

Projektbericht
Research Report

Volkswirtschaftliche Kosten des Klimawandels in Österreich

durch Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft, dem
Wintertourismus und der Energiewirtschaft

Julia Janke, Severin Grussmann, Michael Miess, Stefan Schmelzer



INSTITUT FÜR HÖHERE STUDIEN
INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

Vienna

Projektbericht
Research Report

Volkswirtschaftliche Kosten des Klimawandels in Österreich

durch Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft, dem
Wintertourismus und der Energiewirtschaft
Julia Janke, Severin Grussmann, Michael Miess, Stefan Schmelzer

Endbericht

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Finanzen

Februar 2015

Kontakt:

Julia Janke
☎: +43/1/599 91-128
email: janke@ihs.ac.at

Severin Grussmann
☎: +43/1/599 91-128
email: grussmann@ihs.ac.at

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	1
2. Einleitung.....	3
2.1. Fragestellung und Methodik.....	3
2.2. Nicht behandelte Themen	5
2.3. Unsicherheiten in der Klimawandelforschung.....	5
3. Methode der CGE-Modellierung	8
4. Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor	13
4.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Heiz- und Kühlbedarf.....	13
4.2. Auswirkungen des Klimawandels auf den Stromsektor.....	15
4.3. Nicht berücksichtigte Klimawandeleffekte im Energiesektor	20
5. Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft	21
5.1. Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft	21
5.2. Modellierung der Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft	21
5.3. Nicht berücksichtigte Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft	23
6. Auswirkungen des Klimawandels auf den Wintertourismus.....	24
7. Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor, die Landwirtschaft und den Wintertourismus	28
7.1. Ergebnisse der Modellierung des kombinierten Klimaszenarios	28
7.2. Sensitivitätsanalysen.....	30
8. Schlussfolgerung.....	33
Referenzen	35
Annex.....	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einbettung der Sektoren in die Produktionsfunktion	9
Abbildung 2: Einbettung der Nachfrage der Haushalte nach Gütern.....	9
Abbildung 3: Effekte der Reduktion des Heizenergiebedarfs auf das Bruttoinlandsprodukt	14
Abbildung 4: Effekte der Reduktion des Heizenergiebedarfs auf die Staatseinnahmen.....	15
Abbildung 5: Veränderung des Bruttoinlandsprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels im Stromsektor	18
Abbildung 6: Veränderung der Staatseinnahmen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Stromsektor	18
Abbildung 7: Prozentuelle Veränderung des Aufkommens der Sektoren Kohle, Erdöl & Erdgas und Gasdienstleistungen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Stromsektor.....	19
Abbildung 8: Prozentuelle Veränderung des Aufkommens der Sektoren durch die Auswirkungen des Klimawandels im Stromsektor im Vergleich zum sektoralen Aufkommen im BAU-Szenario.....	19
Abbildung 9: Veränderungen des Bruttoinlandsprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft.....	22
Abbildung 10: Prozentuelle Veränderungen des landwirtschaftlichen Aufkommens durch die Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft.....	23
Abbildung 11: Prozentuelle Veränderungen des sektoralen Aufkommens durch die Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft	23
Abbildung 12: Veränderungen der Nüchtigungen in der Winter- und Sommersaison aufgrund des Klimawandels simuliert in verschiedenen regionalen Klimamodellen	25
Abbildung 13: Veränderungen des Bruttoinlandsprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels im Wintertourismus	26
Abbildung 14: Prozentuelle Veränderungen des sektoralen Aufkommens durch die Auswirkungen des Klimawandels im Wintertourismus für 2025 und 2050 im Vergleich zum BAU-Szenario	27
Abbildung 15: Veränderung des Bruttoinlandsprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus im Vergleich zum BAU-Szenario.....	28
Abbildung 16: Veränderung des Kapitaleinkommens der Haushaltstypen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus im Vergleich zum BAU-Szenario	29
Abbildung 17: Veränderung des Arbeitseinkommens der Haushaltstypen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus im Vergleich zum BAU-Szenario	29
Abbildung 18: Veränderung der Staatseinnahmen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus im Vergleich zum BAU-Szenario.....	30
Abbildung 19: Veränderung des Bruttoinlandsprodukts aufgrund von Variationen der Elastizitäten im Klimawandelszenario im Vergleich zum BAU-Szenario	31
Abbildung 20: Veränderung des Bruttoinlandsprodukts aufgrund von Variationen der Elastizitäten im Klimawandelszenario im Vergleich zum BAU-Szenario	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wachstumsraten der totalen Faktorproduktivität im Vergleich zum Vorjahr der einzelnen MERCI-Sektoren über die letzten 10 Jahre.....	11
Tabelle 2: Wachstumsraten der österreichischen Stromerzeugung nach verschiedenen Primärenergieträgern und Kraftwerken im BAU-Szenario im Vergleich zum Jahr 2008	16
Tabelle 3: Wachstumsraten der österreichischen Stromerzeugung nach verschiedenen Primärenergieträgern und Kraftwerken im A1B-Szenario im Vergleich zum Jahr 2008	17
Tabelle 4: Anteile der Sektoren am Wintertourismus.....	26
Tabelle 5: Zuordnung der Elastizitäten und der entsprechenden Variation zu den Sensitivitätsszenarien	31

1. Zusammenfassung

Der globale Klimawandel wird in Österreich im Laufe des Jahrhunderts verstärkt spürbar werden. Bereits seit 1880 ist die Temperatur in Österreich um 2°C angestiegen und wird um weitere 1,4°C im Vergleich zum derzeitigen Niveau bis zur Mitte des Jahrhunderts ansteigen. Die klimatischen Veränderungen werden das Ökosystem in Österreich und somit Flora und Fauna als auch Landschaftsbilder signifikant prägen. Diese Veränderungen werden über verschiedene Kanäle den Menschen in seinen Handlungsoptionen und in seinem Wohlbefinden beeinflussen.

Die volkswirtschaftlichen Kosten des Klimawandels stehen im Zentrum dieser Studie, wobei der Schwerpunkt auf die sektoralen Auswirkungen in der Landwirtschaft, dem Wintertourismus und im Energiesektor gelegt wurde. Mithilfe eines dynamischen, allgemeinen Gleichgewichtmodells des IHS wurden die Auswirkungen des Klimawandels anhand von Instrumenten im Modell integriert und deren Effekte auf die Wirtschaftssektoren, die Haushalte und den Staat berechnet. Der Zeithorizont umfasst die Spanne von 2008 bis 2050, da sich zwar die Klimawandeleffekte im Laufe des Jahrhunderts deutlich verstärken werden, die sozioökonomischen und technischen Entwicklungen aber schon bis 2050 große Unsicherheit in sich bergen. Aufbauend auf den Kenntnissen des Österreichischen Sachstandsberichts Klimawandel 2014 (APCC, 2014), der Vorgängerstudie (Grussmann et al., 2014) und weiterführender Literatur wurden die Annahmen zu den Klimawandeleffekten für das A1B-Szenario in den angesprochenen Sektoren bestimmt. Das A1B – Szenario, das im Rahmen des IPCC entwickelt wurde, stellt eine mögliche Variante der technologischen, wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen über das Jahrhundert dar, in der der Anstieg der Treibhausgasemissionen in einem moderaten Bereich aufgrund der Umsetzung von Umweltpolitik gehalten wird.

Die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor äußern sich durch einen Rückgang des Heizenergiebedarfs aufgrund der ansteigenden Temperaturen, wobei bis zur Mitte des Jahrhunderts Energieeffizienzverbesserungen in Form von Sanierung und Neubauten angenommen werden. Der Rückgang des Heizenergiebedarfs für Haushalte und Wirtschaftssektoren bewirkt einen positiven Wachstumseffekt um 0,005 Prozent des österreichischen Bruttoinlandsprodukts (BIP) im Jahr 2050 im Vergleich zum BAU (Business As Usual)-Szenario ohne Klimawandeleffekte. Dies entspricht 20,68 Mio. Euro im Jahr 2050, wobei alle Ergebnisse in diskontierten Euro aus Sicht des Jahres 2008 angegeben werden. Gleichzeitig wird der Kühlenergiebedarf aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels in Österreich steigen, der eine Verstärkung der Stromnachfrage unter anderem zur Mittagsspitze induziert. Zudem wird die Stromerzeugung aus Laufwasserkraftwerke durch den Klimawandel in Österreich leicht zurückgehen. Da die Stromnachfrage weiter ansteigen wird, wenn auch in geringerem Verhältnis als im BAU-Szenario, muss die Stromerzeugung aus Wasserkraft mit anderen Stromerzeugungstechnologien substituiert werden. Insgesamt verteuert sich das Stromsystem, wobei negative Wachstumseffekte von 0,08 Prozent oder 345,05 Mio. Euro des österreichischen BIPs im Jahr 2050 induziert werden.

Die erhöhte Konzentration an Kohlenstoffdioxid in der Luft und der Anstieg der Temperatur führen zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode und zu höheren landwirtschaftlichen Erträgen. Allerdings ist die Ertragsrate abhängig von der Art der Bewirtschaftung, sodass eine Steigerung der Ertragsrate eine hohe Düngerintensität voraussetzt. Die Steigerung der Ertragsrate der landwirtschaftlichen Produktion bewirkt einen Anstieg des österreichischen BIPs von 0,04 Prozent beziehungsweise von 211,07 Mio. Euro im Vergleich zum BAU-Szenario.

Im Wintertourismus wird es aufgrund des Rückgangs der Schneesicherheit in Schigebieten niedriger und mittlerer Lage, des Abtauens der Gletscher und des Rückgangs der Schneedecke zu einem Rückgang der Nachfrage nach Übernachtungen kommen. Diese Entwicklung bringt negative volkswirtschaftliche Effekte

mit sich. Das österreichische BIP wird im Vergleich zum BAU-Szenario um 0,12 Prozent schrumpfen und um ca. 525,97 Mio. Euro zurückgehen. Die volkswirtschaftlichen Effekte, die durch den Klimawandel im Wintertourismus ausgelöst werden, stellen somit die größten volkswirtschaftlichen Implikationen im Rahmen der betrachteten Sektoren dar.

Im kombinierten Klimaszenario werden alle sektoralen Auswirkungen gemeinsam betrachtet und die volkswirtschaftlichen Effekte eruiert, die sich insgesamt auf Kosten in der Höhe von 0,14 Prozent des österreichischen BIPs oder 624,62 Mio. Euro im Jahr 2050 belaufen. Da in dieser Studie die Auswirkungen des Klimawandels für die Sektoren Landwirtschaft, Wintertourismus und Energiesektor erfasst wurden, handelt es sich bei den berechneten volkswirtschaftlichen Kosten nicht um eine Untergrenze, sondern um einen kleinen Teil. Extremereignisse, deren Zunahme in Österreich derzeit nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit bestätigt werden kann, die Auswirkungen des Klimawandels im Rest der Welt, die über die internationalen Verflechtung der österreichischen Wirtschaft und Gesellschaft nach Österreich diffundieren und der Gesundheitssektor werden bedeutende volkswirtschaftlichen Kosten in Österreich auslösen.

2. Einleitung

Durch den vermehrten Einsatz fossiler Brennstoffe seit Mitte des 19. Jahrhunderts wird die Atmosphäre verstärkt mit Treibhausgasen (THG) angereichert. Diese Anreicherung verstärkt den natürlichen Treibhausgaseffekt und Klimawandel, sodass die Temperatur der Erdoberfläche signifikant ansteigt. Die Veränderungen des globalen Klimas lassen sich anhand der Temperaturveränderungen, des Schmelzens der Gletscher und des arktischen Eises, des Meeresspiegelanstiegs neben anderen Auswirkungen feststellen. Die globale Erwärmung der Erdoberfläche betrug zwischen den Jahren 1880 bis 2012 durchschnittlich 0,85°C (IPCC, 2014a). Die zukünftige Erdoberflächenerwärmung wird ohne signifikante Maßnahmen zur Reduktion von THG-Emissionen stark zunehmen¹. In Österreich wurde seit 1880 ein deutlich höherer Temperaturanstieg von 2°C beobachtet und bis zur Mitte des Jahrhunderts wird mit einem weiteren Temperaturanstieg um 1,4°C im Vergleich zum heutigen Niveau gerechnet (APCC, 2014: 29).

Eine Eindämmung der negativen Effekte des Klimawandels verlangt nach Ansicht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) eine Stabilisierung der Kohlenstoffdioxidreduktion auf 450 ppm im Jahr 2100, weil nur so eine Temperaturzunahme von über zwei Grad Celsius vermieden werden kann (Kemfert 2007). Dabei wird die THG-Konzentration 2011 gemessen in CO₂-Äquivalenten auf 430 ppm (parts per million) geschätzt (IPCC, 2014a: 21).

Als Basis dieser Studie dient die Vorgängerstudie, in der die Klimawandeleffekte vor allem qualitativ abgeschätzt wurden (Grussmann et al., 2014) und der vom Austrian Panel on Climate Change 2014 erstellte Österreichische Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (APCC, 2014), der eine Analyse und einen umfassenden Überblick zum Wissensstand über die Auswirkungen des Klimawandels in Österreich darlegt.

2.1. Fragestellung und Methodik

Leitfaden dieser Studie war die Fragestellung der volkswirtschaftlichen Kosten, die durch die Auswirkungen des Klimawandels in Österreich entstehen. Die direkten Effekte auf die verschiedenen Lebensbereiche der Menschen in Österreich als auch auf die einzelnen Wirtschaftssektoren lösen in weiterer Folge Veränderungen in anderen Wirtschaftssektoren und Lebensbereichen aus, die eventuell nicht direkt vom Klimawandel betroffen sind. Begründet in den wirtschaftlichen und sozialen Verflechtungen werden über die Nachfrage von Vorleistungsgütern, den Arbeits- und Kapitalmarkt und letztendlich auch über die Auswirkungen auf das staatliche Budget die Effekte des Klimawandels in alle Bereiche der Wirtschaft diffundieren. Im Rahmen dieser Studie wird demnach ein Schwerpunkt auf die wirtschaftlichen Kosten des Klimawandels gelegt, wobei nur schwer monetär bewertbare Auswirkungen wie die Veränderung der Flora und Fauna, ganzer Landschaftsbilder und auch psychischer und sozialer Stress nicht berücksichtigt werden. Zudem erfolgt eine Bewertung der direkten Effekte des Klimawandels in Österreich, logische mit dem Klimawandel verbundene Mitigations- und Anpassungsmaßnahmen werden nicht betrachtet.

Die volkswirtschaftlichen Kosten des Klimawandels in Österreich werden auf Basis eines rechenbaren allgemeinen Gleichgewichtsmodells (MERC) des Institutes für Höhere Studien (IHS) erfasst². Die sektorale Untergliederung der österreichischen Volkswirtschaft mit den intersektoralen Verflechtungen, die Konsumententscheidungen von Haushalten, die Berücksichtigung des Staates und ein

¹ Das heißt, im Zeitraum 2081-2100 ist einen Temperaturanstieg um 2,2 bis 3,7°C im Vergleich zur Periode 1986-2005 (Szenarien RCP6.0 und RCP8.5 im IPCC, 2014a: 63) bzw. um 2,8 bis 4°C im Vergleich zur Periode 1980-1999 (Szenarien A1B, A2 und A1FI im IPCC, 2007c:45) möglich.

² Modellanwendungen finden sich u.a. in Schmelzer und Miess (2015), Miess et al. (2014), sowie Miess (2012).

detaillierter Stromsektor erlauben es die Auswirkungen des Klimawandels für die betrachteten Sektoren Landwirtschaft, Wintertourismus und Energiewirtschaft abzubilden. Aufbauend auf dieser sektoralen Perspektive wurde der Zeithorizont der betrachteten Effekte auf 2050 festgelegt. Die Auswirkungen des Klimawandels in Österreich werden sich im Laufe des Jahrhunderts verstärken, sodass eine langfristige über das Jahrhundert andauernde Perspektive sinnvoll erscheint. Allerdings unterliegen die Einschätzungen über die technologischen, wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen schon bis 2050 großer Unsicherheit. Annahmen zu diesen Entwicklungen sind aber notwendig, damit die volkswirtschaftlichen Kosten berechnet werden können. Weitere Annahmen zu den Entwicklungen nach 2050 bedürften eines intensiven Szenarien-Bildungsprozesses, der den Rahmen dieses Projekts überschreiten würde.

In dieser Studie werden die volkswirtschaftlichen Kosten der Auswirkungen des Klimawandels berechnet, die sich auf das A1B-Szenario des vierten IPCC Assessment Report (IPCC, 2007c) beziehen. In diesem Szenario wird ein hohes Wirtschaftswachstum unterstellt, ebenso erreicht die Bevölkerung um die Mitte des Jahrhunderts ihren Höchstwert und sinkt danach wieder. Es herrscht technologischer Fortschritt, der sich unter anderem in einer erhöhten Energieeffizienz äußert. Das Szenario A1B stellt einen zwischen den Energietechnologien ausbalancierten Pfad dar, sodass verschiedene Technologien zum Einsatz kommen. So werden beispielsweise im Energiesektor sowohl erneuerbare als auch fossile Energien verwendet. Das Szenario stellt eine Welt dar, in der die Regionen konvergieren, sodass Einkommensunterschiede zurückgehen, sowie soziale und kulturelle Integration vorherrschen (basierend auf den Szenario-Storylines des SRES-Reports, vgl. IPCC, 2000). Die Konzentration der Treibhausgase (THGs) und Aerosole in der Atmosphäre beläuft sich in diesem Szenario gegen Ende des Jahrhunderts auf ca. 850 ppm (IPCC, 2007c). Somit wird angenommen, dass signifikante Maßnahmen zur Vermeidung von THG-Emissionen umgesetzt werden und ein effizienter ökologischer Wettbewerb besteht.

Box 1: IPCC

Der Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) wurde im Rahmen des United Nations Environment Programme (UNEP) und der World Meteorological Organization (WMO) gegründet. WissenschaftlerInnen untersuchen auf Basis von naturwissenschaftlicher, technischer, ökonomischer, sozialer und politischer Forschung die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Ökosysteme, die mögliche Entwicklungen des Klimawandels über das 21. Jahrhundert, dessen Auswirkungen auf Natur und Mensch und Mitigations- und Anpassungsmaßnahmen. Alle fünf Jahre wird ein Sachstandsbericht (Assessment Report) veröffentlicht, wobei der aktuellste IPCC – Sachstandsbericht (5. Assessment Report) 2013 bzw. 2014 veröffentlicht wurde.

Das A1B-Szenario wurde als Grundlage für diese Studie herangezogen, da es eine der wahrscheinlicheren Entwicklungen der THG-Emissionen aufgreift. Zudem beziehen sich die natur- und sozialwissenschaftlichen Studien, die die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Ökosysteme, Lebensbereiche und auf die Wirtschaft in Österreich untersuchen, auf das A1B-Szenario. Die Auswirkungen des Klimawandels in Österreich unterscheiden sich bis zur Mitte des Jahrhunderts nicht sehr stark zwischen den verschiedenen IPCC-Szenarien (A1B, A2, B2), zum Ende des Jahrhunderts zeichnen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien ab (APCC, 2014:319).

Die Vorgangsweise der Studie sieht vor, basierend auf den Ergebnissen der regionalen Klimamodelle, der Vorgängerstudie sowie weiteren natur- und sozialwissenschaftlichen Studien, die Auswirkungen

des Klimawandels in den Bereichen Landwirtschaft, Wintertourismus und Energiewirtschaft zu eruieren und sie als Szenarien im Modell zu implementieren. Anschließend wird die Differenz der Auswirkungen des Klimawandels in den verschiedenen Szenarien mit dem „normalen“ Entwicklungspfad (BAU-Szenario) verglichen. In Kapitel 3 werden die Methode der CGE-Modellierung, wesentliche Annahmen und die Szenarienbildung beschrieben. In den Kapiteln 4, 5 und 6 werden die Effekte des Klimawandels auf die Sektoren Energiewirtschaft, Landwirtschaft und Wintertourismus beschrieben und abschließend in einem kombinierten Szenario (Kapitel 7) dargestellt. Die Schlussfolgerung fasst wesentliche Erkenntnisse zusammen.

2.2. Nicht behandelte Themen

Die Auswirkungen des Klimawandels werden bis zur Mitte des Jahrhunderts in manchen Teilen der Welt stärker als in Österreich zu spüren sein. Durch die internationalen Verflechtungen im Handel, im Finanzmarkt, in der Migration und der internationalen Politik werden diese Auswirkungen auch nach Österreich diffundieren und die österreichische Wirtschaft und Gesellschaft erheblich beeinflussen. Der Rückgang von Ernteerträgen, klimabezogene Extremereignisse wie zum Beispiel Hitzewellen, Dürren, Fluten, Wirbelstürme, Waldbrände, Unterbrechungen der Lebensmittelproduktion, der Wasserlieferungen, Zerstörungen von Infrastruktur und Behausungen sowie eine Erhöhung der Erkrankungs- und Sterberate stellen Ereignisse und Entwicklungen dar, die durch den Klimawandel im Rest der Welt ausgelöst werden und auch Österreich beeinflussen werden (IPCC 2014b: S.7). Eine andere Dimension wird die Migration von Menschen betreffen, deren Lebensraum degradiert und unbewohnbar wird. Obwohl die Auswirkungen des Klimawandels im Rest der Welt signifikante Effekte auf die österreichische Wirtschaft und Gesellschaft haben werden, werden sie in dieser Studie aufgrund des Projektrahmens nicht untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt, der in dieser Studie nicht berücksichtigt wurde, sind Extremereignisse, die durch den Klimawandel verstärkt in Österreich auftreten. Extreme Wetterereignisse haben in den letzten drei Jahrzehnten in Österreich zugenommen und diese Entwicklung wird sich auch in Zukunft fortsetzen (APCC, 2014: 30). Allerdings besteht noch Unsicherheit über die Auswirkungen des Klimawandels auf bestimmte Extremwetterereignisse in Österreich wie zum Beispiel auf Hochwasser. Dennoch steht fest, dass Extremwetterereignisse und extreme Witterungsperioden die höchsten volkswirtschaftlichen Schäden auslösen (APCC, 2014: 31). Es handelt sich also bei den volkswirtschaftlichen Kosten, die in dieser Studie erfasst werden, nicht um eine Untergrenze, sondern nur um einen Teil der volkswirtschaftlichen Kosten des Klimawandels in Österreich. Weitere Bereiche, die nicht bewertet wurden, umfassen den Gesundheitssektor, die Forstwirtschaft, den Transport- und Verkehrssektor. Zudem bewirkt der Klimawandel in Österreich eine Veränderung der Flora und Fauna. Der Biodiversitätsverlust und die veränderten Ökosystemleistungen wurden ebenfalls nicht monetär bewertet.

2.3. Unsicherheiten in der Klimawandelforschung

Da das Klimasystem träge ist und die THG-Emissionen in der Atmosphäre sehr langlebig sind, muss ein langer Zeithorizont gewählt werden um die Klimaveränderungen berechnen und darstellen zu können. In den Berichten des IPCC wurde ein Zeithorizont gewählt, der sich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erstreckt. Einerseits besteht die Notwendigkeit die Zeitspanne so weit zu setzen um Veränderungen des Klimasystems abzubilden, andererseits prägt die Unsicherheit über demographische, soziale und ökonomische Entwicklungen die Klimawandelforschung.

Unsicherheit über die klimatische Entwicklung

Um mögliche klimatische Entwicklungen auf der Erde zu eruieren, werden Szenarien aufbauend auf sogenannten Storylines konstruiert, die ein zusammenhängendes Bild zu den Entwicklungen von Gesellschaft, Wirtschaft und Technologie beschreiben. Sie werden benutzt, um möglichst kohärent Annahmen in einem Szenario zu treffen und um dieses anschließend auch interpretieren zu können.

Die im Rahmen des vierten IPCC Sachstandberichts verwendeten vier Hauptszenarien zeichnen sich durch unterschiedliche THG-Emissionspfade aus. In den vier Hauptszenarien werden unterschiedliche Entwicklungen der Weltwirtschaft, Politik, Bevölkerung und verwendeten Technologien angenommen, die verschiedene THG-Emissionspfade induzieren (IPCC, 2007a-c; IPCC, 2000). Die THG-Emissionen fließen als Inputannahmen in globale und regionale Klimamodelle, die unter anderem Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen berechnen. Diese Ergebnisse werden dann in naturwissenschaftlichen Modellen herangezogen, um die Auswirkung des Klimawandels auf bestimmte Systeme abzuschätzen (zum Beispiel auf den Wasserkreislauf). Auf jeder analytischen Stufe werden Annahmen getroffen, die die Ergebnisse wesentlich beeinflussen. Allerdings wird bestrebt, mittels der Szenarientechnik die Bandbreite möglicher Entwicklungen abzudecken. Durch das Szenarienspektrum als auch durch die Bandbreite der Reaktionen des Ökosystems ist das Intervall für den in den Klimamodellen berechneten Temperaturanstieg groß. In den Szenarien, in denen signifikante Maßnahmen zur Verhinderung des anthropogenen Klimawandels unterlassen werden, schwankt das Konfidenzintervall um den Durchschnittswert um bis zu 4°C (IPCC, 2014: 29).

Unsicherheit über nicht-klimatische Einflüsse

Um die Auswirkungen des Klimawandels für Gesellschaft und Wirtschaft bewerten zu können, müssen weitere Annahmen zu sozioökonomischen und technologischen Entwicklungen getroffen werden. Die Entwicklung der österreichischen Volkswirtschaft bis 2050 ist unsicher, da eine Vielzahl von Faktoren die Entwicklung beeinflussen kann. Ausgangspunkt für langfristige Szenarienanalysen ist häufig die Bevölkerungsentwicklung, da sie maßgeblich die Nachfrage nach Produkten und die Ausgestaltung des Arbeitsmarktes in den wirtschaftlichen Dimensionen, aber auch Landnutzung und den Ausbau der Infrastruktur beeinflussen wird. Diese wird von Statistik Austria ebenfalls für verschiedene Szenarien bis 2050 berechnet, wobei unter anderem Fertilitätsrate und Migration wesentlichen Einfluss nehmen. Zudem besteht Unsicherheit über die technologische Entwicklung, da nicht absehbar ist, wann und in welcher Form Entdeckungen und Innovationen auftreten, oder wann sich wie Technologien verbreiten werden. Neue Technologien werden zukünftige Entwicklungen beeinflussen. Entscheidende Veränderungen können durch „general-purpose“ – Technologien (GPT) ausgelöst werden, die umfassend in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden können und tiefgreifende Veränderungen in Produktion und Konsum mit sich ziehen, wie es beispielsweise durch den Einsatz von Computern geschehen ist. Vor dem Hintergrund des Klimawandels spielt die technologische Entwicklung im Energiesektor eine wesentliche Rolle, da Energieeffizienz, die Zusammensetzung des Strom- und Wärmemixes als auch die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern die Vulnerabilität determinieren (zur Erklärung des Begriffs Vulnerabilität siehe Erklärungsbox). Die Charakteristika eines Energiesystems bestimmen sowohl die Sensitivität als auch die Anpassungsfähigkeit gegenüber klimatischen Veränderungen. Beispielsweise trägt in Österreich die Wasserkraft mit einem durchschnittlichen Anteil von 60 bis 70 Prozent in den Jahren 1990 bis 2012 entscheidend zur Stromproduktion bei (E_Control 2013). Das Wasserkraftpotenzial ist neben regulatorischen Bestimmungen wesentlich von geologischen und klimatischen Faktoren abhängig, da diese u.a. die Abflüsse in den Gewässern beeinflussen und somit sensibel gegenüber klimatischen Veränderungen sind. Die Energieeffizienz des österreichischen Energiesystems³ trägt ebenfalls zu dessen Sensitivität gegenüber klimatischen Veränderungen bei. Bei einem Temperaturanstieg steigt beispielsweise der Bedarf für Raumkühlung. Dabei wird die benötigte Primärenergie zur Raumkühlung bei einer höheren Energieeffizienz, zum Beispiel durch eine effizientere Gebäudedämmung, niedriger ausfallen als bei einem Gebäude mit niedriger Energieeffizienz. Die Annahmen zur Entwicklung der Energieeffizienz beeinflussen somit neben anderen technologischen Annahmen die Kosten der Auswirkungen des Klimawandels in Österreich.

³ In diesem Kontext beinhaltet Energieeffizienz das Bestreben, den Energieverlust (nicht genutzte Energie) in den verschiedenen Umwandlungsstufen von Primärenergie bis zur Energiedienstleistung möglichst gering zu halten.

Box 2: Vulnerabilität

Vulnerabilität wird einerseits durch die Sensibilität eines Systems gegenüber Störungen bestimmt (APCC, 2014: 395). Andererseits beeinflussen die Möglichkeiten des Systems mit den Störungen umzugehen die Vulnerabilität (APCC, 2014: 395). Somit determinieren die Exposition und Sensitivität gegenüber potentiellen Auswirkungen und die Anpassungsfähigkeit gegenüber Störungen die Vulnerabilität eines Systems (APCC, 2014: 660).

Zudem haben Siedlungsstruktur und Infrastrukturausbau wesentlichen Einfluss auf das Schadpotential durch den Klimawandel, da beispielsweise sowohl Extremereignisse als auch ein starker Temperaturanstieg sich unterschiedlich in räumlichen Siedlungsgebieten auswirken und die Infrastruktur verschieden von diesen betroffen ist. Da die österreichische Wirtschaft eng mit anderen Volkswirtschaften verknüpft ist, emaniert Unsicherheit ebenfalls über Kanäle der außenwirtschaftlichen Verflechtungen. Fossile Energieträger werden in Österreich weitestgehend aus dem Ausland importiert und weisen gleichzeitig einen hohen Anteil am Bruttoinlandsverbrauch⁴, ca. 57 Prozent im Jahr 2013, auf (Statistik Austria, 2014a). Entwicklungen auf den internationalen Energiemärkten werden somit auch die wirtschaftlichen Entwicklungen in Österreich beeinflussen. Des Weiteren besteht Unsicherheit über die zukünftigen Umwelt- und Energiepolitiken, die zum einen den Klimawandel durch Mitigationsmaßnahmen verlangsamen, und zum anderen mittels Anpassungsmaßnahmen durch den Klimawandel hervorgerufene Schäden beschränken können.

Die soziale, ökonomische und politische Unsicherheit beeinflusst die Erfassung und Interpretation der Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesellschaft und Wirtschaft, da die soziale, politische und wirtschaftliche Realität maßgeblich die Vulnerabilität der Menschen und wirtschaftlichen Systeme determiniert. Die Dimensionen der Unsicherheit wirken sich zudem auf die Berechnung der Klimawandeleffekte selbst aus und nicht nur auf die Interpretation der Klimawandeleffekte für Gesellschaft und Wirtschaft, da sie die Emissionspfade beeinflussen, die nötig sind, um die Klimaentwicklung für dieses Jahrhundert zu simulieren. Es entstehen dadurch Feedback-Zyklen, die die Wichtigkeit konsistenter Annahmen in der Klimawandelforschung untermauern (zur Beschreibung der Annahmen zur Modellierung siehe Kapitel 3, zu den sektoralen Auswirkungen siehe Kapitel 4, 5 und 6).

Trotz der bestehenden Unsicherheiten auf den verschiedenen Analyseebenen ist die Auseinandersetzung mit möglichen klimatischen Entwicklungen essentiell, da gerade aufgrund der Trägheit des Klimasystems und der Irreversibilität bestimmter Dynamiken (z.B. Eis-Albedo-Rückkoppelung) heutige Entscheidungen die THG-Konzentration über das gesamte Jahrhundert und fortan bestimmen können. Trotz der Unsicherheit ist es demnach entscheidend, die Auswirkungen des Klimawandels für das Ökosystem und die Menschen zu erforschen und geeignete Mitigations- und Anpassungsmaßnahmen umzusetzen.

⁴ Der Bruttoinlandsverbrauch ergibt sich aus der inländischen Erzeugung von Rohenergie plus Importe plus den Lagerbestand.

3. Methode der CGE-Modellierung

Zur Erfassung der volkswirtschaftlichen Effekte des Klimawandels in den einzelnen Sektoren wird das rechenbare allgemeine Gleichgewichtsmodell MERCI (Model for Electricity and Climate change policy Impacts) des IHS Wien verwendet. MERCI ist ein multisektorales Gleichgewichtsmodell der österreichischen Volkswirtschaft, das die Verflechtungen sowohl zwischen den verschiedenen Wirtschaftssektoren (20 Sektoren) als auch zwischen Wirtschaftssektoren und Endnachfragern (Haushalte, Staat, Rest der Welt) abbildet. Somit werden die Vorleistungen, der Einsatz von Kapital und Arbeit und Steuern in der Produktion von Gütern und Dienstleistungen berücksichtigt. In diesem sogenannten „top-down“ Teil des Modells ist auch der Staatsagent implementiert, der im Wesentlichen als Umverteiler agiert, d.h. Steuern einhebt und gezielt Förderungen und Transfers ausgibt. Der Haushaltsagent optimiert seine Nutzenfunktion, indem er zwischen Konsumgütern und Freizeit abwägt. Es kann zwischen verschiedenen Haushaltstypen (niedriger, mittlerer, hoher Ausbildungsgrad; im ländlichen, suburbanen, urbanen Raum wohnhaft) unterschieden werden. Die Unternehmen sind durch die einzelnen Wirtschaftssektoren dargestellt und minimieren ihre Produktionskosten. Da es sich bei MERCI um ein dynamisches Modell handelt, optimieren die Agenten ihre Entscheidungen über den gesamten betrachteten Zeitraum (2008-2050).

In einem sogenannten bottom-up Teil ist der Stromsektor detailliert nach verschiedenen Erzeugungstechnologien (Wind, Laufwasser, Pumpspeicher, Erdgas, Deponie- und Klärgas, Biomasse, Biogas, Photovoltaik, Kohle) abgebildet und mit dem top-down Teil des Modells verknüpft. Das bottom-up Modell erlaubt somit die direkte Berücksichtigung von Kapazitäts- und Ressourcenbeschränkungen. Das Elektrizitätsmodul wird dem aktuellen Strommarktmodell entsprechend modelliert, dass heißt der Strompreis bildet sich nach dem Merit-Order Prinzip⁵. Die Verknüpfung von top-down mit bottom-up Modellen geht methodisch zurück auf ein theoretisches Modell, welches in Böhringer und Rutherford (2008) dargestellt ist. Eine genaue Modellbeschreibung findet sich in Miess (2012) und eine weitere aktuelle Modellapplikation in Schmelzer und Miess (2015). Die Verknüpfung einer technologie-basierten bottom-up Modellierung mit einem sektoralen top-down Wirtschaftsmodell bietet den Vorteil, Interaktionen zwischen den Wirtschaftssektoren als auch technologische Kenntnisse und Effizienz konsistent abzubilden.

Der Ausgangsdatensatz für die Modellierung basiert im Wesentlichen auf den Input-Output-Tabellen sowie der Leistungs- und Strukturhebung der Statistik Austria und dient der Erstellung einer Social-Accounting-Matrix, in der die einzelnen Wirtschaftssektoren mit den Vorleistungsverflechtungen, die Endnachfrager (Haushalte, Staat, Rest der Welt), Arbeit, Kapital und Steuern erfasst werden. Für die Erstellung des detaillierten Stromsektors wurden unter anderem Daten aus Publikationen der E-Control, der Statistik Austria und des IHS Wien entnommen. Eine detaillierte Beschreibung des Datensatzes und weiterer Quellen befindet sich in Miess et.al. (2014). Das Modell wurde auf das Jahr 2008 kalibriert, das den Ausgangspunkt für die Berechnungen darstellt.

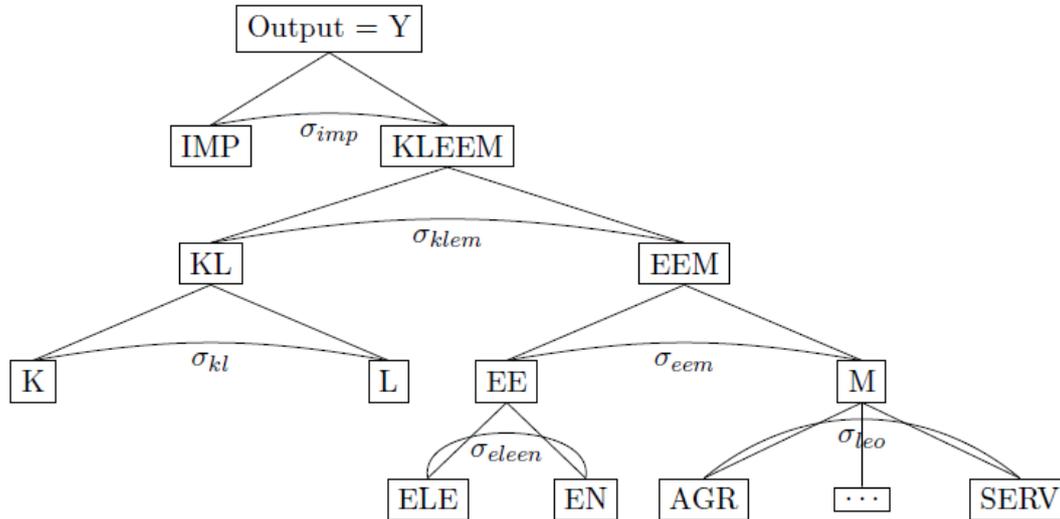
Sowohl die Haushalts- als auch die Produktionsentscheidungen sind in einer CES-Funktion⁶ eingebettet, wobei diese funktionale Form konstante Elastizitäten zwischen einzelnen Gütern bzw. Produktionskomponenten vorsieht. Bei Veränderungen der relativen Preise passen die Haushalte und

⁵ Das Merit-Order Prinzip beschreibt die Preisbildung am Spotmarkt für Strom, wobei die Kraftwerke Strom anbieten, wenn der Strompreis über ihren variablen Kosten liegt (Haas und Loew, 2012). Die Merit-Order-Kurve beschreibt die Reihung der Kraftwerke, die für eine nachgefragte Strommenge ihre erzeugte Strommenge anbieten (Ibid.). Da diese Reihung durch die variablen Kosten der Kraftwerke bestimmt wird, ergibt sich eine charakteristische Kurve und Folge der Kraftwerke. Der Preis wird durch das Angebot des teuersten Kraftwerks determiniert, das noch in die Kurve aufgenommen werden muss, damit die Stromnachfrage bedient werden kann.

⁶ CES oder auch constant elasticity of substitution bedeutet konstante Substitutionselastizität.

Unternehmen ihre Produktions- und Konsumententscheidungen an, indem sie zwischen den Konsumgütern auf der Haushaltsseite und zwischen Vorleistungsgütern, Kapital und Arbeit auf der Unternehmensseite substituieren. Die Kreuzpreiselastizität gibt dabei an, wie sich beispielsweise die Nachfrage nach einem Gut verändert, wenn sich der Preis eines anderen Gutes verändert.

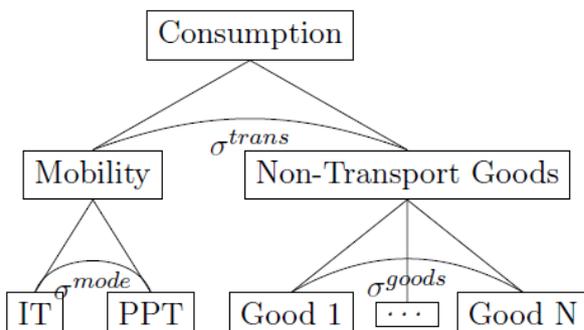
Abbildung 1: Einbettung der Sektoren in die Produktionsfunktion



Anmerkung: IMP...Importe, KLEEM...Nest für Vorleistungen und Wertschöpfungskomponenten, K...Kapital, L...Arbeit, EE...Energiegüter, M...andere Güter außer Energiegüter, ELE...Stromgut, EN...Energiegüter außer Strom

Abbildung 1 stellt die Einbettung der Güter und Dienstleistungen, die in der österreichischen Volkswirtschaft gehandelt werden, von der Produktionseite dar. Ein Gut (Output) kann demnach heimisch produziert oder importiert (IMP) werden. Heimisch produzierte und importierte Güter können substituiert werden, wobei σ_{imp} die Substitutionselastizität zwischen beiden Gütergruppen beschreibt. Das Nest KLEEM stellt die Struktur der Produktionsfunktion der Unternehmen dar, die sich aus den Wertschöpfungskomponenten (Arbeit und Kapital) einerseits und den Vorleistungsgütern (EE,M) andererseits ergibt. σ_{klem} bestimmt, wie Unternehmen zwischen Wertschöpfungskomponenten und Vorleistungsgütern substituieren können, σ_{kl} umfasst die Substitutionselastizität zwischen Arbeit und Kapital, σ_{eem} zeigt die Substitutionselastizität zwischen Energiegütern und anderen Vorleistungsgütern, σ_{leo} zwischen den restlichen Vorleistungsgütern.

Abbildung 2: Einbettung der Nachfrage der Haushalte nach Gütern



Anmerkung: Consumption...Konsum, Mobility...Mobilitätsgut, Non-Transport Goods...Nicht Transport bezogene Güter, IT...individueller Transport (mit PKW etc.), PPT...Öffentlicher Transport, Good1...Gut1

Die Haushalte wählen generell zwischen Freizeit und Arbeit, wobei diese Aufteilung durch das Lohnniveau und das Preisniveau der Konsumgüter beeinflusst wird. Abbildung 2 zeigt die Einbettung der Konsumnachfrage der Haushalte. Sie können zwischen Mobilitätsgütern und anderen

Konsumgütern (σ^{trans}), in weiter Folge zwischen individuellen und öffentlichen Transport (σ^{mode}) sowie zwischen den restlichen Konsumgütern (σ^{goods}) substituieren. Der Staatsagent konsumiert Güter und Dienstleistungen in fixen Proportionen, da die Nachfrage preisunempfindlich ist und sich nur nach den Steuereinnahmen richtet.

Damit das Gleichungssystem mit dem vorgegebenen Datensatz und Parametern konsistent ist, wird das Modell bis 2050 kalibriert und ein Benchmark-Szenario unter der Annahme von Wachstumsraten, Zinssatz und Abschreibungsrate erstellt. Dabei wird der Zinssatz so gewählt, dass die Kapitalflüsse und Investitionen des Ausgangsdatsatzes mit der Kapitalstockakkumulation, den Abschreibungs- und Wachstumsraten übereinstimmen. Zusätzliche Veränderungen wie beispielsweise Umweltpolitiken oder für die Modellierung der Klimawandeleffekte relevante Maßnahmen werden berücksichtigt und im BAU-Szenario abgebildet.

Box 3: Wesentliche Annahmen im Benchmark und BAU-Szenario

- Jährliche Wirtschaftswachstumsrate von einem Prozent
- Stromerzeugung der verschiedenen Energieträgern im BAU-Szenario mit einem jeweiligem Anstieg zwischen 2008-2050: Wasserkraft (Laufkraft) 18%, Deponie- und Klärgas -18%, Steinkohle 250%, Biomasse und Biogas -18%, Wind 169%, Wasserkraft (Pumpspeicher) -48%, PV konstant, Gaskraftwerke 1% (vgl. Referenzszenario; Kranzl et al., 2010, Zach et al., 2013)
- Entwicklung des Arbeitsangebots im BAU-Szenario: Die Erwerbsbevölkerung wird zwischen 2012 und 2050 um 0,63 Prozent steigen laut dem Hauptszenario der Statistik Austria (2014b).

Diese Annahmen sind wesentlich für die Modellierung, da sie einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Berechnungen haben. Beispielsweise führt eine höhere Wachstumsrate zu einem höheren Bruttoinlandsprodukt (BIP). Die gleichen volkswirtschaftlichen Klimawandelkosten wären in einem Szenario mit einer niedrigeren Wachstumsrate relativ höher als in einem Szenario mit hoher Wachstumsrate. Das Wirtschaftswachstum wird unter anderem durch Produktivitätsverbesserungen und Kapitalbildung in Österreich, durch das Wachstum der österreichischen Erwerbsbevölkerung und die Nachfrage aus der restlichen Welt angetrieben. Die Annahme einer langfristigen Wachstumsrate ist mit Unsicherheit belastet, die unter anderem durch die Unsicherheit über die Nachfrageentwicklung in der EU und im Rest der Welt generiert wird. Der Anteil der Exporte an der gesamten Verwendung von Produkten und Dienstleistungen, die in und aus der österreichischen Volkswirtschaft 2011 konsumiert wurden, beträgt 20 Prozent und das Verhältnis der Exporte zur Wertschöpfung 56 Prozent, wobei diese Anteile beziehungsweise diese Verhältnisse die Bedeutung der Außenhandelsverflechtungen mit der österreichischen Volkswirtschaft zeigen (Statistik Austria, 2015). Im OECD Environmental Outlook 2050 wird eine durchschnittliche, jährliche BIP-Wachstumsrate für die EU27 und Norwegen, Island und Schweiz von 1,9 Prozent für die Periode 2010-2050 angenommen, für die gesamte Welt wird eine Wirtschaftswachstumsrate von 3,5 Prozent jährlich festgelegt (OECD, 2012:55). Zudem besteht Unsicherheit darüber, wie der technologische Wandel das BIP-Wachstum in Zukunft beeinflussen wird. Die Multifaktorproduktivität (auch totale Faktorproduktivität genannt) misst den Wachstumsbeitrag des technologischen Wandels, der sich nicht durch Produktivitätsveränderungen von Arbeit und Kapital erklären lässt (Peneder et al., 2007). Die Multifaktorproduktivität der Jahre 1989-2009 lag bei 0,83 Prozent, der den jährlichen Beitrag der Multifaktorproduktivität zur Wachstumsrate des österreichischen BIP erklärt (vgl. EU Klems Database, O'Mahony und Timmer, 2009). Diese Rate kann unter anderem zur Approximation des Wirtschaftswachstums herangezogen werden. Tabelle 1 zeigt,

dass sich schon bei einer Verschiebung der 10 Jahresperiode von 1998-2008 auf 1999-2009 die durchschnittliche jährliche totale Faktorproduktivität signifikant ändert.

Tabelle 1: Wachstumsraten der totalen Faktorproduktivität im Vergleich zum Vorjahr der einzelnen MERCI-Sektoren über die letzten 10 Jahre

	1998-2008	1999-2009
AGR	3,89	1,94
FERR	0,99	-0,23
CHEM	6,50	5,94
ENG	3,72	2,00
CARS	3,20	1,32
VEH	6,23	4,18
OTHER	2,18	1,33
BUI1	0,95	0,10
BUI2	0,95	0,10
PT	-0,66	-1,11
NCST	-0,66	-1,11
FT	-0,66	-1,11
RnD	-1,16	-1,23
SERV	1,46	1,27
CAR_SERV	0,51	-1,01
ELE	1,11	0,83
ELE_INF	1,11	0,83
LDH	1,11	0,83
GAS	1,11	0,83
COAL	26,77	33,35
CRUDE	26,77	33,35
FUEL	26,77	33,35

Quelle: EU Klems Database, Austria Basic Output 2012 (O'Mahony und Timmer, 2009)

Anmerkung: Zur Erklärung der Abkürzungen der Sektoren siehe Annex

Die Multifaktorproduktivität verschiebt sich insgesamt von durchschnittlichen 1,04 Prozent für 1987-2007 auf ein Prozent 1988-2008 und auf 0,83 Prozent für 1989-2009 (Ibid.). Diese Veränderungen sind vor allem durch das Eintreten der Finanz- und Wirtschaftskrise zu erklären. Basierend auf den Erwartungen zum Wirtschaftswachstum in der Welt und auf EU-Ebene, der stagnierenden Erwerbsbevölkerung und der Annahme einer niedrigen Multifaktorproduktivität wird eine niedrige Wachstumsrate gewählt, in der die österreichische Volkswirtschaft in der bestehenden Struktur bis 2050 anwächst. Weitere Annahmen betreffen den Zinssatz und die Abschreibungsrate, da sie auf die Investitionen und somit auf den Kapitalstock Einfluss nehmen und Konsum- und Produktionsentscheidungen prägen.

Zudem ist anzumerken, dass eine CO₂-Emissionsrechnung für die Analyse zwar vorteilhaft gewesen wäre, es allerdings den Rahmen des Projektes überschritten hätte, diese im Modell MERCI zu implementieren. In der Entwicklung der Stromerzeugungstechnologien sowohl im BAU-Szenario als auch in dem entsprechenden Klimaszenario wird die CO₂-Last der Energieträger indirekt mitberücksichtigt, allerdings nicht explizit modelliert und scheint somit nicht direkt in der Entscheidungsgrundlage von Firmen und Haushalten auf.

Bei einem Nachfrage- oder Preisschock wird die Volkswirtschaft von dem angenommenen Wachstumspfad gedrängt. Damit sich die Wirtschaft wieder im Gleichgewicht befindet, alle Märkte ausgeglichen sind und die Budgetrestriktionen der Haushalte und des Staates eingehalten werden,

ändern sich die Preise von Gütern, Dienstleistungen und Wertschöpfungskomponenten (Arbeit, Kapital). Die Veränderung der Preise induziert eine Anpassung der Produktion und des Konsums, sodass die Anpassung in dem Modell MERCI über den Preismechanismus erfolgt. Da es sich um ein dynamisches Modell handelt, optimieren Haushalte ihre Konsum- oder Freizeitentscheidung über den gesamten Zeithorizont, sodass Konsum und Freizeit den größtmöglichen Nutzen erzielen. Neben den exogen vorgegebenen Wachstumsraten tragen Investitionen und Abschreibungen zur Veränderung des Kapitalstocks und damit zur Dynamik des Modells bei. Bei der Modellierung von Szenarien werden Veränderungen, die durch den Klimawandel in Österreich ausgelöst werden, in Form von Instrumenten in das Modell integriert und die Effekte der Auswirkungen im Klimaszenario mit den Resultaten des BAU-Szenarios verglichen. Damit wird ein möglichst kohärenter Vergleich der Ergebnisse der abstrakten Modellierung angestrebt, um sich den tatsächlichen Auswirkungen des Klimawandels in der österreichischen Volkswirtschaft anzunähern.

4. Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor

Die Auswirkungen des Klimawandels werden den Energiesektor in Österreich betreffen, da einerseits die Nachfrage nach Energie (z.B. Wärme) abhängig von den klimatischen Bedingungen ist, andererseits wird die Erzeugung von Elektrizität in Österreich von den Klimaveränderungen veränderte Umstände erfahren. Hinsichtlich der Vulnerabilität spielen technologische Entwicklungen, das Verhalten der Konsumenten, der Ausbau der Infrastruktur sowie der Energiemix eine entscheidende Rolle.

4.1. Auswirkungen des Klimawandels auf den Heiz- und Kühlbedarf

Der Temperaturanstieg durch den Klimawandel führt zu einem Rückgang des Heizenergiebedarfs. Die Heizgradtage (HGT)⁷ werden merklich bis zur Mitte des Jahrhunderts zurückgehen, die Intensität des Rückgangs ist allerdings regional unterschiedlich. So gehen die HGT zwischen 2041 - 2050 im Vergleich zur Periode 1981-1990 um 600 HGT im Osten Österreichs (Donautal, Wien, niedergelegene Regionen Niederösterreichs, Nordburgenland, Südsteiermark) zurück (Prettenthaler et al., 2007). In alpinen Regionen ist dagegen ein stärkerer Rückgang zu verzeichnen, variierend zwischen 700 bis 1200 HGT (Prettenthaler et al., 2007). Dies entspricht einer durchschnittlichen Reduktion der HGT von 20 Prozent. Der Temperaturanstieg bewirkt ebenso einen Anstieg des Kühlbedarfs. Der Osten Österreichs, mit Niederösterreich, Wien, Südoststeiermark und dem Südburgenland, verzeichnet die höchste Zunahme an Kühlgradtagen⁸, die zwischen 160 und 250 Kühlgradtage schwankt (APCC, 2014: 685). Der Einfluss des Klimawandels in Österreich auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf hängt zudem von den technologischen Voraussetzungen und dem Konsumverhalten ab. Energieeffizienz und die Diffusion von Kühlenergiegeräten werden dabei den Kühl- und Heizenergiebedarf schon im BAU-Szenario entscheidend beeinflussen.

Inputannahmen für die Modellierung der Veränderung des Heizenergiebedarfs

In diesem Abschnitt werden die Effekte des Heizenergiebedarfs modelliert, da die Veränderung des Kühlbedarfs zusammen mit den Veränderungen im Stromsektor analysiert wird. In Kranzl et al. (2010) wurde die Veränderung der Nachfrage nach Raumwärme und Raumkühlung (ohne industrielle und gewerbliche Wärme- und Kältenachfrage) bis 2050 ohne und mit Klimasignal geschätzt, wobei der derzeitige Gebäudebestand, dessen Charakteristika sowie mögliche Ausbauszenarien berücksichtigt wurden. Die Annahmen zur Bauweise und Energieeffizienz beeinflussen maßgeblich den Verlauf des Heizenergiebedarfs bis 2050. Die Sanierung des Gebäudebestands und ein effizienterer Bau von Neubauten reduzieren den Heizenergiebedarf bis 2050 signifikant (Kranzl et al., 2010: 99). Maßnahmen, wie die Sanierung des Gebäudebestands und ein effizienterer Neubau, führen zu einer Reduktion des Endenergiebedarfs für Raumwärme von rund 56 Prozent im Vergleich zu einem Referenzszenario ohne diese Maßnahmen (Kranzl et al., 2010: 99). Das A1B-Szenario bei Kranzl et al. (2010) beschreibt generell einen effizienten Wettbewerb, in dem CCS-Technologien, erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Koppelung ausgebaut werden, da sie kostengünstige Technologien darstellen. Energieeffizienzmaßnahmen werden ebenfalls umgesetzt. Der Rückgang des Heizenergiebedarfs im Vergleich zum Referenzszenario, der durch den Klimawandel ausgelöst wird, beträgt zwischen drei bis sechs Prozent bis 2050, wobei eine sechsprozentige Reduktion dem A1B-Klimaszenario entspricht. Dieser Wert wurde auf den Heizenergiebedarf des BAU-Szenarios umgelegt und als Effizienzverbesserung ins Modell eingeführt. Der Prozentsatz für die klimainduzierte

⁷ Die Heizgradtage stehen dabei für die Temperaturdifferenz zwischen Heizschwellenwert und dem Tagesmittel der Außentemperatur (APCC, 2014: 684).

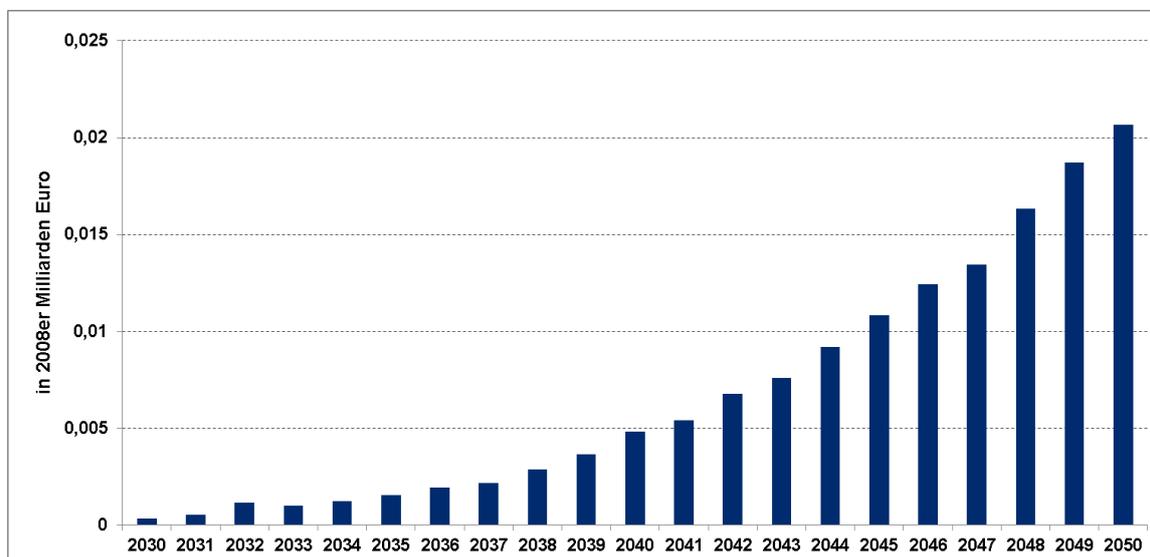
⁸ Die Kühlgradtage stehen dabei für die Temperaturdifferenz zwischen Kühlwellenwert und dem Tagesmittel der Außentemperatur (APCC, 2014: 684).

Endenergiereduktion der Haushalte wurde ebenfalls auf die Nachfrage für Raumwärme des privaten Sektors umgelegt. Somit konsumieren die Haushalte und Sektoren um rund sechs Prozent weniger Energie für Raumwärme im Jahr 2050. Anhand der Nutzenergieanalyse 2008 von Statistik Austria wurde die Nachfrage nach Raumwärme der Wirtschaftssektoren und Haushalte auf die verschiedenen Energieträger⁹ aufgeteilt (Statistik Austria, 2013). Es wurde demnach angenommen, dass die prozentuelle Aufteilung des Heizenergiebedarfs auf die Energieträger differenziert nach Wirtschaftssektor und Haushaltstyp bis 2050 konstant bleibt.

Ergebnisse der Modellierung

Mittels dieser zwei Inputparameter (Rückgang des Heizenergiebedarfs und sektoraler Untergliederung der Nachfrage der Sektoren und Haushalte) wird die Veränderung der Nachfrage nach bestimmten Energieträgern für Raumwärme durch den Klimawandel an die entsprechende Nachfrage in dem Modell geknüpft. Es erfolgte dann der Vergleich der volkswirtschaftlichen Effekte der Veränderung des Heizenergiebedarfs zum BAU-Szenario.

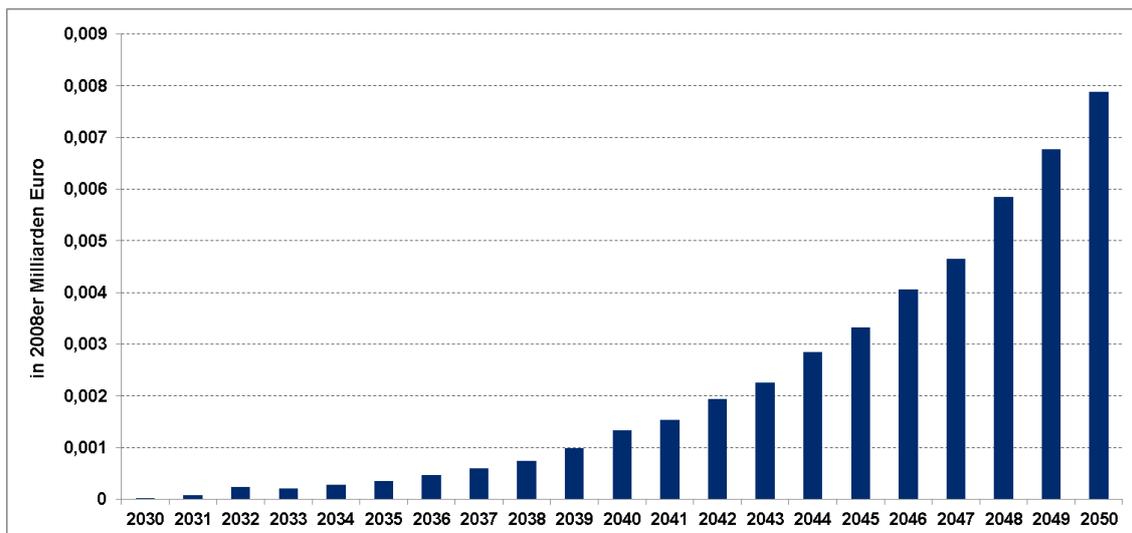
Abbildung 3: Effekte der Reduktion des Heizenergiebedarfs auf das Bruttoinlandsprodukt



Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

In Abbildung 3 werden die berechneten, positiven Effekte der Reduktion des Heizenergiebedarfs durch den Klimawandel dargestellt, die bis zur Mitte des Jahrhunderts ansteigen. Dabei nimmt das österreichische Bruttoinlandsprodukt um 340,28 Tausend Euro im Jahr 2030 bis 20,68 Mio. Euro im Jahr 2050 zu. Da die Haushalte nun für das gleiche Nutzenniveau weniger Ausgaben für ihren Heizenergiebedarf aufwenden müssen, können sie die eingesparten Ausgaben für den Konsum von anderen Gütern verwenden, sodass sich ihr Nutzen insgesamt erhöht. Die erhöhte Nachfrage nach anderen Gütern induziert einen Anstieg der Produktion, wobei Außenhandelseffekte berücksichtigt werden. Auf der anderen Seite schrumpfen die Ausgaben der Firmen für Raumwärme und lösen somit eine Produktivitätssteigerung aus, da jetzt das gleiche Gut zu geringeren Kosten produziert werden kann. Insgesamt erhöhen sich Konsum und Produktion und bewirken somit positive Wachstumseffekte.

⁹ Diese Energieträger umfassen Stein- und Braunkohle, Koks, Heizöl, Gasöl für Heizzwecke, Flüssiggas, Naturgas, elektrische Energie, Fernwärme, Brennholz, biogene Brenn- und Treibstoff und brennbare Abfälle.

Abbildung 4: Effekte der Reduktion des Heizenergiebedarfs auf die Staatseinnahmen

Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

In Abbildung 4 wird der Verlauf der Staatseinnahmen durch die Reduktion des Heizenergiebedarfs bis 2050 dargestellt. Die Staatseinnahmen steigen bis zur Mitte des Jahrhunderts um 7,89 Mio. Euro aufgrund der steigenden Einnahmen aus Mehrwert-, Lohn- und Mineralölsteuer.

4.2. Auswirkungen des Klimawandels auf den Stromsektor

Der Klimawandel wird sich auf die österreichische Stromerzeugung auswirken, da die veränderten klimatischen Bedingungen in Österreich unter anderem das Pflanzenwachstum, die Verfügbarkeit von Biomasse, die Windkraft und Sonneneinstrahlung beeinflussen werden. Die forstwirtschaftliche Biomasse¹⁰ wird durch den Klimawandel regional unterschiedlich betroffen sein, österreichweit werden sich die Effekte dabei ausgleichen (Kranzl et al., 2010: V).

Berechnungen von möglichen Niederschlagsverläufen über das Jahrhundert sind durch eine höhere Unsicherheit gekennzeichnet als Berechnungen der Temperaturentwicklung. Neben anderen Faktoren beeinflusst der Niederschlag die Abflüsse in den Gewässern. Im Winter kann es im Laufe des Jahrhunderts in Österreich zu einer Erhöhung der Abflüsse kommen (außer im Süden) und im Sommer zu einer Reduktion, wobei diese Auswirkungen jedoch regional differenziert auftreten (BMLFUW, 2012: 32-34). Die Abflüsse determinieren neben anderen Faktoren, wie Verdunstung oder Pflanzenwuchs, das Wasserkraftpotenzial in Österreich. Durch die klimawandelbedingten Veränderungen des Niederschlags und der Temperatur ändert sich das Wasserkraftpotenzial (Laufwasserkraftwerk). Im Vergleich zum Mittelwert der simulierten Stromproduktion aus Laufwasserkraft in der Periode 2011-2040 sinkt dieser in der Periode 2025-2075 um 15 Prozent im A1B-Szenario (Kranzl et al., 2010: 47). Durch die Gletscherschmelze kann die Stromproduktion durch Wasserkraft vorübergehend um ca. 0,8 Prozent zunehmen (Kranzl et al., 2010: 48).

Da der Kühlenergiebedarf durch elektrische Energie gedeckt wird, wird sich die Veränderung des Kühlenergiebedarfs durch den Klimawandel auch auf den Stromsektor auswirken. Bei der Berechnung des zukünftigen Kühlenergiebedarfs spielt die Diffusion von Kühlanlagen und die Energieeffizienz sowohl von Gebäuden als auch Endgeräten eine bedeutende Rolle. Je nach dem, ob ein Trend zur Diffusion von Raumklimatisierung vorliegt und ob eine Korrelation zwischen Diffusion und Hitzetagen besteht, schwankt der Energieverbrauch für Raumkühlung und -klimatisierung zwischen 5.250 GWh und 12.000 GWh im Jahr 2050 im A1B-Szenario (Kranzl et al., 2010: 101). Diese Annahmen

¹⁰ Die landwirtschaftliche Biomassebereitstellung wurde in Kranzl et al. (2010) nicht untersucht und auch in der vorliegenden Studie durch die Effekte in der Landwirtschaft und nicht explizit im Stromszenario abgebildet.

haben demnach einen erheblichen Einfluss auf die Auswirkungen des Klimawandels. Gleichzeitig zeigt diese Bandbreite die Möglichkeiten für Anpassungsmaßnahmen, die die Auswirkungen des Klimawandels eindämmen können. Da der Kühlenergiebedarf im Sommer und um die Mittagsspitze ansteigen wird, kommt es zu einer höheren Nachfrage in den Spitzenlastzeiten, sodass zusätzliche Kraftwerkskapazitäten für die Erzeugung notwendig sein werden.

Inputannahmen für die Modellierung

Die Inputannahmen für die Modellierung der Klimawandeleffekte im Stromsektor wurden der simulierten, österreichischen Stromerzeugung aus verschiedenen Erzeugungstechnologien bis 2050 von Kranzl et al. (2010) entnommen. Dabei wurde die Stromerzeugung des Referenzszenarios für das BAU-Szenario und die simulierte Stromerzeugung für das Klimaszenario A1B für das Klimaszenario der vorliegenden Studie verwendet. Die Stromnachfrage steigt im A1B-Szenario im Vergleich zu 2010 an, doch weniger stark als im Referenzszenario aufgrund der niedrigeren Heizenergienachfrage und Energieeffizienzmaßnahmen. Das BAU-Szenario stellt ein marktgetriebenes Szenario dar, in dem keine klaren Umweltpolitiken (keine Förderung erneuerbarer Energien), niedrige Primärenergie- und CO₂-Preise vorherrschen (Redl et al., 2009). Tabelle 2 stellt die Wachstumsraten der österreichischen Stromerzeugung nach verschiedenen Primärenergieträgern und Kraftwerken differenziert für das BAU-Szenario dar. Die Laufwasserkraft sinkt bis zur Mitte des Jahrhunderts, neue Steinkohlekraftwerke werden errichtet, sodass sich der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien reduziert.

Tabelle 2: Wachstumsraten der österreichischen Stromerzeugung nach verschiedenen Primärenergieträgern und Kraftwerken im BAU-Szenario im Vergleich zum Jahr 2008

BAU	2008	2020	2030	2040	2050
Laufwasserkraftwerk	1,00	1,40	1,27	1,18	1,18
Deponie- und Klärgas	1,00	0,60	0,50	0,55	0,82
Steinkohle	1,00	0,97	2,09	2,77	3,50
Biomasse	1,00	0,62	0,22	0,49	0,83
Biogas	1,00	0,60	0,50	0,55	0,82
Windkraft	1,00	1,33	1,25	1,94	2,69
Pumpspeicherkraftwerk	1,00	1,28	1,28	1,28	1,28
Photovoltaik	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erdgas	1,00	1,50	1,85	1,65	1,01

Quelle: Kranzl et al., 2011; Biermayr, 2009; Bodenhöfer et al., 2004; Energie-Control, 2009-2012; Havranek, 2012; Lang und Rohrer, 2011; Schröder et al., 2013; Statistik Austria, 2014a; Zach et al., 2013

In Tabelle 3 werden die Wachstumsraten der österreichischen Stromerzeugung nach verschiedenen Primärenergieträgern und Kraftwerken differenziert für das A1B-Klimaszenario dargestellt.

Tabelle 3: Wachstumsraten der österreichischen Stromerzeugung nach verschiedenen Primärenergieträgern und Kraftwerken im A1B-Szenario im Vergleich zum Jahr 2008

A1B	2008	2020	2030	2040	2050
Laufwasserkraftwerk	1,00	1,21	1,26	1,07	1,05
Deponie- und Klärgas	1,00	0,60	0,50	0,55	0,82
Steinkohle	1,00	0,82	0,51	1,25	2,27
Biomasse	1,00	1,17	1,42	1,46	1,74
Biogas	1,00	2,28	3,14	2,65	1,09
Windkraft	1,00	2,26	3,26	3,58	3,69
Pumpspeicherkraftwerk	1,00	1,28	1,29	1,33	1,38
Photovoltaik	1,00	2,15	4,30	11,33	11,68
Erdgas	1,00	1,42	1,48	1,47	0,98

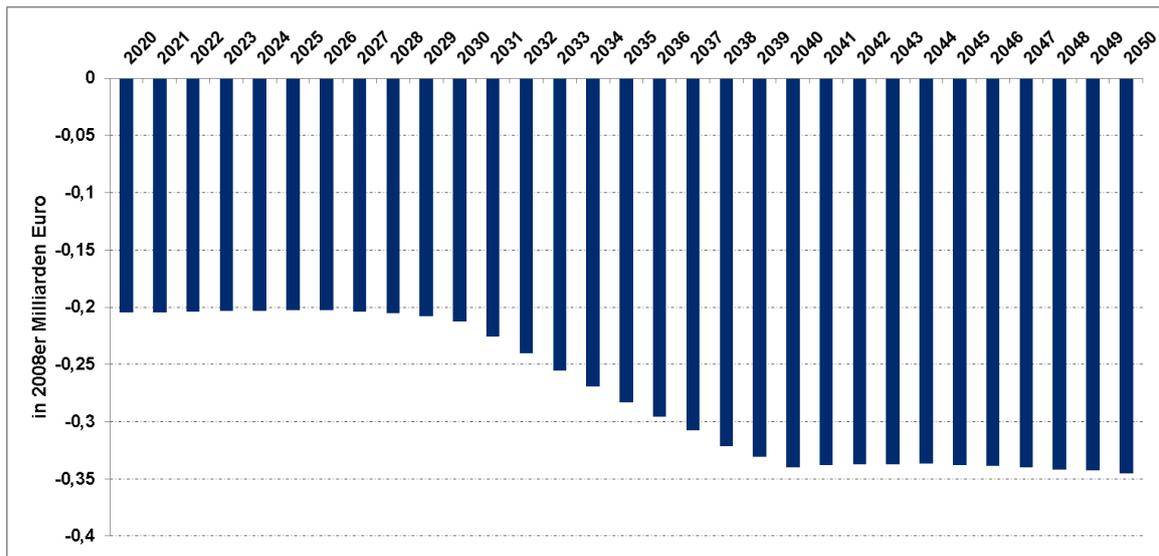
Quelle: Kranzl et al., 201; Biermayr, 2009; Bodenhöfer et al., 2004; Energie-Control, 2009-2012; Havranek, 2012; Lang und Rohrer, 2011; Schröder et al., 2013; Statistik Austria, 2014

Im Jahr 2050 nimmt die Stromproduktion aus Wasserkraft im A1B-Szenario um 4,8 TWh im Vergleich zum Referenzszenario ab (Kranzl et al., 2010: 109). Dabei wird sowohl im Referenz- als auch im A1B-Szenario die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie mitberücksichtigt, die eine Reduktion der Stromerzeugung aus Wasserkraft um 2,1 Prozent vorsieht (Ibid.). Die Preise der fossilen Primärenergieträger steigen bis 2050 leicht an, der CO₂-Zertifikatspreis steigt stark an (80 Prozent im Vergleich zu 2010) (Kranzl et al., 2010: 116). Da das A1B-Szenario die Verbreitung von erneuerbaren Energien umfasst, erfolgt ein Ausbau von Windkraft und Photovoltaik. So steigt die Stromerzeugung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen im A1B-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario stark an. Carbon Capture and Storage-Technologien (CCS) zur Abspaltung und Speicherung von Kohlenstoffdioxid sind ebenfalls verfügbar. Bei den Annahmen zur österreichischen Stromerzeugung im A1B-Szenario wurde ebenfalls die Veränderung der Nachfrage nach Raumkühlung und -klimatisierung berücksichtigt. Diese Annahmen werden im bottom-up modellierten Elektrizitätsmodell des CGE Modells MERCI implementiert, indem Kapazitätsschranken auf die Stromerzeugung der einzelnen Technologien gesetzt werden.

Ergebnisse der Modellierung

In Abbildung 5 wird der Verlauf der Klimawandeleffekte durch Veränderungen im Stromsektor auf das österreichische Bruttoinlandsprodukt bis zur Mitte des Jahrhunderts dargestellt. Zunächst steigen die Kosten auf 204,49 Mio. Euro im Jahr 2020 und dann bis zur Mitte des Jahrhunderts auf 345,05 Mio. Euro jährlich an. Durch den Klimawandel reduziert sich die Stromerzeugung aus Laufwasserkraft, die zu Null Grenzkosten Strom produzieren kann und somit zu einer der billigsten Stromerzeugungstechnologien gehört und somit stets in die Merit-Order beim Bietverfahren auf dem Strommarkt in den Pool zugeteilter Strommengen aufgenommen wird. Dabei schwankt die Stromerzeugung aus Laufwasserkraft über das Jahrhundert, weist jedoch einen starken Trend auf. Gaskraftwerke, die höhere Grenzkosten vorweisen und eine höhere Belastung durch Kohlenstoffdioxidausstoß mit sich bringen, werden zur Stromerzeugung eingesetzt. Die Kapitalerträge gehen zurück, da die preiswerte, rentable Stromerzeugung aus Laufwasserkraft zurückgeht und teurere Stromtechnologien eingesetzt werden müssen. Zudem intensiviert die höhere Stromnachfrage für Raumkühlung und -klimatisierung die Mittagsspitze, wodurch zusätzliche Investitionen in Kapazitäten getätigt werden müssen. Durch einen höheren Elektrizitätspreis steigen die Produktionskosten, die Haushalte senken ihren Konsum oder substituieren zu anderen Gütern.

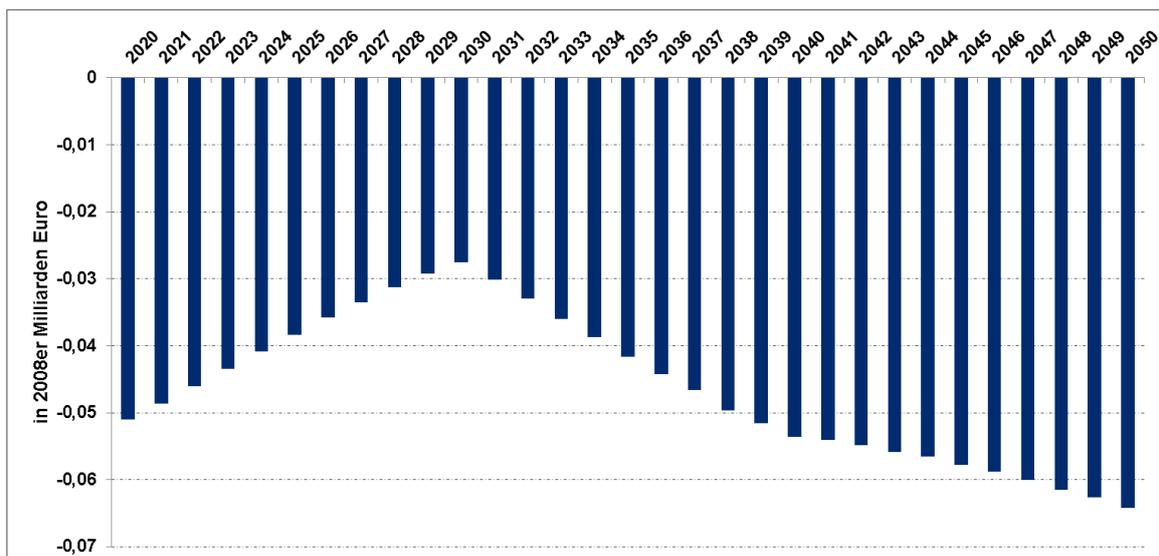
Abbildung 5: Veränderung des Bruttoinlandprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels im Stromsektor



Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Abbildung 6 zeigt die Veränderungen der Staatseinnahmen durch die Effekte des Klimawandels auf den Stromsektor. Der Rückgang der Staatseinnahmen um 51,06 Mio. Euro im Jahr 2020 steigt bis 2050 auf 64,19 Mio. Euro jährlich an. Die Schwankungen der Kosten mit einem Rückgang um das Jahr 2030 sind auf die fluktuierende Erzeugung aus Laufwasserkraftwerken zurückzuführen.

Abbildung 6: Veränderung der Staatseinnahmen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Stromsektor



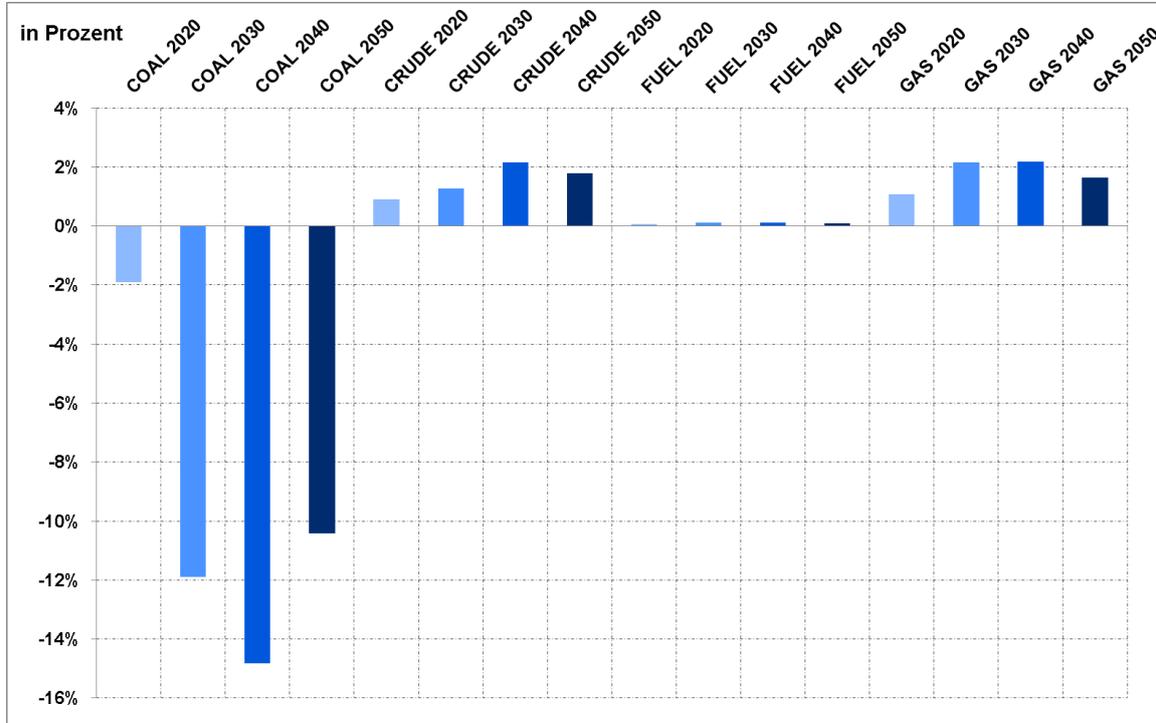
Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Da die Haushalte Elektrizität mit anderen Gütern substituieren gehen die Einnahmen des Staates aus Energiesteuern zurück. Zudem bewirkt der Rückgang des Konsums und der Produktion einen Rückgang der Einnahmen aus Mehrwert-, Kapital- und Energiesteuern der Haushalte. Abbildung 7 stellt die prozentuellen Veränderungen des sektoralen Aufkommens¹¹ dar für die Energiesektor Kohle, Erdgas und Erdöl, Treibstoff und Dienstleistung der Gasversorgung. Das Aufkommen an Kohle geht zurück, da im A1B-Szenario CO₂-Emissionsziele umgesetzt werden müssen und somit der Einsatz von

¹¹ Aufkommen inkludiert laut der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung der Statistik Austria den Produktionwert (Vorleistungen, Gütersteuern abzüglich Gütersubventionen, Wertschöpfung) und die Importe des entsprechenden Gutes.

Kohle zurückgefahren wird. Der Rückgang von Steinkohle im Stromsektor zieht eine Verringerung des Outputs des Kohlesektors mit sich. Im Gegensatz dazu wird Gas stärker eingesetzt um die Steinkohle und die sinkende Wasserkraft zu substituieren.

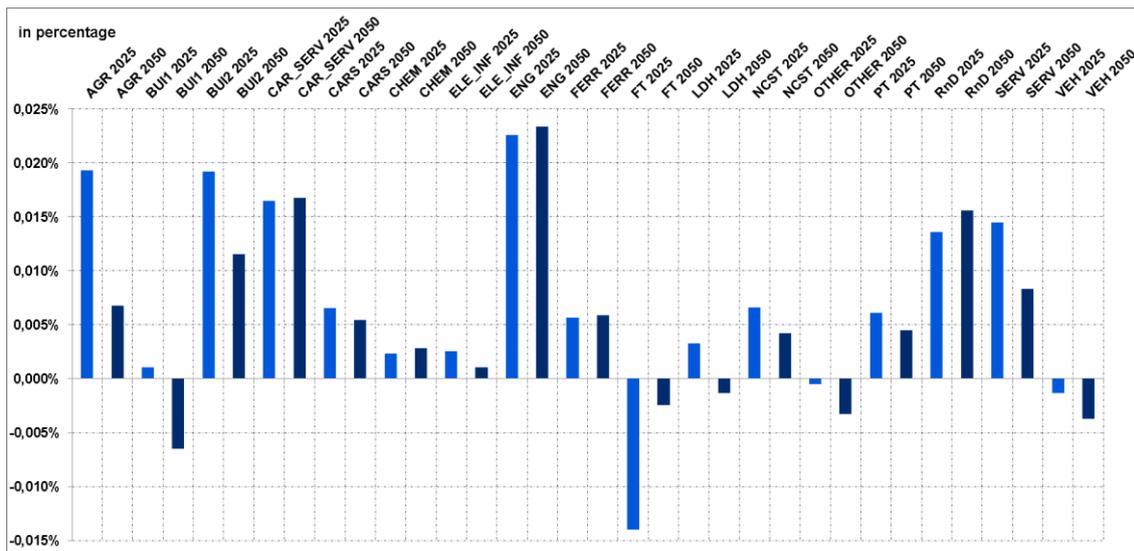
Abbildung 7: Prozentuelle Veränderung des Aufkommens der Sektoren Kohle, Erdöl & Erdgas und Gasdienstleistungen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Stromsektor



Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Anmerkung: Coal... Kohle, CRUDE... Erdöl, Erdgas, Mineralölzeugnisse, FUEL... Treibstoff, GAS... Dienstleistungen der Gasversorgung

Abbildung 8: Prozentuelle Veränderung des Aufkommens der Sektoren durch die Auswirkungen des Klimawandels im Stromsektor im Vergleich zum sektoralen Aufkommen im BAU-Szenario



Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Anmerkung: Veränderung des Aufkommens der Sektoren ohne die Sektoren Kohle, Erdöl & Erdgas, Treibstoff und Gasdienstleistungen, zur Erklärung der Abkürzungen der Sektoren siehe Annex

Abbildung 8 stellt die prozentuellen Veränderungen des Aufkommens der Sektoren (außer Kohle, Erdöl und Erdgas, Treibstoff und Gasdienstleistungen) dar im Vergleich zum Aufkommen im BAU-Szenario. Von der Nachfrageverschiebung von den Energiesektoren (Kohle, Erdöl und Erdgas, Treibstoff und Gasdienstleistungen) hin zu anderen Gütern und Dienstleistungen profitieren Teile des Manufakturbereichs, der Bausektor, landwirtschaftliche Produkte, Services und Dienstleistungen. Dagegen schneiden Teile der Industrie und der Frachttransport negativ ab.

4.3. Nicht berücksichtigte Klimawandeleffekte im Energiesektor

Auswirkungen des Klimawandels, die die Kühlwasserverfügbarkeit betreffen, wurden in diesem Kapitel nicht berücksichtigt. Kühlwasser wird zur Kühlung in der industriellen Produktion und im Stromsektor beispielsweise zur Kühlung von Motoren und Dampfkondensation eingesetzt. Thermische Kraftwerke verwenden Kühlwasser und entnehmen dieses häufig aus natürlichen Gewässern. Zum Beispiel wurden ca. 449.945.000m³ an Kühlwasser für die Wärmekraftwerke im Jahr 2012 für rund 2.814 erzeugte GWh verbraucht (Verbund 2013: S.36, S.38). Es wird im Zuge des Klimawandels in Österreich zu einer Erhöhung der Niederwasserabflüsse in den Alpen im Winter kommen, und gleichzeitig ist eine Reduktion dieser Abflüsse im Sommer (v.a. im Flachland) möglich (BMLFUW, 2012: 32-34). Bei einem Zusammenfall von Niederwasserabflüssen und einem starken Temperaturanstieg können Schwellenwerte überschritten werden, sodass das Wasser nicht mehr aus den Gewässern für Kühlzwecke entnommen werden kann. Bei größeren und alpinen Flüssen (z.B. Salzach, Mur) besteht ein sehr geringes Risiko, wohingegen kleinere Flüsse (z.B. Ager) ein Risiko zur Begrenzung der Kühlwasserentnahme besteht (Kranzl et al., 2010: 52). Diese Risiken wurden bei der Modellierung der Klimawandeleffekte im Stromsektor nicht berücksichtigt.

Zudem wird der CO₂-Preis indirekt durch die Preisentwicklung der fossilen Energieträgerpreise miteinbezogen, jedoch nicht explizit modelliert. Weitere Einflüsse des Klimawandels auf den Stromsektor werden durch die Kanäle des Außenhandels und der österreichischen Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern in die österreichische Wirtschaft diffundieren. Durch Extremereignisse im Rest der Welt wird mit Lieferunterbrechungen sowie signifikanten Anstiegen der fossilen Energiepreise beispielsweise aufgrund von Förderungsunterbrechungen zu rechnen sein. Ebenso können die negativen Folgen des Klimawandels im Rest der Welt zur Destabilisierung des Finanzmarktes führen. Abschließend sei nochmals auf die Unsicherheit hingewiesen, die im Stromsektor über die Entwicklung der Strommärkte besteht, da diese wesentlich den politischen Richtlinien und aufgesetztem Marktdesign unterliegen.

5. Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft

5.1. Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft

Generell führt der Klimawandel zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode. Die Niederschlagshäufigkeit kann in den Sommermonaten abnehmen, gleichzeitig erhöht sich die Variabilität des Niederschlags (BMLFUW, 2012: 32). Aufgrund der Zunahme von Trockenperioden steigt die Hitzebelastung von Pflanzen an (Ibid.). Zudem verändern sich die Artenzusammensetzung und Schadenserreger an Pflanzen. Der Klimawandel wird sich in Österreich auf den Boden auswirken, da sich unter anderem der Bodenwasserhaushalt ändern wird (APCC, 2014: 602-603). Böden, die eine geringe Wasserspeicherfähigkeit haben, werden unter Trockenstress leiden und landwirtschaftliche Ertragseinbußen sind sehr wahrscheinlich (Ibid.). Die Veränderungen und der verstärkte Abbau der organischen Substanz im Boden können u.a. einen Rückgang des Bodenkohlenstoffs bewirken und somit die Bodenfruchtbarkeit senken. Neben dem Hitzestress führen Wassermangel, eine hohe Ozonbelastung und eine höhere UV-B-Strahlung zu einer stärkeren Belastung des Bodens, die Ausmaße sind je nach Begebenheit unterschiedlich (APCC, 2014: 617; Eitzinger, 2007). Im Gegensatz dazu fördert ein höherer Anteil von CO₂ in der Luft die Biomasseproduktion. Allgemein bringt die erhöhte Lufttemperatur und die verlängerte Vegetationszeit in kühlen Gebieten mit reichem Niederschlag einen höheren landwirtschaftlichen Ertrag mit sich (APCC, 2014: 603). Hingegen kann in niederschlagsarmen Gegenden die Ertragsfähigkeit aufgrund von Hitze- und Trockenstress zurückgehen (Ibid.). Neue Anbaugelände entstehen und neue Sorten können angebaut werden.

5.2. Modellierung der Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft hängen unter anderem von der Niederschlagsentwicklung ab. Diese ist jedoch, wie bereits erwähnt, mit größerer Unsicherheit behaftet als Simulationen der Temperaturentwicklung über das Jahrhundert. Bei der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft ist wesentlich, welche Annahmen über die Art der Bewirtschaftung getroffen werden, denn anthropogene (vom Menschen verursachte) Einflüsse vermindern die Resilienz des Bodens (APCC, 2014: 604).

Inputannahmen für die Modellierung

Bei konventioneller Bodenbestellung und hoher Düngerintensität führen die Auswirkungen des Klimawandels je nach benutztem Klimamodell zu einem Anstieg der Ertragsrate um 0,5 bis 6,25 Prozent im Zeitraum 2021-2050 im Vergleich zur Periode 1961-1990 (Mitter et al., 2013: 46-47). Bei konventioneller Bodenbestellung und moderater Düngerintensität führen die Klimawandeleffekte zu einem Rückgang der Ertragsrate um -1,13 bis -9 Prozent, bei geringer Düngerintensität zu einem Rückgang der Ertragsrate um -17,50 bis -26 Prozent und bei einer reduzierten Bodenbestellung und hoher Düngerintensität zu einer Veränderung des Ertrags um -3,50 bis 4 Prozent (Mitter et al., 2013: 46-47). Es zeigt sich, dass die Annahmen zur Bewirtschaftung wesentlich für die Effekte des Klimawandels in der Landwirtschaft sind, da sie sogar einen Vorzeichenwechsel hervorrufen können. Die Spannweite innerhalb der angenommenen Bewirtschaftung begründet sich in den verschiedenen Klimamodellen (EHTZ_CLM, CNRM_RM4.5, SMHI_RCA, ICTP_RegCM), die zur Berechnung der Klimawandeleffekte auf die Landwirtschaft herangezogen wurden. Die Klimamodelle unterscheiden sich hinsichtlich des durchschnittlichen Temperaturanstiegs, der Feuchtigkeit und Trockenheit. Bei diesen Berechnungen wurden zukünftige Veränderungen der gemeinsamen Agrarpolitik auf EU-Ebene berücksichtigt wie beispielsweise die Abschaffung von Milchquoten (Bednar-Friedl, 2013).

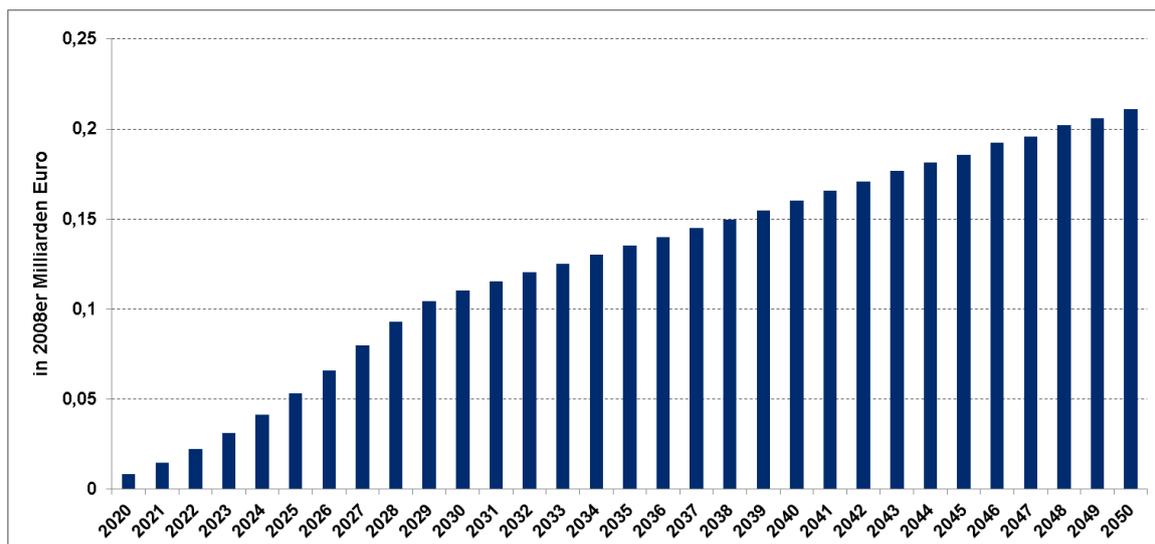
Basierend auf der Vorgängerstudie (Grussmann et al., 2014) und den Modellberechnungen zur Entwicklung der landwirtschaftlichen Erträge im 21. Jahrhundert (Bednar-Friedl, 2013; Bednar-Friedl,

2012; Mitter et al., 2013) wird die Veränderung der landwirtschaftlichen Produktion aus dem ETHZ_CLM-Modell herangezogen, da das zugrunde liegende Klimamodell die mögliche Entwicklung von Temperatur und Niederschlag im A1B – Szenario berücksichtigt. Dementsprechend wird eine Steigerungsrate der landwirtschaftlichen Produktion bei konventioneller Bodenbestellung und intensiver Düngung von 5 Prozent bis zur Mitte des Jahrhunderts angenommen.

Ergebnisse der Modellierung

Die Steigerung der Ertragsrate bezieht sich auf die heimische landwirtschaftliche Produktion und wird dementsprechend in das Modell als eine Produktivitätssteigerung implementiert, mit einem Anteil der heimischen landwirtschaftlichen Vorleistung an der gesamten landwirtschaftlichen Vorleistung zur Produktion des AGR-Gutes von 0,86 Prozent (Statistik Austria, 2012). Zur Produktion des landwirtschaftlichen Gutes werden pro Outputeinheit weniger landwirtschaftliche Vorleistungen benötigt. Abbildung 9 zeigt die Veränderungen des Bruttoinlandsprodukts in Österreich aufgrund der Klimawandelauswirkungen in der Landwirtschaft. Zunächst steigt das BIP in den 2020er Jahren auf ca. 53,14 Mio. Euro 2025 an und beläuft sich zur Mitte des Jahrhunderts auf 211,07 Mio. Euro. Die Produktivitätssteigerung in der heimischen Landwirtschaft führt dazu, dass das landwirtschaftliche Gut allgemein preiswerter wird, wodurch dieses verstärkt nachgefragt wird und somit die Produktion weiter stimuliert wird. Die positiven Wachstumseffekte führen zu erhöhten Staatseinnahmen im Ausmaß von 80,11 Mio. Euro im Jahr 2050.

Abbildung 9: Veränderungen des Bruttoinlandsprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft



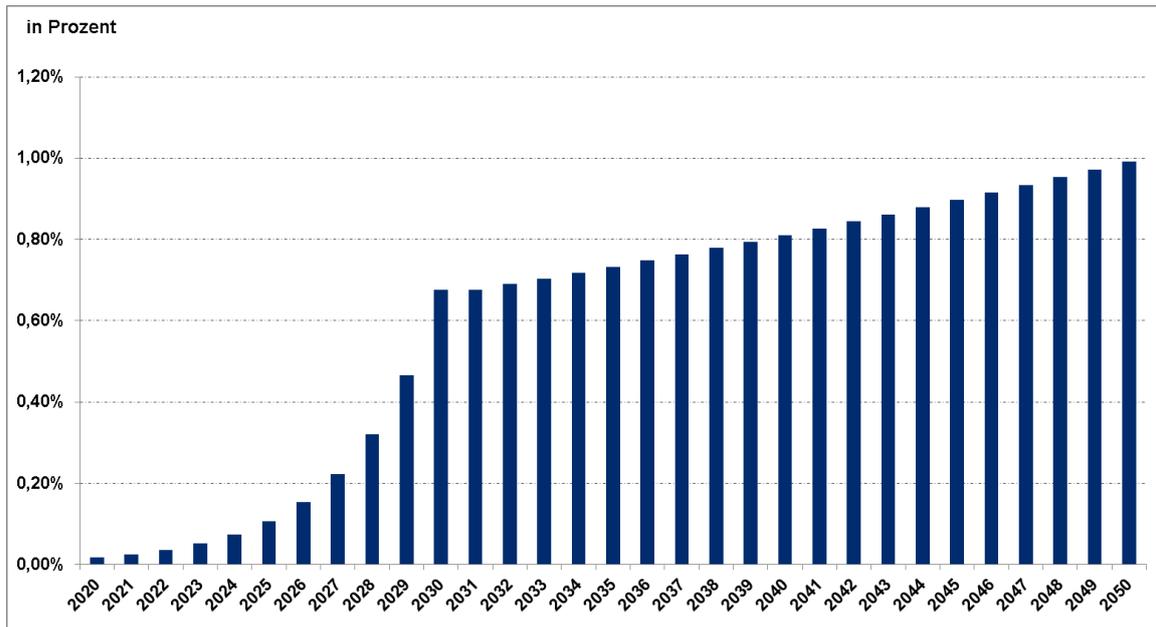
Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Abbildung 10 wird die prozentuelle Veränderung des Aufkommens des landwirtschaftlichen Gutes (AGR, Beschreibung siehe Annex) aufgrund von Klimawandeleffekten dargestellt. Die Gesamtdynamik der Veränderung des Bruttoinlandsprodukts ist signifikant von der Veränderung der Produktivität im Landwirtschaftssektor in diesem Szenario geprägt. Die Zuwachsrate des landwirtschaftlichen Aufkommens sinkt gegen Mitte des Jahrhunderts.

Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

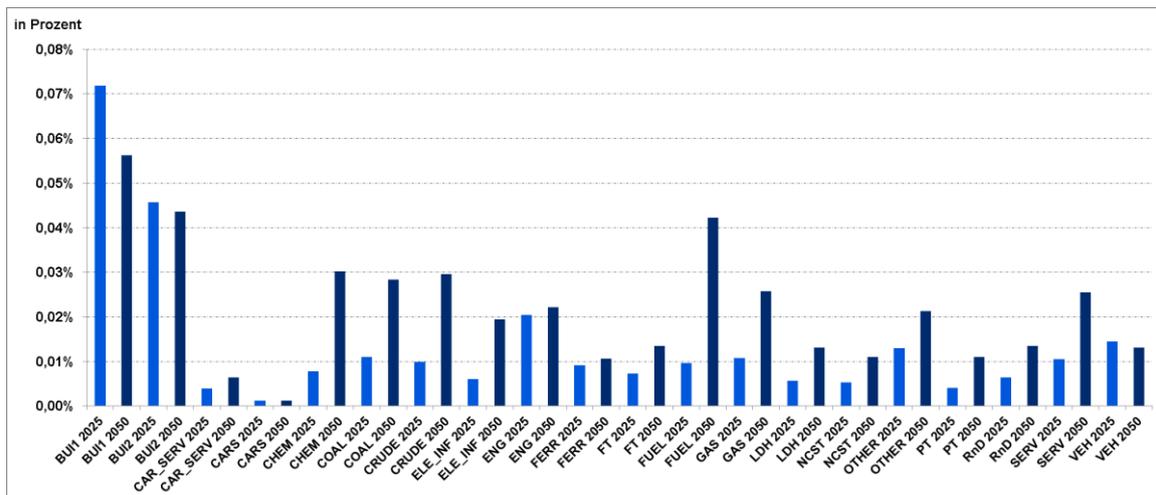
Abbildung 11 zeigt die prozentuelle Abweichung des sektoralen Aufkommens (ausgenommen AGR) relativ zum BAU-Szenario durch Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft. Der Gebäudesektor (BUI1, BUI2) profitiert am meisten, wobei das Einkommen um 0,046 bis 0,072 Prozent 2025 und um 0,044 bis 0,056 Prozent 2050 steigt im Vergleich zum Einkommen im BAU-Szenario.

Abbildung 10: Prozentuelle Veränderungen des landwirtschaftlichen Aufkommens durch die Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft



Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Abbildung 11: Prozentuelle Veränderungen des sektoralen Aufkommens durch die Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft



Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Zudem können die chemische Industrie (CHEM), die Elektro- und Elektronikindustrie, Maschinenbau und Metallwaren (ENG) und die Mineralölindustrie ihren Output erhöhen.

5.3. Nicht berücksichtigte Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft

Extremwetterereignisse können durch den Klimawandel zunehmen, wurden aber nicht in die Analyse der vorliegenden Studie miteinbezogen, trotzdem haben sie einen Effekt auf die landwirtschaftliche Nutzung. Für die Landwirtschaft können sich vor allem Starkregen und starke Winde negativ auf den Ertrag der Ackerböden auswirken (APCC, 2014: 618). Häufigere Starkniederschlagsereignisse können zu erhöhtem Oberflächenabfluss und somit zu Bodenverlusten und -verdichtung führen, die die Bodenerosion verstärken (APCC, 2014: 603).

6. Auswirkungen des Klimawandels auf den Wintertourismus

Da die Art und Weise, wie Touristen ihren Urlaub erleben, eng mit dem Wetter und klimatischen Bedingungen verbunden ist, wird sich der Klimawandel ebenfalls auf den Tourismus in Österreich auswirken. Die klimatischen Veränderungen werden vor dem Hintergrund, dass die Jahresmitteltemperatur bis zur Mitte des Jahrhunderts ansteigen, sowie der Niederschlag während des Sommers abnehmen und während des Winters zunehmen wird, eine Rolle spielen (BMLFUW, 2012: 33). Aufgrund der erhöhten Temperatur im Sommer steigt die Wassertemperatur, sodass die Seenregionen von einer länger andauernden Badezeit profitieren werden (Ibid.). Da die Temperatur im Sommer im Mittelmeerraum stärker als in Österreich ansteigen wird, kann es zu einer Verschiebung des Tourismus von Mittelmeerdestinationen hin zum Tourismus im Alpenraum kommen. Neben diesen positiven Effekten des Klimawandels auf den österreichischen Tourismus können auch negative Effekte auftreten. So könnten zunehmend auftretende Hitzewellen den Städtetourismus im Sommer beeinflussen und sich die hohe Temperatur, welche die Wasserqualität in einigen Seen verschlechtern kann, negativ auf den Seentourismus auswirken (BMLFUW, 2012: 33). Dabei werden die Abnahme des Schneeanteils der Schigebiete in den tiefen und mittleren Lagen, ein Rückgang der Schneesicherheit, die Abnahme von der Eis- und Frosttage entscheidend den Wintertourismus dieses Jahrhunderts prägen (Ibid.). Weitere klimatische Veränderungen werden durch eine Zunahme der Tage ohne durchgehende Schneedecke im Gebirge und den Rückgang der Gletscher ersichtlich, wobei die Abflüsse aus den Gletschern wahrscheinlich in den Jahren 2040 bis 2050 ihr Maximum erreicht haben wird (Ibid.). Es wird angenommen, dass durch die geringere Schneesicherheit der Schigebiete der mittleren Lagen sowie die Auflösung von Schigebieten in niedriger Lage der Druck auf die Gletscherschigebiete zunehmen wird (Ibid.). Ferner kann das Auftauen der Permafrostböden zu Instabilitäten von Infrastruktureinrichtungen führen (Ibid.).

In Bednar-Friedl et al. (2013) wurden vier verschiedene Tourismustypen mit jeweils zugeordneten Regionen festgelegt, um die regionalen Unterschiede bei der Analyse der Klimawandeleffekte zu berücksichtigen. Die vier Typen umfassen den urbanen bzw. Spa-Tourismus (URB), der vor allem in den Regionen der Landeshauptstädte konzentriert ist, den Tourismustyp mit gemischtem Portfolio (TEX), durch den die meisten Regionen geprägt sind, der allerdings keine hohe Anzahl an Übernachtungen aufweist (Bednar-Friedl, 2013: 11). Weitere Typen, die den NUTS-3-Regionen zugeordnet werden können, umfassen den Sommer – und Wintertourismus (Bednar-Friedl, 2013: 11). Beim Sommertourismus ergibt sich ein gemischtes Bild, das geprägt ist durch einen profitierenden Seen- und Bergwandertourismus, allerdings besteht Ungewissheit darüber, wie die Touristen die veränderten Landschaftsbilder durch u.a. einen Rückgang der Artenvielfalt, die Versteppung von Wiesen wahrnehmen und beurteilen werden. Es besteht somit kein klarer Zusammenhang, wie sich die Klimawandeleffekte auf den Sommertourismus insgesamt auswirken werden (Bednar-Friedl, 2013:12, 28). Vor diesem Hintergrund werden in dieser Studie ausschließlich die Klimawandeleffekte auf den Wintertourismus untersucht.

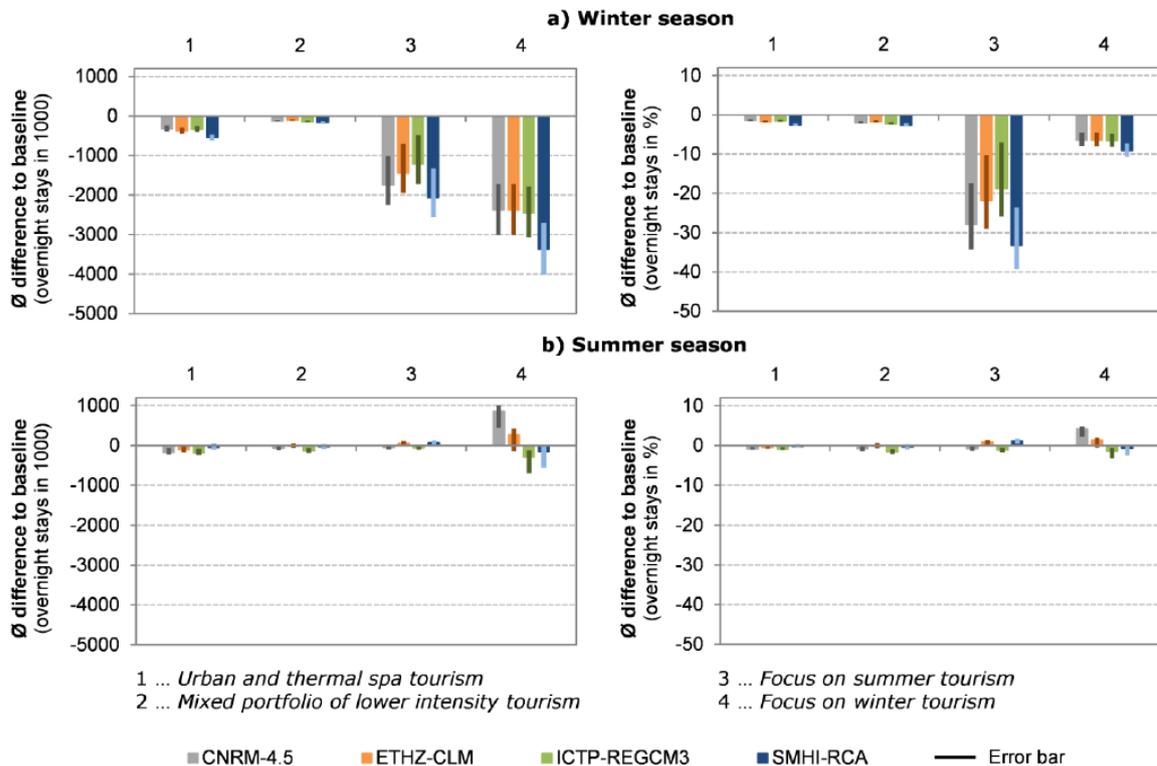
Inputannahmen für die Modellierung

Zur Approximation der veränderten Tourismusnachfrage in Österreich aufgrund der Klimawandeleffekte wurden Übernachtungen als Indikator verwendet (Bednar-Friedl et al., 2013). Basierend auf der historischen Sensitivität der Tourismusnachfrage gegenüber dem Wetter und unter Berücksichtigung von Tourismustrends im BAU-Szenario wird die Veränderung der Nachfrage nach Übernachtungen regionsspezifisch und basierend auf dem Klimaszenario A1B simuliert.

In Abbildung 12 werden die Veränderungen der Nächtigungen in der Winter- und Sommersaison aufgrund des Klimawandels in den verschiedenen regionalen Klimamodellen dargestellt. Die Wintersaison bezieht sich dabei auf die Monate November bis April und die Sommersaison auf Mai bis

Oktober. Die Farben in der Abbildung stellen die verschiedenen Klimaszenarien dar, die unterschiedliche Temperatur- und Niederschlagsentwicklung in Österreich simulieren. Die durchschnittliche Veränderung der Übernachtungen aufgrund des Klimawandels im Vergleich zum Referenzszenario ohne Klimawandel wird auf der linken Seite dargestellt. Die prozentuale Abweichung der Übernachtungen in den jeweiligen Klimaszenarien wird auf der rechten Seite der Abbildung dargestellt. Die horizontale Achse beschreibt dabei die verschiedenen Tourismustypen.

Abbildung 12: Veränderungen der Nächtigungen in der Winter- und Sommersaison aufgrund des Klimawandels simuliert in verschiedenen regionalen Klimamodellen



Quelle: Bednar-Friedl et al. (2013:28)

Anmerkung: 1-4 stehen für die verschiedenen Tourismustypen, die in den österreichischen Regionen vorherrschen. 1 steht für urbanen und Spa-Tourismus, 2 steht für eine Mischung an verschiedenen Tourismustypen mit niedriger Tourismus-Intensität, 3 steht für Sommertourismus und 4 für Wintertourismus.

In Abbildung 12 wird deutlich, dass die Regionen, in denen Sommertourismus (3) und Wintertourismus (4) vorherrschen, in der Wintersaison signifikant höhere Einbußen an Übernachtungen erfahren werden im Gegensatz zu Regionen, die auf urbanen und SPA-Tourismus (1) sowie auf einen gemischten Tourismustypen (2) zurückgreifen. Dabei zeigt sich, dass in absoluten Zahlen Regionen mit Fokussierung auf den Wintertourismus am stärksten betroffen sind. Die Nächtigungen in diesen Regionen sinken um 2.230.000 bis 3.250.000 im Jahr bezogen auf einen 40-Jahresdurchschnitt (2011-2050). Bei der Betrachtung der relativen Verhältnisse (rechte Seite in der Abbildung zur Wintersaison) zeigt sich, dass auf den Sommertourismus spezialisierte Regionen den stärksten Rückgang an Nächtigungen aufweisen, da diese Regionen viele Schigebiete in niedrigen und mittleren Lagen umfassen. Diese Gebiete werden besonders durch den Klimawandel betroffen sein. Die Effekte im Sommertourismus sind je Klimaszenario und betroffenen Tourismustypen unterschiedlich, wobei die Richtung des Effekts (positiv/negativ) nicht eindeutig ist.

Für die Modellierung der Veränderung der Tourismusnachfrage in der Wintersaison durch den Klimawandel wird der Rückgang der Nächtigungszahlen aufgrund des Klimawandels direkt in einen Nachfragerückgang des Wintertourismus übersetzt. Es wird ein ansteigender Rückgang der Nachfrage

angenommen, der sich im Jahr 2050 auf 7,9 Prozent beläuft basierend auf den Durchschnitt der Modellergebnisse des Klimaszenarios SMHI-RCA für die Wintersaison. Tabelle 4 zeigt an, wie sich die Nachfrage nach Wintertourismus auf die einzelnen Sektoren aufteilt. Beherbergungs- und Gastronomiedienstleistungen haben mit ca. 61 Prozent den größten Anteil.

Tabelle 4: Anteile der Sektoren am Wintertourismus

Anteile der Sektoren am Wintertourismus	
Beherbergung & Gastronomie DL	60,96%
Transport - DL	16,04%
Kultur-, Sport- u. Unterhaltungs-DL	10,03%
Einzelhandel, Reparatur v. Gebrauchsgütern	6,55%
Herstellung von Sportgeräten	2,67%
Maschinenbau	1,67%
Gesundheitswesen	0,87%
Handelsvermittlungen, Großhandel	0,80%
Verlagswesen, Druckerei	0,40%

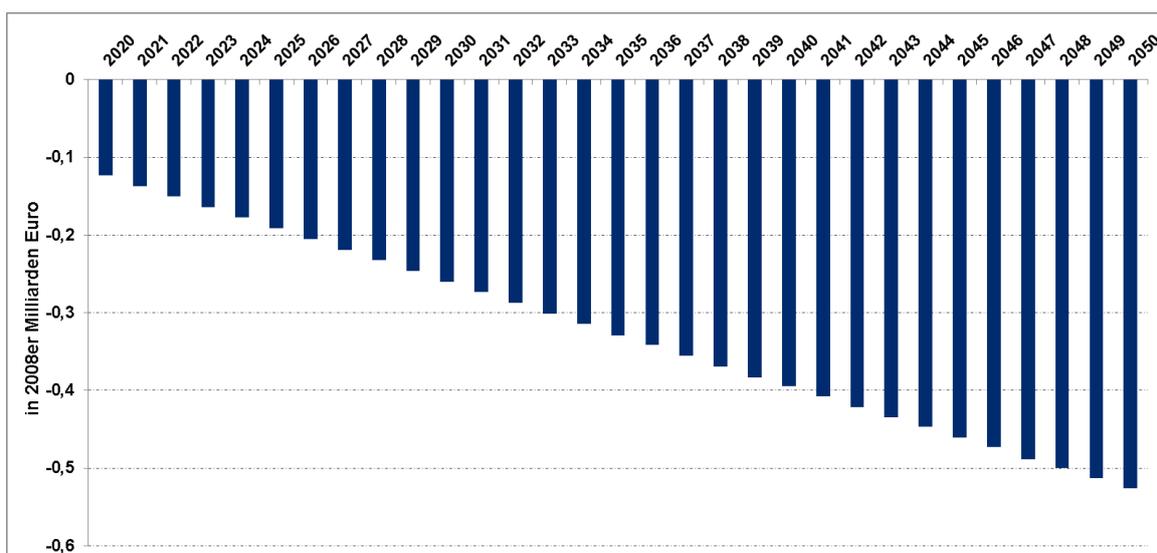
Quelle: Arbesser et al. (2010), Statistik Austria (2012), Laimer et al. (2013)

Die Veränderung der Nachfrage nach Wintertourismus wird bei der Nachfrage der Haushalte nach diesen Gütern berücksichtigt, wobei angenommen wurde, dass die Haushalte ca. 12.057 Mio. Euro 2008 für Tourismusausgaben im Winter getätigt haben und durch die Nachfrage des Wintertourismus ca. 7,48 Milliarden Euro Wertschöpfung generiert wurden (Arbesser et al., 2010; Statistik Austria, 2012; Laimer et al., 2013).

Ergebnisse der Modellierung

Abbildung 13 zeigt den Rückgang des österreichischen Bruttoinlandprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wintertourismus bis zur Mitte des Jahrhunderts. Der Nachfrageschock im Bereich des Wintertourismus führt zu negativen BIP-Effekten, da die Nachfrage nach Produkten des Wintertourismus reduziert und somit die Produktion zurückgefahren wird und Kapital- als auch Lohneinkommen stark zurückgehen.

Abbildung 13: Veränderungen des Bruttoinlandprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels im Wintertourismus

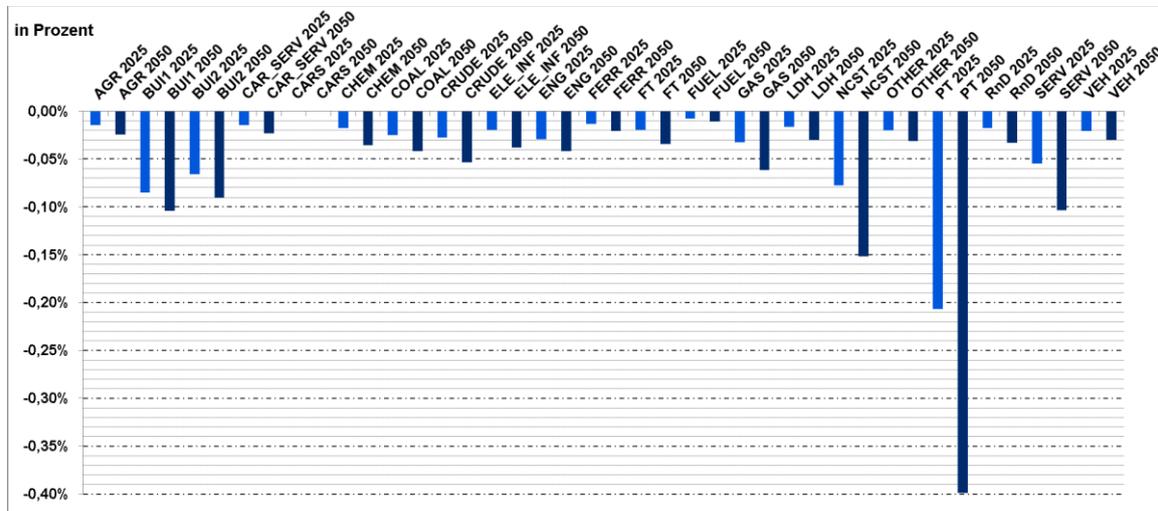


Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Mit sinkender Schneesicherheit vor allem in Schigebieten in niedriger und mittlerer Lage nimmt der Wintertourismus ab und induziert einen Rückgang des BIPs im Jahr 2050 von 525,97 Mio. Euro. Zudem sinken die Staatseinnahmen im Jahr 2020 um 40,51 Mio. Euro und 2050 194,31 Mio. Euro

2050, da die Einnahmen aus Mehrwert-, Kapital-, Lohn- und Energiesteuern der Haushalte und Firmen zurückgehen.

Abbildung 14: Prozentuelle Veränderungen des sektoralen Aufkommens durch die Auswirkungen des Klimawandels im Wintertourismus für 2025 und 2050 im Vergleich zum BAU-Szenario



Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Abbildung 14 gibt das Aufkommen (Produktionswert und Importe) pro Sektor aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels im Wintertourismus in Österreich wieder. Die Effekte verstärken sich bis zur Mitte des Jahrhunderts, wobei die Verteilung der Belastung auf die einzelnen Sektoren annähernd gleich bleibt. Aufgrund der Vorleistungsverflechtungen sind nicht nur direkt am Wintertourismus beteiligte Dienstleistungen, sondern ebenfalls weitere Sektoren von dem Nachfrageschock betroffen. Bei der Abbildung sollte beachtet werden, dass es sich um eine relative Veränderung handelt, somit um die Veränderung des Aufkommens eines Sektors im Verhältnis zum Aufkommen des Sektors im BAU-Szenario. Innerhalb der sektoralen Einbuße ist der öffentliche Transportsektor (PT) am stärksten betroffen, da nun weniger Eisenbahn- und Nahverkehrsdienstleistungen in Anspruch genommen werden. Weitere Sektoren, die durch den Nachfrageschock im Wintertourismus betroffen sind, umfassen den Bau-Sektor (BUI1, BUI2), den Personenschiff- und -luftverkehr (NCST), den Servicesektor (SERV) inklusive den Beherbergungs- und Gastronomiedienstleistungen als auch den Manufaktursektor (ENG). In absoluten Zahlen verzeichnet der Servicesektor eindeutig die höchsten Verluste mit einem Rückgang des sektoralen Aufkommens von 478,29 Mio. Euro im Jahr 2050, was einem Anteil von 63,79 Prozent am gesamten Rückgang des sektoralen Aufkommens entspricht.

Zum Vergleich der Ergebnisse, in einer anderen Studie schwanken die Modellierungsergebnisse zu den volkswirtschaftlichen Kosten im österreichischen Tourismussektor zwischen 380 und 600 Mio. Euro im Jahr 2040, wobei die Auswirkungen des Klimawandels auf den Sommertourismus inkludiert wurden (Bednar-Friedl et al., 2013).

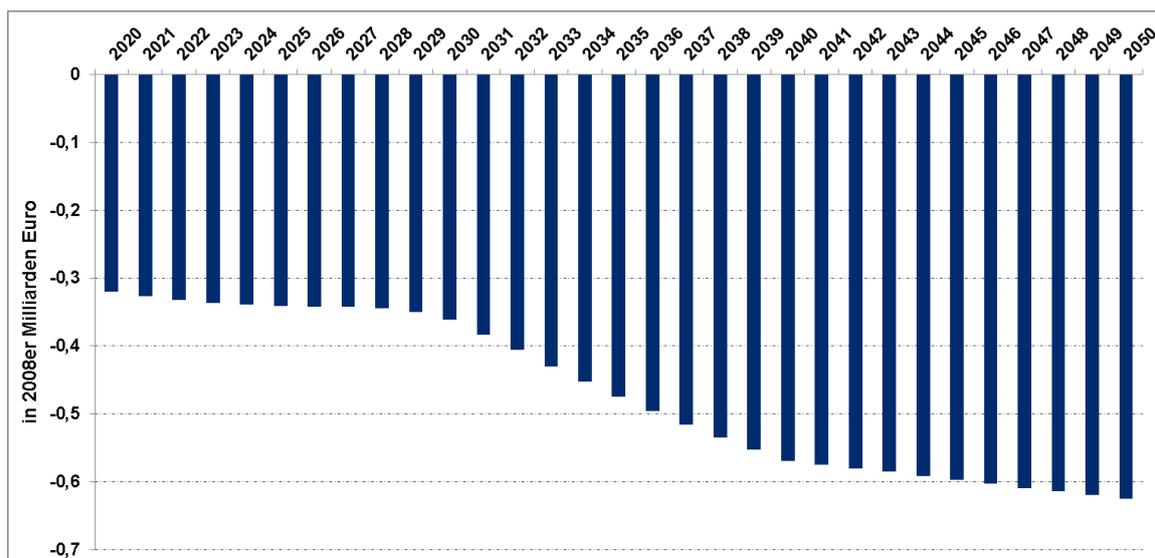
7. Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor, die Landwirtschaft und den Wintertourismus

Das kombinierte Szenario stellt die Auswirkungen des Klimawandels in den einzelnen Sektoren der österreichischen Wirtschaft nun gemeinsam dar. Dabei sei zu berücksichtigen, dass es sich keinesfalls um eine vollständige Erfassung der Effekte des Klimawandels handelt, ebenso wenig um eine untere Grenze der Effekte des Klimawandels, da wichtige Klimawandeleffekte, die die höchsten ökonomischen Schäden verursachen (Klimawandeleffekte im Ausland und durch Extremereignisse) in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden.

7.1. Ergebnisse der Modellierung des kombinierten Klimaszenarios

Abbildung 15 zeigt die Veränderung des österreichischen BIPs aufgrund von Klimawandeleffekten im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus und kombiniert die einzelnen, in dieser Studie präsentierten Klimaszenarien. Der Rückgang des BIPs im Vergleich zum BAU-Szenario umfasst 2025 311,11 Mio. Euro und steigt bis 2050 auf rund 624,62 Mio. Euro an.

Abbildung 15: Veränderung des Bruttoinlandprodukts durch die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus im Vergleich zum BAU-Szenario

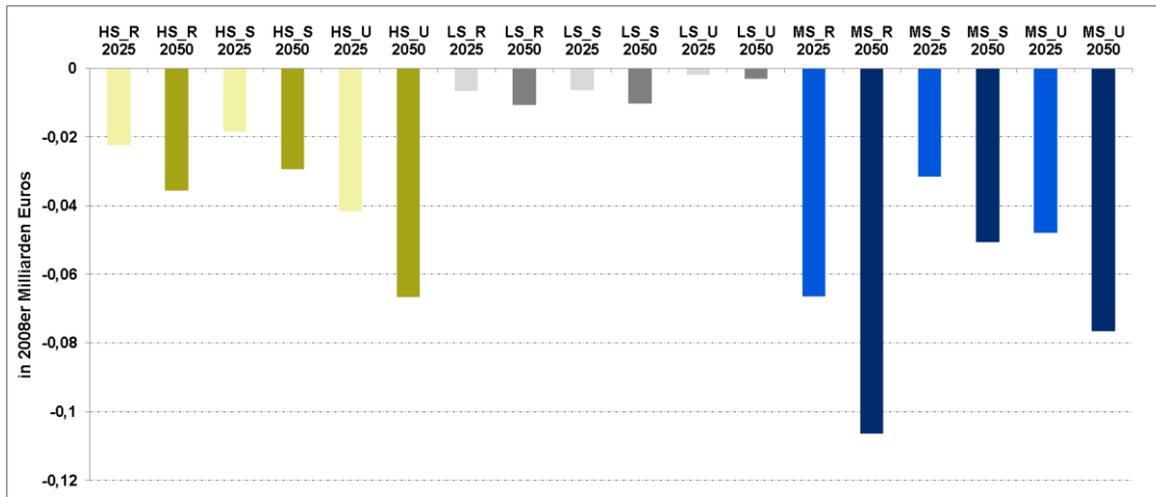


Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Das Plateau in den 2020er Jahren ist auf die Veränderungen im Stromsektor zurückzuführen, da die Erzeugung aus Wasserkraft schwankt und dementsprechend andere Stromerzeugungstechnologien in den Markt kommen. Die Klimawandeleffekte nehmen bis zur Mitte des Jahrhunderts stark zu und steigen auf das 5,6 – fache 2050 im Vergleich zu 2008 an.

Abbildung 16 stellt die Veränderung des Kapitaleinkommens nach verschiedenen Haushaltstypen für die Jahre 2025 und 2050 im Vergleich zum BAU-Szenario dar. Haushalte mit niedrigem Ausbildungsniveau haben einen Anteil von 6 Prozent am Kapitaleinkommen, wobei Haushalte mit mittlerem Ausbildungsniveau rund 60 Prozent und Haushalte mit hohem Ausbildungsniveau 34 Prozent am Kapitaleinkommen aufweisen. Infolgedessen sind die Haushalte mit mittlerem und hohem Ausbildungsniveau in absoluten Zahlen stärker vom sinkenden Kapitaleinkommen betroffen. Insgesamt sinkt das Kapitaleinkommen der Haushalte um 0,48 Prozent im Vergleich zum Kapitaleinkommen des BAU-Szenarios.

Abbildung 16: Veränderung des Kapitaleinkommens der Haushaltstypen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus im Vergleich zum BAU-Szenario

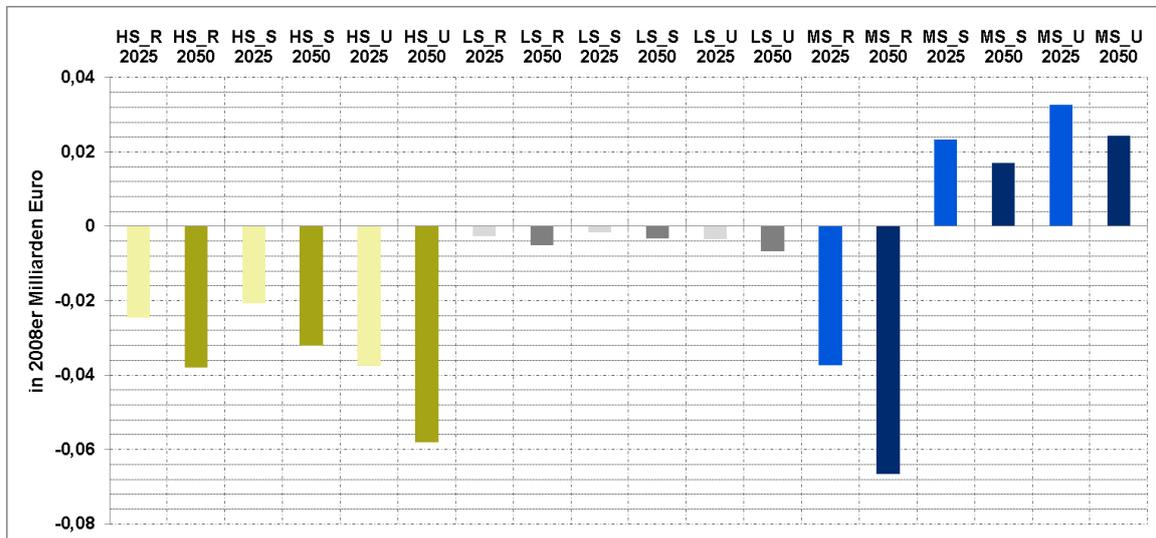


Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Anmerkung: HS...Haushalte mit hohem Ausbildungsniveau, MS...Haushalte mit mittlerem Ausbildungsniveau, LS...Haushalte mit niedrigem Ausbildungsniveau, _R...Haushalte im ländlichen Raum, _S...Haushalte im suburbanen Raum, _U...Haushalte im urbanen Raum

Generell haben die Haushalte unterschiedliche Konsum- und Einkommensmuster und sind dementsprechend unterschiedlich beeinflusst durch Veränderungen des Klimawandels in den Sektoren.

Abbildung 17: Veränderung des Arbeitseinkommens der Haushaltstypen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus im Vergleich zum BAU-Szenario



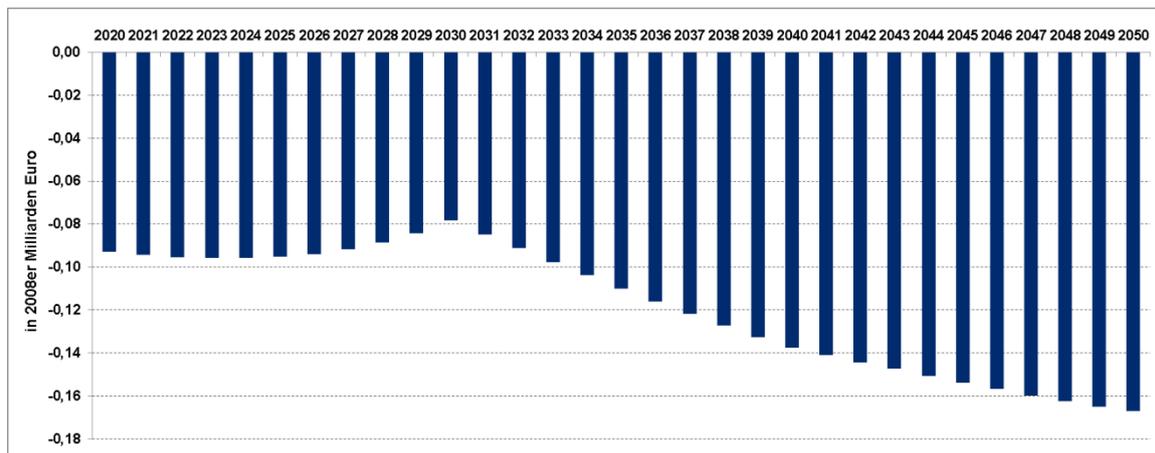
Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Anmerkung: HS...Haushalte mit hohem Ausbildungsniveau, MS...Haushalte mit mittlerem Ausbildungsniveau, LS...Haushalte mit niedrigem Ausbildungsniveau, _R...Haushalte im ländlichen Raum, _S...Haushalte im suburbanen Raum, _U...Haushalte im urbanen Raum

Abbildung 17 veranschaulicht die Belastung der Arbeitseinkommen durch den Klimawandel. Haushalte mit mittlerem Ausbildungsniveau im ländlichen Raum wohnhaft und Haushalte mit hohem Ausbildungsniveau erfahren in absoluten Zahlen die höchsten Einbrüche. Haushalte mit mittlerem Ausbildungsniveau und im urbanen und suburbanen Raum wohnhaft profitieren, da sich ihr Arbeitseinkommen erhöht, wobei sich die Belastung der Haushalte nach der Verteilung der Arbeit pro

Sektor und Haushaltstyp richtet. Haushalte mit niedrigem Ausbildungsgrad verlieren durch den Klimawandel ebenfalls an Arbeitseinkommen. In relativen Veränderungen verlieren die Haushalte mit hohem Ausbildungsniveau zwischen 0,19-0,23 Prozent an Arbeitseinkommen im Vergleich zum BAU-Szenario, wobei Haushalte mit niedrigem Ausbildungsniveau einen 0,04 bis 0,13 prozentigen Rückgang und die Haushalte mit mittlerem Ausbildungsniveau einen -0,13 bis +0,09 prozentigen Rückgang des Arbeitseinkommens hinnehmen müssen.

Abbildung 18: Veränderung der Staatseinnahmen durch die Auswirkungen des Klimawandels im Energiesektor, in der Landwirtschaft und im Wintertourismus im Vergleich zum BAU-Szenario



Quelle: Ergebnisse der CGE-Modellierung

Der Rückgang der Steuereinnahmen aus Kapital- und Arbeitseinkommen ist durch den Rückgang derselben erklärbar, zudem sinken Einnahmen aus den Energiesteuern der Haushalte und Firmen. Da die Endnachfrage über das Jahrhundert stark zurückgeht, sinken auch die Mehrwertsteuereinnahmen. Insgesamt sinken die Staatseinnahmen im Klimaszenario um 167,18 Mio. Euro im Jahr 2050 im Vergleich zum BAU-Szenario über das Jahrhundert (siehe Abbildung 18).

7.2. Sensitivitätsanalysen

Für das kombinierte Szenario wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, bei denen die wichtigsten Kreuzpreiselastizitäten variiert wurden, um die Sensibilität der Modellergebnisse gegenüber den Annahmen der Elastizitäten zu eruieren. In Abbildung 19 werden die Modellergebnisse für das kombinierte Klimaszenario im Vergleich zum BAU-Szenario dargestellt. Das Szenario 1 stellt dabei die Ergebnisse für die Annahmen der Elastizitäten, die für die Berechnungen der Auswirkungen des Klimawandels in dieser Studie verwendet wurden, sodass dieses Sensitivitätsszenario in weiterer Folge das Originalszenario genannt wird. In den Sensitivitätsszenarien (11-70) wurden verschiedene Elastizitäten um 75 Prozent, 50 Prozent und 20 Prozent variiert und dann die Auswirkungen des Klimawandels auf das Bruttoinlandsprodukt für das kombinierte Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario berechnet. Die Ergebnisse der Sensitivitätsszenarien weichen maximal um 0,27 bis 0,55 Prozent vom Originalwert über die betrachtete Zeitperiode ab, wobei die Differenz am Anfang der Periode am größten ist und gegen 2050 abnimmt. Das Sensitivitätsszenario 60, das eine 50prozentige Veränderung der Elastizität der Haushalte zwischen Konsum und Freizeit darstellt, stellt die größte Abweichung im Vergleich zu den Ergebnissen des Klimaszenarios mit Originalwerten dar. Die Elastizität zwischen Konsum und Freizeit beeinflusst die wichtigste Entscheidung der Haushalte in ihrem Entscheidungsverhalten, da diese Entscheidung auf der höchsten Ebene des Entscheidungsbaums stattfindet und damit richtungsweisend für alle weiteren Entscheidungen für Konsumgüter ist (siehe Kapitel 3). Die 50prozentige Veränderung der Elastizität zwischen Konsum und Freizeit führt zu einer Veränderung der Modellergebnisse bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt

zwischen 0,27 und 0,55 Prozent und bleibt demnach in einem sinnvollen Schwankungsrahmen. Die Modellergebnisse sind selbst im Sensitivitätsszenario mit der höchsten Abweichung robust.

Abbildung 19: Veränderung des Bruttoinlandprodukts aufgrund von Variationen der Elastizitäten im Klimawandelszenario im Vergleich zum BAU-Szenario

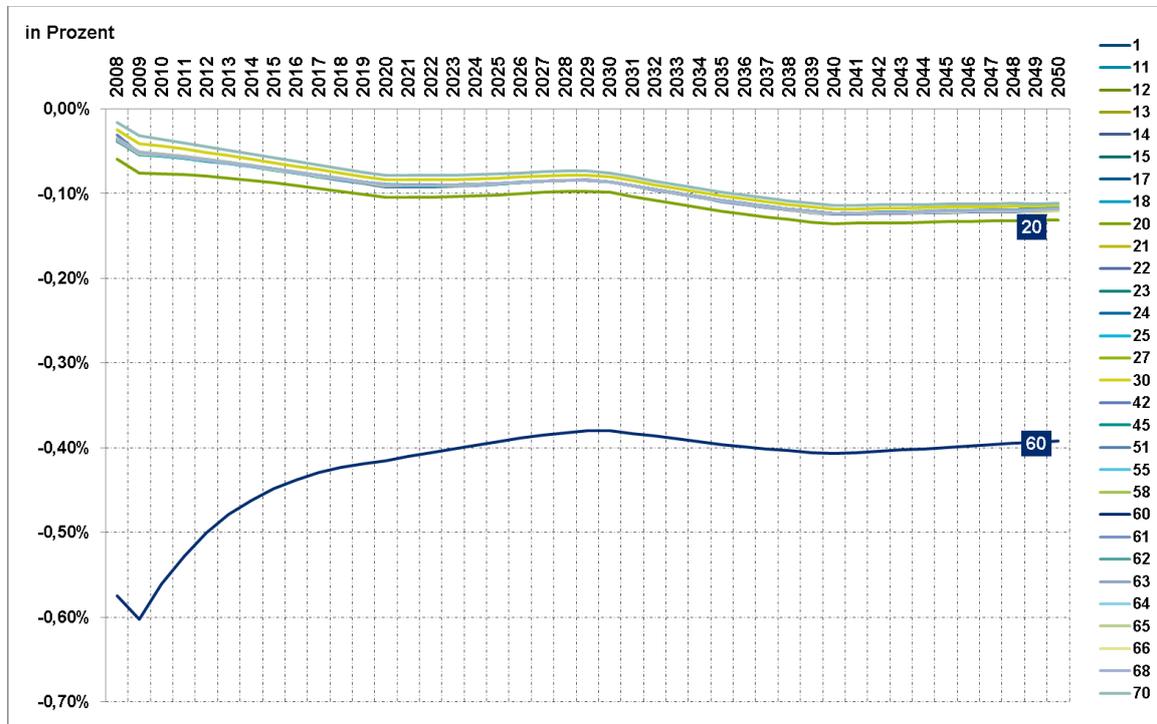


Tabelle 5 gibt die Zuordnung der Szenarien zu den Elastizitäten und den dazugehörigen Veränderungen an.

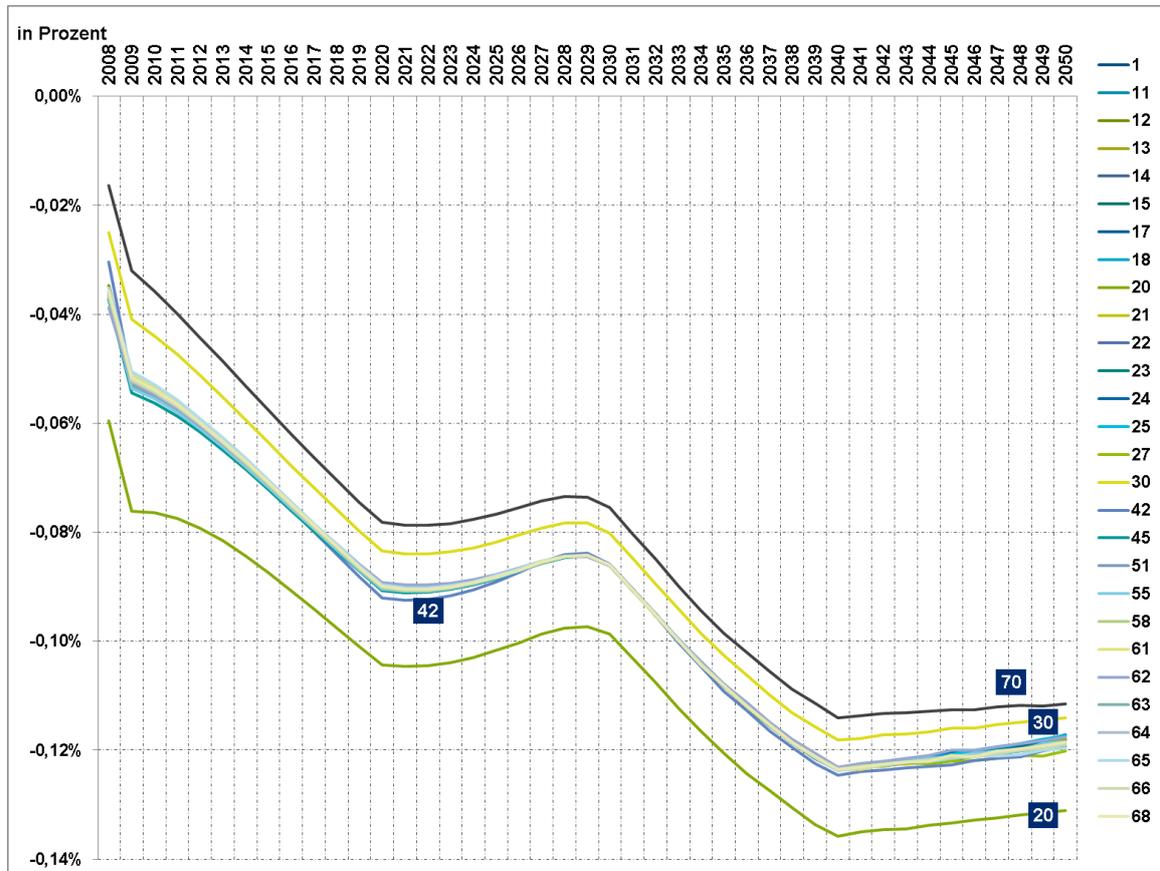
Tabelle 5: Zuordnung der Elastizitäten und der entsprechenden Variation zu den Sensitivitätsszenarien

Elastizität zwischen		Variation der Elastizität					
		Originalwert	-75%	-50%	-20%	20%	50%
Sektoren	Arbeit-Kapital-Nest und Vorleistungsnest	1		51	11	21	61
Sektoren	Arbeit und Kapital	1	42		12	22	62
Sektoren	Energie- und anderen Vorleistungsgütern	1			13	23	63
Sektoren	Elektrizität und anderen Energiegütern	1			14	24	64
Sektoren	Vorleistungsgütern (ohne Energiegüter)	1	45	55	15	25	65
Haushalte	Energie- und anderen Konsumgütern	1					66
Haushalte	Elektrizität und anderen Energiegütern	1			17	27	
Haushalte	Konsumgüter (ohne Energiegüter)	1		58	18		68
Haushalte	Konsum und Freizeit	1		60	20	30	70

Anmerkung: Leer stehende Zellen zeigen an, dass für die entsprechende Simulation kein Ergebnis und somit kein neuer Gleichgewichtszustand gefunden werden konnte.

In Abbildung 20 werden die verschiedenen Sensitivitätsszenarien (mit Ausnahme des Szenarios 60) dargestellt. Anhand dieser Abbildung zeigt sich, dass die Abweichungen der Modellergebnisse jeweils bei der Veränderung der Konsum-Freizeit-Elastizität (Szenarien 20, 30, 70) jeweils am höchsten liegen im Vergleich zum Originalszenario (Szenario 1) und um 0,1 bis 0,2 Prozent schwankt.

Abbildung 20: Veränderung des Bruttoinlandprodukts aufgrund von Variationen der Elastizitäten im Klimawandelszenario im Vergleich zum BAU-Szenario



Anmerkung: In dieser Abbildung wurde das Sensitivitätsszenario 60, das die größten Abweichungen verursacht, nicht berücksichtigt.

8. Schlussfolgerung

Die zusammenfassende Darstellung des Klimawandels in Österreich im neu erschienenen Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (APCC, 2014) stellt fest, dass die Auswirkungen des Klimawandels zu wesentlichen Veränderungen des Ökosystems führen und somit auch die Menschen in Österreich beeinflussen werden. Die Temperatur ist seit 1880, vor allem aber seit 1980 in Österreich stärker als im globalen Mittel angestiegen und wird bis zur Mitte des Jahrhunderts um ca. 1,4°C gegenüber dem derzeitigen Niveau zunehmen (APCC, 2014:29). Häufiger auftretende Hitzeperioden sowie eine Veränderung des Landschaftsbildes mit einem signifikanten Rückgang der Gletscher zählen zu wichtigen Klimawandeleffekten. In Westösterreich werden die Niederschläge zu- und in Südösterreich abnehmen, woran sich verdeutlichen lässt, dass der Klimawandel zu unterschiedlichen Auswirkungen in den Regionen Österreichs führen wird. Für extreme Niederschläge und Sturmereignisse können keine eindeutigen Trends festgestellt werden, wobei extreme Niederschläge in einigen Klimamodellen in der Periode Herbst bis Frühling zunehmen. Extremereignisse und Klimawandeleffekte, die über das Ausland nach Österreich diffundieren, wurden in dieser Studie nicht untersucht, werden aber wahrscheinlich die bedeutendsten ökonomischen Kosten verursachen, die aufgrund des Klimawandels in Österreich auftreten können. Weitere Auswirkungen, die nicht Fokus dieser Studie waren, sind der Gesundheits-, der Verkehrssektor als auch die Forstwirtschaft. Vor diesem Hintergrund stellen die berechneten volkswirtschaftlichen Kosten der sektoralen Auswirkungen des Klimawandels in Österreich keine Untergrenze der möglichen Kosten dar, sondern nur einen geringen Teil.

In einigen Sektoren wird der Klimawandel zu positiven Effekten führen, die sich in einer Reduktion des Heizenergiebedarfs und in höheren landwirtschaftlichen Erträgen bis zur Mitte des Jahrhunderts äußern werden. Diese Veränderungen bewirken somit Produktivitätssteigerungen für die Firmen und Effizienzverbesserungen für die Haushalte. Allerdings überwiegen die negativen Effekte und führen zu signifikanten, jährlichen, volkswirtschaftlichen Kosten von 624,62 Mio. Euro im Jahr 2050. Diese Kosten entstehen vor allem durch einen Rückgang des Wintertourismus, der in einer sinkenden Schneesicherheit in Schigebieten in niedrigen und mittleren Lagen begründet liegt. Der negative Nachfrageschock löst einen Rückgang der Produktion und Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen für den Wintertourismus aus, was durch negative Feedback-Zyklen wie beispielsweise durch einen Rückgang der Arbeitsnachfrage, der einen Rückgang des Konsums auslöst, zu gesamtwirtschaftlichen Kosten führt. Zudem tragen die abnehmende Stromerzeugung aus Wasserkraft, die Substitution mit teureren Stromerzeugungstechnologien sowie der Anstieg des Kühlenergiebedarfs zu einer Verteuerung des Energiesystems bei.

Das Anliegen der Studie begründet sich in der Aufklärung und Erweiterung des Wissens über die Auswirkungen des Klimawandels in der österreichischen Volkswirtschaft. Es besteht jedoch Forschungsbedarf über die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Bevölkerungsgruppen, allgemein über die Verteilung der Effekte des Klimawandels und wie Wohlbefinden und Handlungsfreiheit der Menschen eingeschränkt werden. Hierbei gilt es die Methoden zur Erfassung der Vulnerabilität der Menschen weiterzuentwickeln.

Referenzen

- APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14), Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich: 1096, In: ISBN 978-3-7001-7699-2, <http://hw.oeaw.ac.at/7699-2> [Zugriff: 01.10.2014].
- Arbesser, M.; Grohall, G.; Helmenstein, C.; Kleissner, A. (2010): Die ökonomische Bedeutung des alpinen Wintersports in Österreich, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ), SportsEconAustria, Institut für Sportökonomie, Wien.
- Bednar-Friedl, B.; Heinrich, G.; Kirchner, M.; Köberl, J.; Koland, O.; Mitter, H.; Prettenthaler, F.; Schinko, T.; Schmid, E.; Schönhart, M.; Themeßl, M.; Töglhofer, C. (2013): Adaptation to Climate Change in Austria: Agriculture and Tourism (ADAPT.AT), ACRP 1st Call for Proposals, Dec 2009 – Oct 2012, Final Report.
- Bednar-Friedl, B.; Koland, O.; Schmid, E.; Schönhart, M. (2012): Climate change impacts on and adaptation measures for agriculture in Austria in 2020: Linking bottom-up and topdown models, EcoMod2012 - International Conference on Economic Modeling, Seville, JUL 4-6, 2012, EcoMod Network, Proceedings of the International Conference on Economic Modeling.
- BMLFUW (2012): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel Teil 1 – Kontext, Wien.
- Biermayr, P. (2009): Die entwicklung erneuerbarer energie in Österreich im jahr 2008, Erneuerbare Energie in Zahlen, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Böhringer, C. und Rutherford, T. (2008): Combining Bottom-up and Top-down. In: Energy Economics 30 (2): 574–596.
- Bodenhöfer, H. J., Wohlgemuth, N., Bliem, M., Michael, A., and Weyerstraß, K. (2004): Bewertung der volkswirtschaftlichen auswirkungen der unterstützung von Ökostrom in Österreich, Institut für Höhere Studien Kärnten (IHS Kärnten), Studie im Auftrag der E-Control GesmbH.
- E-Control (2013): Jährliche Erzeugung elektrischer Energie Entwicklung der inländischen Erzeugung, In: <http://www.e-control.at/de/statistik/strom/betriebsstatistik/jahresreihen> [Zugriff: 15.11.2013].
- Eitzinger, J. (2007): Einfluss des Klimawandels auf die Produktionsrisiken in der österreichischen Landwirtschaft und mögliche Anpassungsstrategien. Erschienen in der Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Jahrgang 2007 Ländlicher Raum. Universität für Bodenkultur. Wien.
- Energie-Control (2012): Ökostrombericht 2012, Bericht der Energie-Control GmbH gemäß Artikel 25 Abs 1 Ökostromgesetz, Wien.
- Energie-Control (2010): Die versorgungssicherheit am österreichischen strommarkt bis 2018, Monitoring Report, Wien.
- Energie-Control (2009): Ökostrombericht 2009, Bericht der Energie-Control GmbH gemäß Artikel 25 Abs 1 Ökostromgesetz, Wien.
- Grussmann, S.; Janke, J.; Schibany, A. (2014): Die wirtschaftlichen Kosten des Klimawandels in Österreich, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Finanzen, Wien.

- Haas, R. und Loew, T. (2012): Die Auswirkungen der Energiewende auf die Strommärkte und die Rentabilität von konventionellen Kraftwerken, Diskussionspapier der Energy Economics Group, TU Wien und des Institute for Sustainability, Berlin.
- Havranek, F. (2012): Pumpspeicherkraftwerke als zentraler Baustein der Energiewende: Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für das deutsche und österreichische Marktgebiet, Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- IPCC (2014a): Climate Change 2014 Synthesis Report, Contribution to the Fifth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2014b): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, IPCC WGII AR 5 Summary for Policymakers.
- IPCC (2007a): Climate Change 2007 The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2007b): Climate Change 2007 Impacts, Adaptation and Vulnerability, Working Group II Contribution to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2007c): Climate Change 2007 Synthesis Report, Contribution to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2000): Emissions Scenarios, Nakicenovic, N. and Swart, R. (Eds.), Cambridge University Press. UK.
- Kemfert, C. (2007): Die Kosten des Klimawandels. Der Mensch heizt die Erde auf – was muss er dafür bezahlen?, Internationale Politik 2 (Februar 2007): 38-45.
- Kranzl, L.; Haas, R.; Kalt, G.; Müller, A.; Nakicenovic, N.; Redl, C., Formayer, H., Haas, P.; Lexer, M.-J.; Seidl, R.; Schörghuber, S.; Nachtnebel, H.-P.; Stanzel, P. (2010): Energie der Zukunft. Endbericht. KlimAdapt. Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel, im Auftrag des Klima- und Energiefonds. Wien.
- Laimer, P.; Ehn-Fragner, S.; Smeral, E. (2013): Ein Tourismus-Satellitenkonto für Österreich. Methodik, Ergebnisse und Prognosen für die Jahre 2000 bis 2014, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend, Wien.
- Lang, B. und Rohrer, M. (2011): Marktanalyse energieholz - 3 / 2011, biomasseheizungen - marktsituation, klima:aktiv Fachinformation, Wien.
- Miess, G. M.; Schmelzer, S.; Janke, J. (2014): Report on Improvements in the Hybrid General Equilibrium Core Model, Deliverable report of DEFINE Development of an Evaluation Framework for the Introduction of Electromobility, <https://www.ihs.ac.at/projects/define/index.html>.
- Miess, M. (2012): Computable General Equilibrium Models: Hybrid Top-Down Bottom-Up Energy Policy Modelling, Theory and Application, Diplomarbeit an der Universität Wien.
- Mitter, H.; Schmid, E.; Schönhart, M.; Heinreich, G.; Gobiet, A. (2013): Analysing the impacts of regional climate scenarios on crop yields in Austria, Tagungsband 14. Österreichischer Klimatag 4.–5. April 2013, Veranstalter: Climate Change Centre Austria CCCA, Klima- und Energiefonds, Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- OECD (2012): OECD Environmental Outlook to 2050, OECD Publishing, In: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en> [Zugriff: 02.12.2014].

- O'Mahony, M. und Timmer, M.P. (2009): Output, Input and Productivity Measures at the Industry Level: the EU KLEMS Database, Economic Journal, 119(538): F374-F403, In: <http://www.euklems.net/> [Zugriff: 02.02.2015].
- Peneder, M.; Falk, M.; Hölz, W.; Kaniovski, S.; Kratena, K. (2007): WIFO-Weißbuch: Technologischer Wandel und Produktivität. Disaggregierte Wachstumsbeiträge in Österreich seit 1990, Monatsberichte 1/2007, Wien.
- Prettenthaler, F.; Gobiet, A.; Habsburg-Lothringen, C.; Steinacker, R.; Töglhofer, C.; Türk, A. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich I, Teilprojekt von StartClim2006, In: <http://www.austroclim.at/startclim/> [Zugriff: 25.11.2013].
- Redl, C.; Müller, A.; Haas, R. (2009): Langfristige Szenarien der österreichischen Stromversorgung, 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien.
- Schmelzer, S. und Miess, M. (2015): The Economic Costs of Electric Vehicles, DEFINE working paper, DEFINE - Development of an Evaluation Framework for the INtroduction of Electromobility, In: <https://www.ihs.ac.at/projects/define/deliverables.html> [Zugriff: 02.12.2014].
- Schröder, A., Kunz, F., Meiss, J., Mendelevitch, R., and Hirschhausen, C. v. (2013): Current and prospective costs of electricity generation until 2050, DIW Data Documentation, 68, Berlin.
- Statistik Austria (2015): Input-Output-Tabelle 2011, Wien.
- Statistik Austria (2014a): Energiebilanzen Österreich 1970-2013. Wien
- Statistik Austria (2014b): Erwerbepersonen 2012-2050 nach Bundesländern (laut Hauptszenario), Wien.
- Statistik Austria (2013): Nutzenergieanalyse für Österreich 1993-2012, Wien.
- Statistik Austria (2012): Input-Output-Tabelle 2008, Wien.
- Töglhofer, C.; Gobiet, A.; Habsburg-Lothringen, C.; Heimrath, R.; Michlmair, M.; Prettenthaler, F.; Schranzhofer, H.; Streicher, W.; Truhetz, H. (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich II, im Auftrag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, In: <http://www.austroclim.at/startclim/> [Zugriff: 04.11.2014].
- Verbund (2013): Nachhaltigkeitsbericht 2012 Lebenswert. Wir wirtschaften nachhaltig – für Menschen, Gesellschaft und Umwelt.
- Zach, K.; Auer, H.; Lettner, G.; Weiß, T. (2013): Abschätzung des zukünftigen Energiespeicherbedarfs in Österreich zur Integration variabler erneuerbarer Stromerzeugung, Facilitating energy storage to allow high penetration of intermittent Renewable Energies, In: <http://www.store-project.eu/> [Zugriff: 29.01.2015].

Annex

Abkürzung der Sektoren in MERCI	
AGR	Landwirtschaft, Forstwirtschaftliche und Fischereierzeugnisse
FERR	Metalle
CHEM	Chemische Erzeugnisse, Pharmazeutische Erzeugnisse
ENG	Metallerzeugnisse, Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Erzeugnisse, Elektrische Ausrüstungen, Maschinen, Reparatur- und Installationsarbeiten an Maschinen und Ausrüstungen
CARS	Kraftwagen und Kraftwagenteile, Handelsleistungen mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten an Kraftfahrzeugen, Dienstleistungen der Vermietung von beweglichen Sachen
VEH	Sonstige Fahrzeuge
OTHER	Restliche hergestellte Waren und Steine und Erden
BUI1	Gebäude und Hochbauarbeiten, Tiefbauten und Tiefbauarbeiten
BUI2	Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallationsarbeiten und sonstige Ausbauarbeiten
PT	Öffentlicher Verkehr
NCST	Personenbeförderungsleistungen
FT	Güterbeförderungsleistungen
RnD	Forschungs- und Entwicklungsleistungen
SERV	Dienstleistungen
CAR_SERV	KFZ und Tankstellen Dienstleistungen
ELE	Stromerzeugung
ELE_INF	Dienstleistungen der Elektrizitätsübertragung, der Elektrizitätsverteilung, des Elektrizitätshandels
LDH	Dienstleistungen der Wärme- und Kälteversorgung
GAS	Industriell erzeugte Gase; Dienstleistungen der Gasversorgung
COAL	Kohle
CRUDE	Erdöl, Erdgas, Mineralölerzeugnisse
FUEL	Treibstoff
G	Staatssektor
LS	Haushalte mit niedrigem Ausbildungsniveau
MS	Haushalte mit mittlerem Ausbildungsniveau
HS	Haushalte mit hohem Ausbildungsniveau
capital	Kapital

AutorInnen: Julia Janke, Severin Grussmann, Michael Miess, Stefan Schmelzer

Titel: Volkswirtschaftliche Kosten des Klimawandels in Österreich durch Klimawandeleffekte in der Landwirtschaft, dem Wintertourismus und der Energiewirtschaft

Projektbericht/Research Report

© 2015 Institute for Advanced Studies (IHS),

Stumpergasse 56, A-1060 Vienna • ☎ +43 1 59991-0 • Fax +43 1 59991-555 • <http://www.ihs.ac.at>
