €	Personen	TJ	Mio. €	Mio. €	Mio. €	Mio. €
2007	-85	-402	-49	-13	-44	-28	-58
2008	-98	-600	-53	-23	-41	-34	-75
2009	-108	-588	-105	-28	-45	-35	-83
2010	-114	-623	-143	-30	-47	-36	-88
2011	-119	-661	-180	-33	-49	-37	-93
2012	-123	-696	-224	-35	-50	-38	-97
2013	-127	-730	-266	-38	-50	-39	-101
2014	-130	-762	-311	-40	-51	-39	-106
2015	-133	-794	-358	-42	-51	-40	-110
2016	-136	-826	-407	-44	-51	-40	-114
2017	-138	-857	-458	-46	-52	-41	-119
2018	-141	-889	-511	-48	-52	-41	-123
2019	-143	-921	-566	-49	-52	-42	-128
2020	-146	-953	-623	-51	-52	-42	-133
2021	-148	-984	-683	-53	-52	-42	-138
2022	-151	-1.016	-745	-55	-52	-43	-143
2023	-153	-1.048	-810	-57	-52	-43	-148
2024	-155	-1.081	-877	-58	-52	-44	-154
2025	-157	-1.113	-947	-60	-52	-44	-160
Summe	-2.506	*	-8.314	-802	-949	-748	-2.173
Durchschnitt	-132	-818	-438	-42	-50	-39	-114

Anmerkung: Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios.

* Eine Aggregation der jährlichen Differenzen in den Beschäftigten darf nicht als gesamte zusätzliche Beschäftigungsveränderung interpretiert werden. Es kann anhand dieser Werte keine Aussage über die Dauer eines bestimmten zusätzlichen Beschäftigungsverhältnisses getroffen werden.

Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 4-4: Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft durch die Auswirkungen eines abgeschwächten Klimawandels bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Verlauf (ohne zusätzliche Hochwasserereignisse)



Anmerkung: Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios.
 Quelle: eigene Berechnung

4.2.1 Kalkulation der volkswirtschaftlichen Veränderungen von 2026 bis 2050 für Oberösterreich bei einer abgeschwächten Klimaerwärmung

Die Problematik der Hochrechnung der Simulationsergebnisse bis zum Jahr 2025 wurde bereits in Kapitel 4.1.1 ausführlich geschildert, aus diesem Grund sei an dieser Stelle auf dieses Kapitel verwiesen.

In Szenario 2, das eine abgeschwächte Klimaerwärmung annimmt, errechnet sich für die oberösterreichische Volkswirtschaft ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang im Bruttoregionalprodukt von ca. 200 Mio. € in der Periode 2007 bis 2050 im Vergleich zu einer Situation ohne Klimaerwärmung. Dieser Wert basiert auf der Annahme von zusätzlichen Hochwasserereignissen. Ohne diese zusätzlichen klimatischen Extremereignisse beläuft sich der relative Rückgang des öö. Bruttoregionalproduktes pro Jahr auf durchschnittlich ca. 160 Mio. € im Vergleich zum business-as-usual-Szenario.

Werden die jährlichen Differenzen im Bruttoregionalprodukt aggregiert, so ergibt sich in Szenario 2 inklusive Schäden aus zusätzlichen Hochwasserereignissen eine gesamte Schadenssumme für die öö. Volkswirtschaft im Ausmaß von ca. 9 Mrd. € in der Periode 2007 bis 2050 aufgrund der (abgeschwächten) Klimaerwärmung. Exklusive zusätzliche Hochwasserereignisse beläuft sich der Rückgang auf ca. 7 Mrd. €. Die Tabelle 4-8 gibt einen Überblick zu den kalkulierten Ergebnissen.

Tabelle 4-8: Kalkulation der volkswirtschaftlichen Veränderungen in Oberösterreich in Szenario 2 (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) bis zum Jahr 2050

Veränderung in Relation zum business-as-usual-Szenario		Szenario 2 mit zusätzlichen Hochwasserereignissen**	Szenario 2 ohne zusätzliche Hochwasserereignisse
Bruttoregionalprodukt, Mio. €	Summe 2007-2050	-9.076	-7.007
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-206	-159
Beschäftigte*	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-1.542	-1.222
Privater Konsum, Mio. €	Summe 2007-2050	-3.850	-2.835
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-88	-64
Investitionen, Mio. €	Summe 2007-2050	-2.615	-1.963
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-59	-45
Nettoexporte, Mio. €	Summe 2007-2050	-2.572	-2.170
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-58	-49

Quelle: eigene Berechnungen

* Eine Aggregation der jährlichen Differenzen in den Beschäftigten darf nicht als gesamte zusätzliche Beschäftigungsveränderung interpretiert werden. Es kann anhand dieser Werte keine Aussage über die Dauer eines bestimmten zusätzlichen Beschäftigungsverhältnisses getroffen werden.

** 2012: zusätzliches Hochwasserereignis

5 Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Volkswirtschaft

Anhand der Simulationsergebnisse der Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft erfolgt in diesem Kapitel eine Kalkulation bzw. Hochrechnung zur Ermittlung der Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Volkswirtschaft.

Das neue Simulationsmodell MOVE des Energieinstitutes an der Johannes Kepler Universität Linz wurde für volkswirtschaftliche und energieökonomische Fragestellungen des Bundeslandes Oberösterreich konzipiert.⁴⁶ Dies hat zur Folge, dass die oberösterreichischen Simulationsergebnisse detaillierter analysiert werden können. Die ökonomischen Strukturen der oberösterreichischen und der österreichischen Volkswirtschaft sind allerdings als relativ kongruent zu bezeichnen, sodass auch eine approximative Hochrechnung der oberösterreichischen Werte auf das nationale Niveau durchgeführt werden kann. Bei der Umrechnung der oberösterreichischen Werte auf das nationale Niveau werden die Differenzen in der ökonomischen Struktur berücksichtigt (so wird beispielsweise für Österreich in Relation eine andere Investitionstätigkeit ausgewiesen als für Oberösterreich). Die Einbeziehung dieser Differenzen erlaubt die approximative Umlage der Simulationsergebnisse auf den nationalen Level, wenngleich klar konstatiert werden muss, dass die errechneten Zahlen einen weitaus größeren Unsicherheitsfaktor beinhalten, als die Simulationsergebnisse für Oberösterreich.

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen ökonomischen Strukturen der österreichischen und der oberösterreichischen Volkswirtschaft errechnet sich für das Szenario 1 ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang des österreichischen Bruttoinlandsproduktes im Ausmaß von 1,6 Mrd. € im Vergleich zum business-as-usual-Szenario in der Periode 2007 bis 2050. Dies entspricht in etwa 0,65% des aktuellen österreichischen Bruttoinlandsproduktes. Unter der Annahme, dass keine zusätzlichen Hochwasserereignisse stattfinden, kann ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang von 1,1 Mrd. € errechnet werden. Werden die jährlichen Differenzen des Bruttoinlandsproduktes von 2007 bis 2050 aggregiert, so kann festgestellt werden, dass die Klimaerwärmung eine gesamte Belastung der österreichischen Volkswirtschaft in diesem Zeitraum von ca. 70 Mrd. € verursacht.⁴⁷ Es soll allerdings auch an diese Stelle nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass dieses Ergebnis nicht bedeutet, dass aufgrund des Klimawandels ein negatives Wirtschaftswachstum in Österreich entsteht. Es kann lediglich die Aussage getroffen werden,

⁴⁶ Vgl. Kapitel 8.

⁴⁷ Diese Schadenssumme von 70 Mrd. € kann nicht mit dem jährlichen Bruttoregionalprodukt Oberösterreichs in Relation gesetzt werden, sondern muss mit dem von 2007 bis 2050 aggregierten jährlichen Bruttoregionalprodukt verglichen werden.

dass das Wirtschaftswachstum aufgrund des Klimawandels geringer ausfällt als ohne Klimaerwärmung.

Durchschnittlich werden in der Beobachtungsperiode 2007 bis 2050 in Österreich jährlich ca. 12.600 weniger Beschäftigungsverhältnisse (Vollzeitäquivalente) existieren. Diese Entwicklungen basieren zum einen auf einer Reduktion (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario) des privaten Konsums in Österreich von durchschnittlich jährlich 0,9 Mrd. € sowie auf einer Reduktion der Investitionen um 0,6 Mrd. € und zum anderen auf einem Rückgang der österreichischen Nettoexporte um 0,2 Mrd. €. Die folgende Tabelle gibt einen ausführlichen Überblick zu den einzelnen Auswirkungen, getrennt für die Periode 2007-2025 und 2007-2050 sowie der Simulationen inklusive und die Simulation exklusive zusätzlicher Hochwasserereignisse.

Tabelle 5-1: Übersicht zu den Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die österreichische Volkswirtschaft in Szenario 1

Veränderung in Relation zum business-as-usual-Szenario, für Österreich hochgerechnet		Szenario 1 mit zusätzlichen Hochwasserereignissen	Szenario 1 ohne zusätzliche Hochwasserereignisse
Bruttoregionalprodukt Österreich, Mrd. €	Summe 2007-2025	-24,2	-14,9
	Summe 2007-2050	-71,6	-47,0
	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-1,3	-0,8
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-1,6	-1,1
Beschäftigte Österreich*	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-9.800	-6.200
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-12.600	-10.200
Privater Konsum Österreich, Mrd. €	Summe 2007-2025	-10,3	-6,5
	Summe 2007-2050	-38,6	-25,1
	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-0,6	-0,3
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-0,9	-0,6
Investitionen Österreich, Mrd. €	Summe 2007-2025	-10,2	-5,7
	Summe 2007-2050	-24,9	-15,9
	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-0,5	-0,3
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-0,6	-0,4
Nettoexporte Österreich, Mrd. €	Summe 2007-2025	-3,7	-2,6
	Summe 2007-2050	-8,1	-6,0
	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-0,2	-0,1
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-0,2	-0,1

Quelle: eigene Berechnungen

* Eine Aggregation der jährlichen Differenzen in den Beschäftigten darf nicht als gesamte zusätzliche Beschäftigungsveränderung interpretiert werden. Es kann anhand dieser Werte keine Aussage über die Dauer eines bestimmten zusätzlichen Beschäftigungsverhältnisses getroffen werden.

Äquivalent zu den Ergebnissen für die oberösterreichische Volkswirtschaft ergeben sich selbstverständlich in einer Situation mit einer leicht abgeschwächten Klimaerwärmung⁴⁸ geringere negative Auswirkungen auf die österreichische Volkswirtschaft als in Szenario 1 mit einer stärkeren Klimaerwärmung. In Szenario 2 kann ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang des österreichischen Bruttoinlandsproduktes im Vergleich zum business-as-usual-Szenario in der Periode 2007 bis 2050 im Ausmaß von 1,1 Mrd. € festgestellt werden. Dies entspricht in etwa 0,47% des aktuellen österreichischen Bruttoinlandsproduktes. Unter der Annahme, dass keine zusätzlichen Hochwasserereignisse statt finden, kann ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang von 0,8 Mrd. € errechnet werden.

Tabelle 5-2: Übersicht zu den Auswirkungen der abgeschwächten Klimaerwärmung auf die österreichische Volkswirtschaft in Szenario 2

Veränderung in Relation zum business-as-usual-Szenario, für Österreich hochgerechnet		Szenario 2 mit zusätzlichen Hochwasserereignissen	Szenario 2 ohne zusätzliche Hochwasserereignisse
Bruttoregionalprodukt Österreich, Mrd. €	Summe 2007-2025	-16,1	-12,1
	Summe 2007-2050	-47,0	-35,6
	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-0,8	-0,6
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-1,1	-0,8
Beschäftigte Österreich*	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-6.000	-4.600
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-8.700	-6.900
Privater Konsum Österreich, Mrd. €	Summe 2007-2025	-6,8	-5,1
	Summe 2007-2050	-24,5	-18,0
	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-0,4	-0,3
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-0,6	-0,4
Investitionen Österreich, Mrd. €	Summe 2007-2025	-6,3	-4,5
	Summe 2007-2050	-15,8	-11,9
	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-0,3	-0,2
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-0,4	-0,3
Nettoexporte Österreich, Mrd. €	Summe 2007-2025	-3,0	-2,5
	Summe 2007-2050	-6,8	-5,7
	Jahresdurchschnitt 2007-2025	-0,2	-0,1
	Jahresdurchschnitt 2007-2050	-0,2	-0,1

Quelle: eigene Berechnungen

* Eine Aggregation der jährlichen Differenzen in den Beschäftigten darf nicht als gesamte zusätzliche Beschäftigungsveränderung interpretiert werden. Es kann anhand dieser Werte keine Aussage über die Dauer eines bestimmten zusätzlichen Beschäftigungsverhältnisses getroffen werden.

⁴⁸ Vgl. Kapitel 2.2 und 4.2.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie *Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Klimaerwärmung in Oberösterreich und Österreich* setzt sich das Ziel, einen wissenschaftlichen Beitrag zur Diskussion der Auswirkungen der Klimaerwärmung zu leisten und erstmals für Österreich sowie für ein österreichisches Bundesland konkrete monetäre volkswirtschaftliche Effekte der Klimaveränderung zu liefern.

Mittels des am Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz erstellten Simulationsmodells *MOVE* wird untersucht, in welchem Ausmaß die monetär bewertbaren Auswirkungen der Klimaerwärmung die heimische Volkswirtschaft beeinflussen. Für die Berechnungen der volkswirtschaftlichen Folgeerscheinungen werden aktuelle meteorologische Prognosen herangezogen, die für Oberösterreich einer Regionalisierung unterzogen werden. Dies erlaubt zum einen die deskriptive Analyse einzelner Schadenskosten aufgrund von klimatischen Veränderungen und darauf aufbauend zum anderen auch die simultane Bewertung der Auswirkungen dieser Schadensfälle auf die oberösterreichische und auf die österreichische Volkswirtschaft im Vergleich zu einer Situation, in der die aktuellen klimatischen Bedingungen konstant bleiben. Im Vergleichsszenario dieser Studie, dem *business-as-usual-Szenario*, werden die klimatischen Bedingungen konstant zum aktuellen Niveau gehalten, sodass die Veränderungen in den klimatischen Variablen in den neu definierten Szenarien abgebildet werden und somit die Veränderungen in der Volkswirtschaft analysiert werden können.

Die Studie enthält grundsätzlich zwei verschiedene Szenarien (zusätzlich zum *business-as-usual-Szenario*). In Szenario 1 erfolgt die Analyse der volkswirtschaftlichen Veränderungen durch die aktuell prognostizierte Klimaerwärmung für Oberösterreich und Österreich bis 2050. In Szenario 2 wird die Annahme getroffen, dass es global gelungen ist, die Klimaerwärmung leicht abzuschwächen, wobei dennoch noch eine signifikante Erhöhung der Temperaturen zu beobachten ist. Die in der aktuellen Diskussion dominierenden Werte des *Fourth Assessment Reports* des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC (2007)) bieten nur Prognosen zur Veränderung der globalen Temperaturen, jedoch keine exakten Werte zur klimatischen Veränderung in Österreich und im Speziellen in Oberösterreich. Aus diesem Grund basieren die Berechnungen der vorliegenden Studien in Szenario 1 auf den regionalisierten Daten der globalen Klimaerwärmung in Loibl et al. (2007a). Das Verhältnis der Temperaturveränderungen der beiden Szenarien 1 und 2 entspricht dem Verhältnis der Szenarien A1B und B1 des *Fourth Assessment Reports* des IPCC.

Die Berechnungen der Veränderungen der Temperaturen in Oberösterreich im Vergleich zum *business-as-usual-Szenario* ergeben eine Erhöhung der Temperaturen im jährlichen

Mittel für das Szenario 1 dieser Studie von insgesamt +1,63° Celsius im Jahr 2050 gegenüber 2007. In Szenario 2 errechnet sich für Oberösterreich im Vergleich zum business-as-usual-Szenario eine Erhöhung der Temperaturen von insgesamt +1,04° Celsius im Jahr 2050. Für die Berechnung der Niederschlagsänderungen im Zuge der Klimaerwärmung in Oberösterreich bis 2050 wurde die idente Herangehensweise gewählt wie zur Erstellung der Berechnung der Temperaturen.

Mittels Literaturrecherche werden die einzelnen direkten Schadenskosten aufgrund von spezifischen klimatischen Auswirkungen analysiert. Generell kann im Zuge der Klimaerwärmung zwischen Schäden durch Wetterextremereignissen, durch höhere Temperaturen im Sommer, durch Temperaturveränderungen im Winter sowie durch Niederschlagsänderungen unterschieden werden, wobei teilweise ein Zusammenspiel verschiedener Klimafaktoren für eintretende Schadensfälle verantwortlich ist. Darüber hinaus können aufgrund des Klimawandels auch einzelne positive Effekte für die Volkswirtschaft beobachtet werden.

Zu den am Schwierigsten zu bewertenden klimatischen Auswirkungen zählt die Veränderung von Frequenz und Intensität der Wetterextreme. Meteorologische Studien zeigen sich als sehr zurückhaltend in Prognosen zur zukünftigen Entwicklung von Wetterextremen in einer spezifischen Region, da die Entstehung eines klimatischen Extremereignisses mit zahlreichen Faktoren verbunden ist, deren Auftreten und Zusammenwirken nur äußerst schwer vorhersagbar sind. Ein Rückblick auf das Auftreten solcher Ereignisse in Österreich in den letzten Jahren zeigt, dass insbesondere Hochwasserereignisse signifikante monetäre und somit volkswirtschaftliche Auswirkungen mit sich ziehen. Aufgrund des Fehlens einer exakten Prognose zur zukünftigen Frequenz von regional bedeutsamen Hochwasserereignissen wird in dieser Studie die Simulation von verschiedenen Frequenzen der zukünftigen Hochwasserereignisse durchgeführt. Zusätzlich zu volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Hochwasserereignissen werden auch die potentiellen Effekte von Stürmen sowie von Hagel- und Lawinenereignissen untersucht.

Die heimische Volkswirtschaft könnte auch durch Klimaereignisse betroffen sein, die in anderen Weltregionen auftreten. Konkret von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der mögliche Effekt eines Rohölpreisanstiegs durch Produktionsausfälle aufgrund von Wetterextremen wie Hurricanes. Allerdings kann keine signifikante Auswirkung des Jahrhundert-Hurricanes *Katrina* auf die internationalen Rohölpreise festgestellt werden.

Die Auswirkungen von Temperaturänderungen im Sommer beziehen sich vor allem auf Veränderungen der Produktionsprozesse der einzelnen Wirtschaftssektoren. Neben Auswirkungen der Änderungen von klimatischen Bedingungen auf die Bepflanzung und Ernteerträge in der Landwirtschaft entstehen durch zusätzliche Hitzeperioden sowie einer

generellen Anhebung der Temperaturen im Sommer Verluste durch eine geringere Leistungsfähigkeit der Arbeitskräfte sowie durch vermehrt auftretende Sterbefälle in Hitzeperioden. Als weitere Auswirkung ist der zusätzliche Strombedarf für Klimaanlage inklusive der zu tätigen Mehrkosten für Energie und Gerätebestand zu nennen.

Eine Erhöhung der Temperaturen im Winterhalbjahr bzw. in der Heizperiode hat die Konsequenz, dass ein geringerer Raumwärmebedarf in der Wirtschaft entsteht. Diese Auswirkung zieht eindeutig positive volkswirtschaftliche Effekte mit sich. Zum einen verringert sich der private energetische Konsum und zum anderen können die Produktionskosten aufgrund der geringeren Energiekosten verringert werden, sodass eine höhere Wertschöpfung im Produktionsprozess generiert werden kann bzw. eine Substitution zu anderen Produktionsinputs möglich ist. Die Erhöhung der Temperaturen im Winter zieht jedoch auch negative Effekte mit sich. Die steigenden Temperaturen aufgrund der Erderwärmung setzen den heimischen Wintertourismus aufgrund der Anhebung der Schneefallgrenze verstärkt unter Druck und senken die Wertschöpfung dieses Sektors.

Die Analyse der Auswirkungen der Niederschlagsänderungen auf die Produktion von elektrischer Energie aus Wasserkraft ist als äußerst diffizil zu bewerten. Zusammenfassend ist jedoch davon auszugehen, dass mit Ausnahme von Auswirkungen auf Ernteerträge sowie von Hochwasserereignissen aufgrund von Starkregen keine Auswirkungen zu beobachten sind. Dies inkludiert auch, dass keine signifikanten Veränderungen in der Produktion von elektrischer Energie aus Wasserkraft zu beobachten sind.

6.1 Übersicht zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die oberösterreichische Volkswirtschaft (Simulationsergebnisse)

Zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf die oberösterreichische Volkswirtschaft werden vier Simulationen im Modell MOVE durchgeführt. In Szenario 1 werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen für Oberösterreich der prognostizierten Klimaerwärmung von +1,63° Celsius (bis zum Jahr 2050) simuliert. Aufgrund der dominanten Effekte zusätzlicher Hochwasserereignisse wird das Szenario 1 auch ohne zusätzliches Hochwasserereignis modelliert, um die übrigen Effekte deutlicher erkennen zu können.

Im Szenario 2 erfolgt die Abschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen mittels Modellsimulation einer etwas abgeschwächten Klimaerwärmung (+1,04°C bis zum Jahr 2050) für Oberösterreich. Auch hier erfolgt schließlich eine zusätzliche Simulation ohne Annahme eines Auftretens zusätzlicher Hochwasserereignisse.

Ein Problem in der Simulationsanwendung stellt der lange Beobachtungszeitraum dar. Eine Modellschätzung von detaillierten makroökonomischen Modellen wie MOVE über eine

Beobachtungsperiode von 2007 bis 2050 kann aufgrund von ökonometrischen Beschränkungen sowie des unsicheren Verlaufs des zukünftigen technischen Fortschritts nicht mehr vertreten werden. Aus diesem Grund erfolgen die Simulationen bis zum Jahr 2025. Für die restliche Periode wird eine Hochrechnung auf Basis der ökonomischen Entwicklungen und der eruierten klimatischen Veränderungen durchgeführt. In Szenario 1 errechnet sich somit als Ausgangsbasis für das Jahr 2025 ein Temperaturzuwachs von 0,7° Celsius (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario).

Im Durchschnitt verringert sich das oberösterreichische Bruttoregionalprodukt aufgrund der Klimaerwärmung in den Jahren 2007 bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario ohne zusätzlicher Klimaerwärmung um jährlich 250 Mio. €. Werden die jährlichen Differenzen des Bruttoregionalproduktes von 2007 bis 2025 aggregiert, so kann eine gesamte Belastung der öö. Volkswirtschaft in diesem Zeitraum von ca. 4,7 Mrd. € konstatiert werden.⁴⁹ Der jährliche relative „Rückgang“ von 250 Mio. € entspricht in etwa 0,6% des aktuellen Bruttoregionalproduktes Oberösterreichs. Es soll allerdings ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass dieses Ergebnis nicht bedeutet, dass aufgrund des Klimawandels ein negatives Wirtschaftswachstum in Oberösterreich entsteht. Es kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass das Wirtschaftswachstum aufgrund des Klimawandels geringer ausfällt als ohne dem Auftreten der Klimaerwärmung.

Aufgrund der negativen ökonomischen Effekte der Klimaerwärmung reduziert sich in Relation zum business-as-usual-Szenario die Investitionssumme der oberösterreichischen Wirtschaftssektoren jährlich um durchschnittlich 89 Mio. €. Durch den Investitionsrückgang, aber vor allem auch aufgrund der zusätzlich auftretenden Schadenskosten und der damit verbundenen Reduktion des Kapitalstocks verringert sich in Folge auch die Bruttowertschöpfung der heimischen Unternehmen, im Durchschnitt in der Periode 2007-2025 um 225 Mio. €.

Am stärksten betroffen durch die Auswirkungen der Klimaerwärmung ist in Oberösterreich der Tourismussektor. Der Rückgang im Wintertourismus durch die Anhebung der Schneefallgrenze aufgrund des Temperaturanstiegs entspricht in etwa 20% des gesamten Rückgangs der öö. Bruttowertschöpfung im Jahr 2025 (in Relation zum business-as-usual-Szenario). Am geringsten betroffen durch den Klimawandel (gemessen in % der Bruttowertschöpfung) in Relation zum business-as-usual-Szenario sind im Jahr 2025 der Handel, der Bausektor sowie der Finanzsektor.

Enorme Auswirkungen zeigen die zusätzlichen Hochwasserereignisse, die in Szenario 1 in dieser Simulation alle zehn Jahre zu beobachten sind.

⁴⁹ Diese Schadenssumme von 4,7 Mrd. € kann nicht mit dem jährlichen Bruttoregionalprodukt Oberösterreichs in Relation gesetzt werden, sondern muss mit dem von 2007 bis 2025 aggregierten jährlichen Bruttoregionalprodukt verglichen werden.

Die Simulation des Szenarios 1 ohne zusätzliche Hochwasserereignisse ergibt, dass im Vergleich zum business-as-usual-Szenario aufgrund der Klimaerwärmung das Bruttoregionalprodukt in Oberösterreich in der Periode 2007 bis 2025 um jährlich 158 Mio. € geringer ist. Durchschnittlich werden jährlich ca. 1.100 weniger Beschäftigungsverhältnisse (in Vollzeitäquivalenten) in Oberösterreich existieren. Diese Entwicklungen basieren zum einen auf einer Reduktion des privaten Konsums von durchschnittlich 54 Mio. € pro Jahr, sowie auf einer Reduktion der Investitionen um 50 Mio. € pro Jahr und zum anderen auf einem Rückgang der Nettoexporte um 53 Mio. € pro Jahr (im Vergleich zum business-as-usual-Szenario). Der Rückgang in den Investitionen sowie die direkten Schadenskosten reduzieren jährlich die Bruttowertschöpfung der oberösterreichischen Wirtschaftssektoren in diesem Fall um durchschnittlich 154 Mio. € im Vergleich zum business-as-usual-Szenario.

In Bezug auf die Hochrechnung der Simulationsergebnisse muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass eine Kalkulation bis 2050 mit vielen Unsicherheiten verbunden ist. Grundlegende Technologiesprünge bzw. schwerwiegende ökonomische Schocks können nicht berücksichtigt werden. Die vorgenommene Kalkulation impliziert darüber hinaus, dass der technologische Fortschritt des business-as-usual-Szenarios sowie der Szenarien 1 und 2 keine signifikanten Unterschiede aufweist. Dies bedeutet, dass der Klimawandel den Grad des technischen Fortschrittes nicht verändert. Mögliche sektorale Veränderungen im technischen Fortschritt beispielsweise aufgrund von Innovationen im Umwelttechnikbereich werden wiederum kompensiert durch einen geringeren Innovationsgrad in anderen Sektoren.

Unter Berücksichtigung dieser Problematik errechnet sich für die oberösterreichische Volkswirtschaft durch die Klimaerwärmung in Szenario 1 ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang im Bruttoregionalprodukt in der Periode 2007 bis 2050 im Vergleich zu einer Situation ohne Klimaerwärmung von ca. 300 Mio. €. Werden die jährlichen Differenzen im Bruttoregionalprodukt aggregiert, so ergibt sich inklusive Schäden aus zusätzlichen Hochwasserereignissen eine gesamte Schadenssumme für die öö. Volkswirtschaft in der Periode 2007 bis 2050 im Ausmaß von 13,5 Mrd. € aufgrund der Klimaerwärmung. Exklusive zusätzliche Hochwasserereignisse beläuft sich der Rückgang auf ca. 9 Mrd. €.

Die Modellsimulation unter der Voraussetzung eines abgeschwächten Klimawandels (Szenario 2) ergibt, dass sich im Durchschnitt das oberösterreichische Bruttoregionalprodukt aufgrund der Klimaerwärmung in den Jahren 2007 bis 2025 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario ohne zusätzlicher Klimaerwärmung um jährlich ca. 170 Mio. € verringert. Werden die jährlichen Differenzen des Bruttoregionalproduktes von 2007 bis 2025 aggregiert, so ist eine gesamte Belastung der oberösterreichischen Volkswirtschaft in diesem Zeitraum im Ausmaß von ca. 3,3 Mrd. € festzustellen. Es soll allerdings auch an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass dieses Ergebnis nicht bedeutet, dass aufgrund des Klimawandels ein negatives Wirtschaftswachstum in Oberösterreich entsteht.

Die Simulation des Szenarios 2 ohne zusätzliches Hochwasserereignis ergibt, dass im Vergleich zum business-as-usual-Szenario aufgrund der Klimaerwärmung das Bruttoregionalprodukt in Oberösterreich in der Periode 2007 bis 2025 um jährlich 132 Mio. € geringer ist. Der jährliche relative „Rückgang“ von ca. 130 Mio. € entspricht in etwa 0,3% des aktuellen öö. Bruttoregionalproduktes.

Aufbauend auf den Simulationsergebnissen errechnet sich in Szenario 2 für die Periode 2007 bis 2050 für die oberösterreichische Volkswirtschaft ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang im Bruttoregionalprodukt von ca. 200 Mio. €. Dieser Wert basiert auf der Annahme zusätzlicher Hochwasserereignisse. Ohne diese zusätzlichen klimatischen Extremereignisse beläuft sich der relative Rückgang des öö. Bruttoregionalproduktes im Jahr auf durchschnittlich ca. 160 Mio. € im Vergleich zum business-as-usual-Szenario.

6.2 Übersicht zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Volkswirtschaft (berechnete Ergebnisse)

Anhand der ermittelten Simulationsergebnisse der Veränderungen in der oberösterreichischen Volkswirtschaft erfolgt eine Kalkulation bzw. Hochrechnung zur Ermittlung der Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Volkswirtschaft.

Das neue Simulationsmodell MOVE des Energieinstitutes an der Johannes Kepler Universität Linz wurde für volkswirtschaftliche und energieökonomische Fragestellungen des Bundeslandes Oberösterreich konzipiert. Dies hat natürlich zur Folge, dass die oberösterreichischen Simulationsergebnisse detaillierter analysiert werden können. Die ökonomische Struktur der oberösterreichischen und der österreichischen Volkswirtschaft sind allerdings als relativ kongruent zu bezeichnen, sodass auch eine approximative Hochrechnung der oberösterreichischen Werte auf das nationale Niveau durchgeführt werden kann. Bei der Umrechnung der oberösterreichischen Werte auf das nationale Niveau werden die Differenzen in der ökonomischen Struktur berücksichtigt. Die Einbeziehung dieser Differenzen erlaubt erst die approximative Umlage der Simulationsergebnisse auf das nationale Niveau, wenngleich klar konstatiert werden muss, dass die errechneten Zahlen einen weitaus größeren Unsicherheitsfaktor beinhalten, als die Simulationsergebnisse für Oberösterreich aufweisen.

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen ökonomischen Strukturen der österreichischen und der oberösterreichischen Volkswirtschaft errechnet sich für das Szenario 1 ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang des österreichischen Bruttoinlandsproduktes im Ausmaß von 1,6 Mrd. € im Vergleich zum business-as-usual-Szenario in der Periode 2007 bis 2050. Dies entspricht in etwa 0,65% des aktuellen österreichischen

Bruttoinlandsproduktes. Unter der Annahme, dass keine zusätzlichen Hochwasserereignisse stattfinden, kann ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang von 1,1 Mrd. € errechnet werden. Werden die jährlichen Differenzen des Bruttoinlandsproduktes von 2007 bis 2050 aggregiert, so kann festgestellt werden, dass die Klimaerwärmung eine gesamte Belastung der österreichischen Volkswirtschaft in diesem Zeitraum von ca. 70 Mrd. € verursacht. Diese Schadenssumme kann selbstverständlich nicht mit dem jährlichen Bruttoinlandsprodukt Österreichs in Relation gesetzt werden sondern muss mit dem von 2007 bis 2050 aggregierten jährlichen Bruttoinlandsprodukt verglichen werden.

Äquivalent zu den Ergebnissen für die oberösterreichische Volkswirtschaft ergeben sich selbstverständlich in einer Situation mit einer leicht abgeschwächten Klimaerwärmung geringere negative Auswirkungen auf die österreichische Volkswirtschaft als in Szenario 1 mit einer stärkeren Klimaerwärmung. In Szenario 2 kann ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang des österreichischen Bruttoinlandsproduktes im Vergleich zum business-as-usual-Szenario in der Periode 2007 bis 2050 im Ausmaß von 1,1 Mrd. € festgestellt werden. Dies entspricht in etwa 0,47% des aktuellen österreichischen Bruttoinlandsproduktes. Unter der Annahme, dass keine zusätzlichen Hochwasserereignisse statt finden, kann ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang von 0,8 Mrd. € errechnet werden.

In der folgenden Tabelle werden die Auswirkungen des Klimawandels auf das oberösterreichische Bruttoregionalprodukt sowie auf das österreichische Bruttoinlandsprodukt nochmals veranschaulicht.

Tabelle 6-1: Auswirkungen des Klimawandels auf das oberösterreichische Bruttoregionalprodukt und auf das österreichische Bruttoinlandsprodukt

Szenario		Veränderung in Relation zum business-as-usual-Szenario (=konstante klimatische Bedingungen)	
		Auswirkung auf das Bruttoregionalprodukt <u>Oberösterreichs</u>	Auswirkung auf das Bruttoinlandsprodukt <u>Österreichs</u>
		Durchschnittliche <u>jährliche</u> Veränderung in Mio. € *	Durchschnittliche <u>jährliche</u> Veränderung in Mio. € **
Prognostizierte Klimaerwärmung: +1,63° C bis 2050 (Szenario 1)	2007-2025, inklusive Hochwasserereignisse	-250	ca. -1.300
	2007-2025, exklusive Hochwasserereignisse	-158	ca. -800
	2007-2050, inklusive Hochwasserereignisse	-306	ca. -1.600
	2007-2050, exklusive Hochwasserereignisse	-205	ca. -1.100
Abgeschwächte Klimaerwärmung: +1,04° C bis 2050 (Szenario 2)	2007-2025, inklusive Hochwasserereignisse	-171	ca. -800
	2007-2025, exklusive Hochwasserereignisse	-132	ca. -600
	2007-2050, inklusive Hochwasserereignisse	-206	ca. -1.100
	2007-2050, exklusive Hochwasserereignisse	-159	ca. -800

Anmerkungen:

* Ergebnisse gemäß Modellsimulation (Werte des Simulationsszenarios abzüglich der Werte des business-as-usual-Szenarios)

** Ergebnisse gemäß Hochrechnung

6.3 Schlussfolgerung

Die Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Klimaerwärmung in Oberösterreich und Österreich eruiert signifikante negative volkswirtschaftliche Effekte des Klimawandels. Verschiedenste monetäre Schäden durch klimatische Veränderungen akkumulieren sich zu nicht negierbaren Auswirkungen auf das allgemeine Wirtschaftswachstum und auf die ökonomische Struktur der Volkswirtschaft. Die aufgezeigte Größenordnung der negativen Effekte lässt keine Zweifel aufkommen, dass es im Interesse aller Wirtschaftssubjekte liegen muss, den Klimawandel mit monetär vertretbaren Vermeidungsaktivitäten abzuschwächen bzw. zu verhindern.

Als wichtigster Verursacher des Klimawandels muss als Konsequenz die Energienachfrage der Volkswirtschaft gesenkt werden. Die bereits propagierte Abkopplung des Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum konnte in den letzten Jahrzehnten nicht in gewünschtem Ausmaß erfolgen. Für ein nachhaltiges Wachstum erweist es sich allerdings als erforderlich, gerade diese Abkopplung vollständig zu realisieren. Der spezielle Fokus auf bewusstseinsbildenden Maßnahmen wird jedoch nicht ausreichen, um die Problematik der steigenden Schadenskosten durch den Klimawandel lösen zu können. Das Konzept des rationalen Konsumenten kann in dieser Hinsicht aufgrund einer tendenziellen Nicht-Berücksichtigung globaler Zusammenhänge von Klima und Ökonomie nicht in einer langfristigen Perspektive aufrechterhalten werden. Im aktuellen Kontext erfolgt seitens der Wirtschaftssubjekte nahezu keine Inkludierung der Schadenskosten der Klimaerwärmung in das eigene Verhalten. Als Konsequenz bedarf es verstärkter Lenkungsmaßnahmen, um insbesondere den aggregierten Energieverbrauch zu senken. Aus rechtlichen bzw. politischen Gründen sind hier vor allem Nationalstaaten sowie Staatenbündnisse gefragt, verstärkte Regulierungen sowohl fiskaler als auch rechtlicher Natur einzuführen, um die zunehmenden negativen volkswirtschaftlichen Auswirkungen verhindern zu können.

Im aktuellen heimischen Kontext bedeutet dies, dass zusätzlich zu teilweise ambitionierten Energieprogrammen von Bundesländern der Bundesgesetzgeber im Fokus steht, zusätzlich zu den im nationalen und im EU-Rahmen definierten zu erreichenden Zielwerten im Energie- und Umweltbereich neue Regulierungen und Lenkungsmaßnahmen zu setzen, um den negativen Beitrag Österreichs zur Klimaerwärmung zu minimieren. Somit könnte neben den veränderten direkten klimatischen Auswirkungen auch ein Signal für ökonomisch aufstrebende Wirtschaftsräume erzielt werden, den Energieverbrauch zu senken, um somit langfristig auch das Wirtschaftswachstum beibehalten zu können.

7 Literatur

Alley, R., Marotzke, J., Nordhaus, W., Overpeck, J., Peteet, D., Pielke, R., Pierrehumbert, R., Rhines, P., Stocker, T., Talley, L., Wallace, J. (2003) 'Abrupt Climate Change', *Science*, Vol. 299., no. 5615, S. 2005–2010.

Berritella, M., Bigano, A., Roson, R., Tol, R. (2006) 'A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism', *Tourism Management*, Vol. 27, S. 913-924.

Bigano, A., Hamilton, J., Tol, R. (2006) 'The Impact of Climate on Holiday Destination Choice', *Climatic Change*, Vol. 76, S. 389-406.

Bresch, D., Bisping, M., Lemcke, G. (2000) 'Stürme über Europa. Ein unterschätztes Risiko', Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft; Sektion Wasser [Hrsg.] (2006) 'Hochwasser 2005 – Ereignisdokumentation. Teilbericht des Hydrographischen Dienstes'.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft; Sektion Wasser [Hrsg.] (2006a) 'Hochwasser 2005 – Ereignisdokumentation der Bundeswasserbauverwaltung, des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung und des Hydrographischen Dienstes'.

Formayer, H., Haas, P., Hofstätter, M., Kromp-Kolb, H. (2007) 'Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen', *Forschungsreihe: Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich*, Band 1.

Habersack, H., Bürgel, J., Petraschek, A. (2004) 'Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 – FloodRisk', *Synthesebericht*.

Habersack, H., Fuchs, H. (2003) 'Hochwasser 2002. Datenbasis der Schadensbilanz 2002', *Projekt StartClim.9*.

Habersack, H., Moser, A. (2003) 'Plattform Hochwasser. Ereignisdokumentation Hochwasser August 2002', *Universität für Bodenkultur Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*.

Hamilton, J., Maddison, D., Tol, R. (2005) 'Climate Change and international tourism: A simulation study', *Global Environmental Change*, Vol. 15, S. 253-266.

Hauenstein, W. (2004) 'Langfristige Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung', *Bulletin SEV/VSE 2/04*.

Heck, P., Bresch, D., Tröber, S. (2006) 'Folgen der Klimaveränderung: Mehr Sturmschäden in Europa', Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft.

Holland, G., Webster, P. (2007) ‚Heightened Tropical Cyclone Activity in the North Atlantic: Natural Variability or Climate Trend?‘, Philosophical Transactions of the Royal Society A.

Hübler, M., Klepper, G. (2007) ‚Kosten des Klimawandels. Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit‘, Institut für Weltwirtschaft Kiel.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2001) ‚Climate Change 2001 – Third Assessment Report (TAR)‘, Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007) ‚Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers‘.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2007a) ‚Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers‘.

Kemfert, C. (2007) ‚Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden‘, Wochenbericht des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung 11/2007, S. 165-170.

Kemfert, C. (2007a) ‚Die Kosten des Klimawandels Der Mensch heizt die Erde auf – was muss er dafür bezahlen?‘, Internationale Politik (2007), Februar, S. 38-45.

Kletzan, D., Köppl, A., Kratena, K. (2003) ‚Ökonomische Aspekte des Hochwassers 2002: Datenanalyse, Vermögensrechnung und gesamtwirtschaftliche Effekte‘, Projekt StartClim.10; Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.

Kollmann, A., Puchta, D., Reichl, J., Schneider, F., Tichler, R. (2006) ‚Berlin Economic Simulation Tool – BEST. A Regional Macroeconometric Model‘, Trauner Verlag.

Kromp, B., Grünbacher, E., Formayer, H., Hann, P. (2006) ‚Einflüsse des Klimawandels auf landwirtschaftliche Schädlinge und Nützlinge im Biologischen Landbau Ostösterreichs‘, Projekt StartClim2005.C3-a; Bio Forschung Austria, Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur Wien.

Kromp-Kolb, H., Formayer, H. (2001) ‚Klimaänderung und mögliche Auswirkungen auf den Wintertourismus in Salzburg‘, Universität für Bodenkultur Wien.

Kromp-Kolb, H., Formayer, H. (2007) ‚Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich‘, Forschungsreihe: Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich, Band 2.

Loibl, W., Beck, A., Dorninger, M., Formayer, H., Gobiet, A., Schöner, W. [Hrsg.] (2007) ‚Kwiss-Programm reclip:more - research for climate protection: model run evaluation. Final Report‘.

Loibl, W., Beck, A., Dorninger, M., Formayer, H., Gobiet, A., Schöner, W. [Hrsg.] (2007a) ‚reclip:more - research for climate protection: model run evaluation. Klimazukunft Österreich.‘

Kleinräumige Klimaszenarien 1981-1990 und 2041-2050. Signale des Klimawandels', Medieninformation zum Projektabschluss.

Loibl, W., Beck, A., Dorninger, M., Formayer, H., Gobiet, A., Schöner, W. (2007b) 'reclip:more Research for Climate Protection: Model Run Evaluation 2004-2006. Generation of climate change scenarios for the Alps with the meso-scale models MM5 and ALADIN. Executive summary'.

Moshhammer, H., Hutter, H., Frank, A., Gerersdorfer, T., Hlava, A., Sprinzl, G., Leitner, B. (2006) 'Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien', Projekt StartClim2005.A1-a; Institut für Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien, Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur Wien.

Nordhaus, W. (2006) 'The Economics of Hurricanes in the United States', NBER Working Paper No. W12813.

OECD (2007) 'Climate Change in the European Alps. Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management', Organisation for Economic Co-operation and Development, Editor: S. Agrawala.

Soja, G., Soja, A., Eitzinger, J., Gruszczynski, G., Trnka, M., Kubu, G., Formayer, H., Schneider, W., Suppan, F., Koukal, T. (2005) 'Analyse der Auswirkungen der Trockenheit 2003 in der Landwirtschaft Österreichs – Vergleich verschiedener Methoden', Projekt StartClim2004.C; ARC Seibersdorf research, Institut für Meteorologie und Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation der Universität für Bodenkultur Wien.

Tichler, R., Schneider, F. (2007) 'MOVE - Modell zur Simulation der Oberösterreichischen Volkswirtschaft mit Schwerpunkt Energie. Modellpräsentation anhand der Analyse der Auswirkungen der aktuellen Mineralölsteuererhöhung', Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz.

Vrijling, J., van Gelder, P. (2000) 'An analysis of the valuation of a human life', Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering.

Wegmayr, J., Tichler, R., Schneider, F. (2007) 'Heiße und trockene Sommer in Oberösterreich Auswirkungen auf Strom aus Wasserkraft und Stromverbrauch für Klimageräte', Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz.

Zimmerli, P. (2005) 'Hagelstürme in Europa. Neuer Blick auf ein bekanntes Risiko', Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft.

8 Beschreibung des Simulationsmodells MOVE ⁵⁰

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick zu dem für diese Studie verwendeten Simulationsmodell gegeben werden. Mit dem Modell MOVE (Modell zur Simulation der Oberösterreichischen Volkswirtschaft mit Schwerpunkt Energie) ist die Möglichkeit zur seriösen wissenschaftlichen Abschätzung verschiedener ökonomisch-struktureller Veränderungen im oberösterreichischen Wirtschaftsraum aber vor allem auch der Analyse von Auswirkungen von wirtschafts- und energiepolitischen Entscheidungen innerhalb dieses regionalen Wirtschaftsraumes gegeben. Der Schwerpunkt auf Energie in seinen umfassenden Ausprägungen ermöglicht neue, ausführlichere Betrachtungen verschiedenster Aspekte des heimischen Energiemarkts.

Grundsätzlich bedarf es zur Konstruktion eines regionalen makroökonomischen Modells einer differenzierteren Herangehensweise als bei Modellen auf nationaler Ebene. Dies liegt vor allem an der weniger stark ausgeprägten Verfügbarkeit von Zeitreihen auf regionaler Ebene, sodass sowohl andere ökonometrische Verfahrenstechniken als auch modifizierte Schätzgleichungen zur Anwendung kommen müssen.

Im mitteleuropäischen Raum existiert zurzeit kein verfügbares Regionalmodell im Detaillierungsgrad von MOVE mit einem explizit modellierten Energiesektor, sodass keine adäquaten Vergleichsmodelle vorliegen. MOVE kann jedoch auf das Know-how im Bereich Modellbildung des Energieinstitutes an der Johannes Kepler Universität zurückgreifen. So wurde bereits im vergangenen Jahr für das deutsche Bundesland Berlin ein Regionalmodell im Auftrag der Investitionsbank Berlin (IBB) namens *Berlin Economic Simulation Tool - BEST* erstellt⁵¹, in dem die ökonometrischen Schätzverfahren, die MOVE prägen, ebenfalls zur Anwendung kommen. Das Bundesland Berlin ist jedoch in seiner Struktur nicht mit dem oberösterreichischen Wirtschaftsraum zu vergleichen (das Bundesland Berlin beschränkt sich auf die Stadtregion Berlin, Berlin ist geprägt durch den großen Strukturbruch durch die Wiedervereinigung, Berlin und Oberösterreich verzeichneten sehr divergierende Wirtschaftsentwicklungen in den letzten zehn Jahren). Zusätzlich verfügt BEST nicht über den Fokus auf Energie sowie über den Detaillierungsgrad von MOVE, sodass MOVE auch als Prototyp für diese Art der modernen Regionalmodell-Bildung gelten kann.

Das Modell beinhaltet 307 Gleichungen sowie 485 Variablen zur Durchführung der Simulationen. Der Schätzhorizont ist modifizierbar; das Modell ist jedoch für einen Zeithorizont für 1 bis 10 Jahren konzipiert.

⁵⁰ Vgl. Tichler und Schneider (2007).

⁵¹ Vgl. Kollmann, et al. (2006).

Eckdaten des Modells

Anzahl der Gleichungen:	307
Anzahl der Variablen:	485
Anzahl der modellierten Wirtschaftssektoren:	13
Anzahl der modellierten Energieträger:	24

Der Schwerpunkt auf Energie beschränkt sich in MOVE nicht auf den privaten Endkonsum der Haushalte sowie den Energieverbrauch der verschiedenen Wirtschaftssektoren; es werden des weiteren auch die verschiedenen Energieströme zur Herstellung von Sekundärenergieträger, die Produktion von Primärenergie oder Importe und Exporte von Energie nach und von Oberösterreich abgebildet. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick zu den in MOVE abgebildeten und somit auch simulierbaren Energieträgern. Dabei wird der Aggregationsgrad der Bundesländer-Energiebilanzen der Statistik Austria übernommen.

Im Modell explizit abgebildete Energieträger

(Basis: Bundesländer-Energiebilanzen der Statistik Austria)

- Elektrische Energie
- Braunkohle
- Braunkohle-Briketts
- Steinkohle
- Koks
- Brenntorf
- Benzin
- Diesel
- Kerosin
- Erdöl
- Brennbare Abfälle
- Fernwärme
- Naturgas
- Heizöl extraleicht
- Heizöl
- Flüssiggas
- Gichtgas
- Kokereigas
- Wasserkraft
- Umgebungswärme
- Brennholz
- Windkraft u. Photovoltaik
- Sonstiger Raffinerieeinsatz
- Biogene Brenn- u. Treibstoffe

Um eine differenzierte Analyse bzw. detailliertere Simulationen der ökonomischen Zusammenhänge in Oberösterreich zu erhalten, werden neben dem Aggregat der privaten Haushalte 12 verschiedene Wirtschaftssektoren modelliert:

Überblick zu den Wirtschaftssektoren

- Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Fischzucht
- Bergbau und Gewinnung von Steinen u. Erden
- Sachgütererzeugung
- Energie- und Wasserversorgung
- Bauwesen
- Handel und Reparatur von Kfz u. Gebrauchsgütern
- Beherbergungs- und Gaststättenwesen
- Verkehr und Nachrichtenübermittlung
- Kredit- und Versicherungswesen
- Realitätenwesen und Unternehmensdienstleistungen
- Öffentliche Verwaltung, Sozialversicherung, Exterritoriale Organisationen
- Sonstige Dienstleistungen (Unterrichtswesen, Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen, Erbringung von sonstigen öffentlichen und persönlichen Dienstleistungen)

Nachdem die Nutzung von Energie in den meisten Fällen eine umweltpolitische Relevanz mit sich zieht, beinhaltet MOVE auch ein Emissionstool, mit dem die Veränderungen der Luftschadstoff-Emissionen aufgrund von Änderungen in der energetischen Nutzung in Oberösterreich errechnet werden können. MOVE ermöglicht die Analyse von Kohlendioxid-, Schwefeldioxid-, Methan-, Lachgas- und Stickoxidemissionen sowie von Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (außer Methan) durch den Verbrauch bzw. die Produktion von Energie.

Mit allen Modulen, die MOVE umfasst, ergeben sich verschiedene Anwendungsbereiche des Modells. So kann beispielsweise simuliert werden, welche ökonomischen Auswirkungen eine Gaspreiserhöhung mit sich zieht, welche Effekte eine bestimmte Investition in der Sachgüterproduktion ergibt, welche Konsequenzen eine Zinssatzsenkung auf die oberösterreichische Wirtschaft hat oder welche ökonomischen Veränderungen durch eine spezifische Abgabensenkung verursacht werden.

Eine große Herausforderung bei der Konstruktion eines Regionalmodells wie MOVE ist die Verarbeitung und Modifizierung der im Vergleich zur nationalen Ebene nur begrenzt

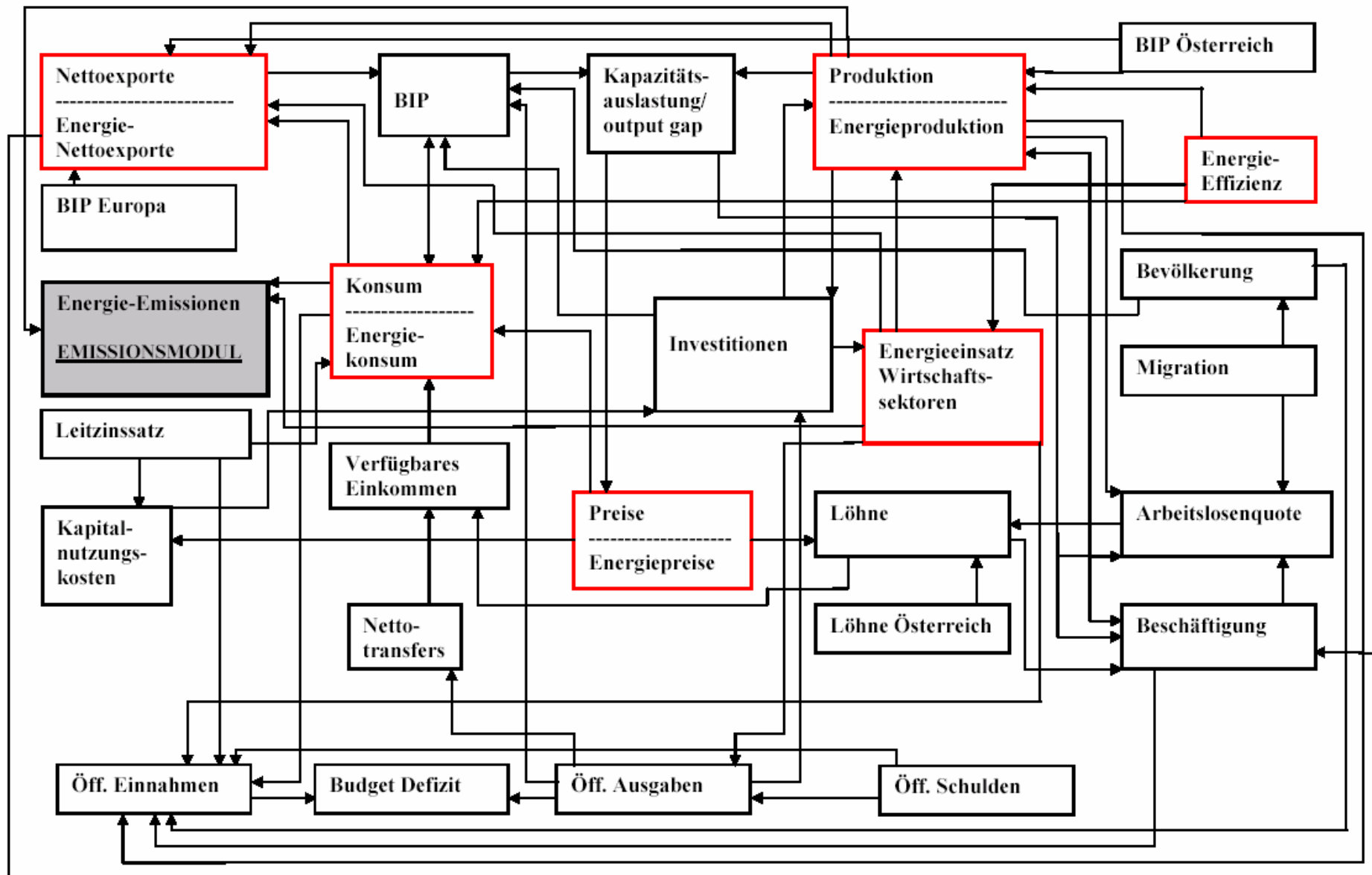
vorhandenen Daten. Zum einen werden viele Datenreihen nicht auf regionaler Basis erhoben, zum anderen existieren keine durchgehenden Zeitreihen auf Bundesländerebene.

Diese Fakten haben die Konsequenz, dass die Bildung von Regionalmodellen nicht exakt vergleichbar ist mit der Erstellung eines Nationalmodells. Die Restriktionen in der Datenlage erfordern einen Abgleich zwischen ökonomischer Theorie und der spezifischen Datensituation von Variablen. Daher sowie aus Gründen der Modellerstellung verlangt die Konstruktion eines Regionalmodells mehr als die einfache und simple Zusammensetzung der Einzelgleichungen zu einem Gesamtmodell. In vielen Fällen bildet zwar eine Einzelgleichung die historischen Zusammenhänge sehr gut ab, kann jedoch der dynamischen Struktur eines Modells nicht gerecht werden. Die Konstruktion von Modellen stellt somit einen diffizilen und sehr umfangreichen Prozess von Evaluierungen zwischen verschiedenen theoretischen und ökonometrischen Aspekten dar. Im Speziellen ist ein trade-off zwischen theoretischen Paradigmen und innovativer statistischer sowie ökonometrischer Herangehensweise notwendig, wenn die Qualität der vorhandenen Daten nicht optimal ist.

Nachdem MOVE neben der makroökonomischen Abbildung der oberösterreichischen Volkswirtschaft einen besonderen Schwerpunkt auf Energie legt, bedarf es der Heranziehung der Bundesländer-Energiebilanzen der Statistik Austria. Diese Bilanzen enthalten einen relativ breiten Datensatz, allerdings ist das früheste verfügbare Jahr der Zeitreihen auf Bundesländer-Ebene das Jahr 1988. Somit muss im Modell mit relativ restriktiven Zeitreihenlängen gearbeitet werden, woraus einige ökonometrische Probleme aufgrund der geringen Freiheitsgrade entstehen können. Aus diesem Grund wird in MOVE die Mehrzahl der Schätzgleichungen nicht mit einfachen linearen Schätzungen abgebildet, sondern mit *Seemingly Unrelated Regressions* (SUR). Diese Schätzmethode erlaubt die Aggregation verwandter Gleichungen und somit die Bildung von Schätzungen mit einer erheblichen Ausweitung der Freiheitsgrade, wodurch die erwähnten statistischen Probleme gelöst werden können.

Nachstehend werden einige Ausschnitte zum Simulationsmodell mittels Flussdiagrammen gegeben. Das erste Flussdiagramm ermöglicht einen approximativen Überblick über das Modell. Im zweiten Flussdiagramm werden die Wechselwirkungen der verschiedenen Variablen im Energiebereich aufgezeigt. Beide Flussdiagramme geben die Einflüsse der wichtigsten Variablen wieder, beinhalten aber nicht sämtliche erklärenden Variablen.

Makroökonomische Übersicht zum Gesamtmodell



9 Appendix

Tabelle 9-1: Veränderungen der Temperaturen in Szenario 1

Jahr	Veränderungen der Temperaturen in <u>Szenario 1</u> im Vergleich zum business-as-usual-Szenario (=konstante Temperatur)				
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahresmittel
	° Celsius				
2007	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04
2008	0,07	0,08	0,09	0,05	0,07
2009	0,11	0,12	0,14	0,08	0,11
2010	0,15	0,16	0,18	0,10	0,15
2011	0,19	0,20	0,23	0,13	0,18
2012	0,22	0,23	0,27	0,16	0,22
2013	0,26	0,27	0,32	0,18	0,26
2014	0,30	0,31	0,37	0,21	0,30
2015	0,33	0,35	0,41	0,23	0,33
2016	0,37	0,39	0,46	0,26	0,37
2017	0,41	0,43	0,50	0,28	0,41
2018	0,44	0,47	0,55	0,31	0,44
2019	0,48	0,51	0,60	0,34	0,48
2020	0,52	0,55	0,64	0,36	0,52
2021	0,56	0,59	0,69	0,39	0,55
2022	0,59	0,63	0,73	0,41	0,59
2023	0,63	0,67	0,78	0,44	0,63
2024	0,67	0,70	0,82	0,47	0,67
2025	0,70	0,74	0,87	0,49	0,70
2026	0,74	0,78	0,92	0,52	0,74
2027	0,78	0,82	0,96	0,54	0,78
2028	0,81	0,86	1,01	0,57	0,81
2029	0,85	0,90	1,05	0,59	0,85
2030	0,89	0,94	1,10	0,62	0,89
2031	0,93	0,98	1,15	0,65	0,92
2032	0,96	1,02	1,19	0,67	0,96
2033	1,00	1,06	1,24	0,70	1,00
2034	1,04	1,10	1,28	0,72	1,03
2035	1,07	1,14	1,33	0,75	1,07
2036	1,11	1,18	1,37	0,78	1,11
2037	1,15	1,21	1,42	0,80	1,15
2038	1,18	1,25	1,47	0,83	1,18
2039	1,22	1,29	1,51	0,85	1,22
2040	1,26	1,33	1,56	0,88	1,26
2041	1,30	1,37	1,60	0,90	1,29
2042	1,33	1,41	1,65	0,93	1,33
2043	1,37	1,45	1,70	0,96	1,37
2044	1,41	1,49	1,74	0,98	1,40
2045	1,44	1,53	1,79	1,01	1,44
2046	1,48	1,57	1,83	1,03	1,48
2047	1,52	1,61	1,88	1,06	1,52
2048	1,55	1,65	1,92	1,09	1,55
2049	1,59	1,68	1,97	1,11	1,59
2050	1,63	1,72	2,02	1,14	1,63

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Loibl et al. (2007a)

Tabelle 9-2: Veränderungen der Temperaturen in Szenario 2

Jahr	Veränderungen der Temperaturen in Szenario 2 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario (=konstante Temperatur)				
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahresmittel
	° Celsius				
2007	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02
2008	0,05	0,05	0,06	0,03	0,05
2009	0,07	0,08	0,09	0,05	0,07
2010	0,09	0,10	0,12	0,07	0,09
2011	0,12	0,13	0,15	0,08	0,12
2012	0,14	0,15	0,18	0,10	0,14
2013	0,17	0,18	0,21	0,12	0,17
2014	0,19	0,20	0,23	0,13	0,19
2015	0,21	0,23	0,26	0,15	0,21
2016	0,24	0,25	0,29	0,17	0,24
2017	0,26	0,28	0,32	0,18	0,26
2018	0,28	0,30	0,35	0,20	0,28
2019	0,31	0,33	0,38	0,21	0,31
2020	0,33	0,35	0,41	0,23	0,33
2021	0,36	0,38	0,44	0,25	0,35
2022	0,38	0,40	0,47	0,26	0,38
2023	0,40	0,43	0,50	0,28	0,40
2024	0,43	0,45	0,53	0,30	0,43
2025	0,45	0,48	0,56	0,31	0,45
2026	0,47	0,50	0,59	0,33	0,47
2027	0,50	0,53	0,62	0,35	0,50
2028	0,52	0,55	0,65	0,36	0,52
2029	0,54	0,58	0,67	0,38	0,54
2030	0,57	0,60	0,70	0,40	0,57
2031	0,59	0,63	0,73	0,41	0,59
2032	0,62	0,65	0,76	0,43	0,61
2033	0,64	0,68	0,79	0,45	0,64
2034	0,66	0,70	0,82	0,46	0,66
2035	0,69	0,73	0,85	0,48	0,69
2036	0,71	0,75	0,88	0,50	0,71
2037	0,73	0,78	0,91	0,51	0,73
2038	0,76	0,80	0,94	0,53	0,76
2039	0,78	0,83	0,97	0,55	0,78
2040	0,81	0,85	1,00	0,56	0,80
2041	0,83	0,88	1,03	0,58	0,83
2042	0,85	0,90	1,06	0,60	0,85
2043	0,88	0,93	1,09	0,61	0,88
2044	0,90	0,95	1,11	0,63	0,90
2045	0,92	0,98	1,14	0,64	0,92
2046	0,95	1,00	1,17	0,66	0,95
2047	0,97	1,03	1,20	0,68	0,97
2048	0,99	1,05	1,23	0,69	0,99
2049	1,02	1,08	1,26	0,71	1,02
2050	1,04	1,10	1,29	0,73	1,04

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Loibl et al. (2007a) und IPCC (2007)

Tabelle 9-3: Veränderungen der Niederschläge in Szenario 1

Jahr	Veränderungen der Niederschläge in Szenario 1 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario (=konstante Temperatur)				
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahresmittel
	mm				
2007	0,69	-1,01	-0,58	0,93	0,03
2008	1,38	-2,02	-1,16	1,86	0,06
2009	2,07	-3,03	-1,73	2,78	0,09
2010	2,76	-4,04	-2,31	3,71	0,12
2011	3,45	-5,05	-2,89	4,64	0,15
2012	4,14	-6,06	-3,47	5,57	0,18
2013	4,83	-7,06	-4,05	6,50	0,21
2014	5,52	-8,07	-4,63	7,43	0,24
2015	6,21	-9,08	-5,20	8,35	0,27
2016	6,90	-10,09	-5,78	9,28	0,30
2017	7,59	-11,10	-6,36	10,21	0,34
2018	8,28	-12,11	-6,94	11,14	0,37
2019	8,97	-13,12	-7,52	12,07	0,40
2020	9,65	-14,13	-8,09	13,00	0,43
2021	10,34	-15,14	-8,67	13,92	0,46
2022	11,03	-16,15	-9,25	14,85	0,49
2023	11,72	-17,16	-9,83	15,78	0,52
2024	12,41	-18,17	-10,41	16,71	0,55
2025	13,10	-19,18	-10,99	17,64	0,58
2026	13,79	-20,19	-11,56	18,57	0,61
2027	14,48	-21,19	-12,14	19,49	0,64
2028	15,17	-22,20	-12,72	20,42	0,67
2029	15,86	-23,21	-13,30	21,35	0,70
2030	16,55	-24,22	-13,88	22,28	0,73
2031	17,24	-25,23	-14,45	23,21	0,76
2032	17,93	-26,24	-15,03	24,14	0,79
2033	18,62	-27,25	-15,61	25,06	0,82
2034	19,31	-28,26	-16,19	25,99	0,85
2035	20,00	-29,27	-16,77	26,92	0,88
2036	20,69	-30,28	-17,35	27,85	0,91
2037	21,38	-31,29	-17,92	28,78	0,95
2038	22,07	-32,30	-18,50	29,71	0,98
2039	22,76	-33,31	-19,08	30,63	1,01
2040	23,45	-34,31	-19,66	31,56	1,04
2041	24,14	-35,32	-20,24	32,49	1,07
2042	24,83	-36,33	-20,81	33,42	1,10
2043	25,52	-37,34	-21,39	34,35	1,13
2044	26,21	-38,35	-21,97	35,27	1,16
2045	26,90	-39,36	-22,55	36,20	1,19
2046	27,59	-40,37	-23,13	37,13	1,22
2047	28,28	-41,38	-23,71	38,06	1,25
2048	28,97	-42,39	-24,28	38,99	1,28
2049	29,65	-43,40	-24,86	39,92	1,31
2050	30,34	-44,41	-25,44	40,84	1,34

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Loibl et al. (2007a)

Tabelle 9-4: Veränderungen der Niederschläge in Szenario 2

Jahr	Veränderungen der Niederschläge in Szenario 2 im Vergleich zum business-as-usual-Szenario (=konstante Temperatur)				
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahresmittel
	mm				
2007	0,44	-0,65	-0,37	0,59	0,02
2008	0,88	-1,29	-0,74	1,19	0,04
2009	1,32	-1,94	-1,11	1,78	0,06
2010	1,77	-2,58	-1,48	2,38	0,08
2011	2,21	-3,23	-1,85	2,97	0,10
2012	2,65	-3,88	-2,22	3,56	0,12
2013	3,09	-4,52	-2,59	4,16	0,14
2014	3,53	-5,17	-2,96	4,75	0,16
2015	3,97	-5,81	-3,33	5,35	0,18
2016	4,41	-6,46	-3,70	5,94	0,20
2017	4,86	-7,11	-4,07	6,54	0,21
2018	5,30	-7,75	-4,44	7,13	0,23
2019	5,74	-8,40	-4,81	7,72	0,25
2020	6,18	-9,04	-5,18	8,32	0,27
2021	6,62	-9,69	-5,55	8,91	0,29
2022	7,06	-10,33	-5,92	9,51	0,31
2023	7,50	-10,98	-6,29	10,10	0,33
2024	7,94	-11,63	-6,66	10,69	0,35
2025	8,39	-12,27	-7,03	11,29	0,37
2026	8,83	-12,92	-7,40	11,88	0,39
2027	9,27	-13,56	-7,77	12,48	0,41
2028	9,71	-14,21	-8,14	13,07	0,43
2029	10,15	-14,86	-8,51	13,66	0,45
2030	10,59	-15,50	-8,88	14,26	0,47
2031	11,03	-16,15	-9,25	14,85	0,49
2032	11,48	-16,79	-9,62	15,45	0,51
2033	11,92	-17,44	-9,99	16,04	0,53
2034	12,36	-18,09	-10,36	16,63	0,55
2035	12,80	-18,73	-10,73	17,23	0,57
2036	13,24	-19,38	-11,10	17,82	0,59
2037	13,68	-20,02	-11,47	18,42	0,60
2038	14,12	-20,67	-11,84	19,01	0,62
2039	14,57	-21,32	-12,21	19,61	0,64
2040	15,01	-21,96	-12,58	20,20	0,66
2041	15,45	-22,61	-12,95	20,79	0,68
2042	15,89	-23,25	-13,32	21,39	0,70
2043	16,33	-23,90	-13,69	21,98	0,72
2044	16,77	-24,54	-14,06	22,58	0,74
2045	17,21	-25,19	-14,43	23,17	0,76
2046	17,65	-25,84	-14,80	23,76	0,78
2047	18,10	-26,48	-15,17	24,36	0,80
2048	18,54	-27,13	-15,54	24,95	0,82
2049	18,98	-27,77	-15,91	25,55	0,84
2050	19,42	-28,42	-16,28	26,14	0,86

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Loibl et al. (2007a) und IPCC (2007)