

Olivia Koland, Ina Meyer, Martin Schönhart, Erwin Schmid, Matthias Themeßl

## Regionalwirtschaftliche Auswirkungen von Maßnahmen zur Anpassung und Minderung des Klimawandels im Agrarsektor

**Die ökonomischen Wirkungen von Maßnahmen der Landwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel (z. B. Einsatz von klimatoleranteren Pflanzen) können, wie die Modellsimulation zeigt, die klimabedingten BIP-Einbußen nicht ausgleichen. Die regionalwirtschaftlichen Effekte der Minderungsstrategie (Ausbau der Biomasseproduktion zur Raumwärmeerzeugung, regionaler Handel mit Wirtschaftsdünger) fallen ebenfalls zu gering aus. Anpassungs- und Minderungsstrategien zusammen lösen jedoch eine ausreichende Steigerung der Wirtschaftsleistung aus und können daher ein klimaschonendes Wachstum stimulieren.**

Der vorliegende Beitrag fasst eine Studie von WIFO, Universität für Bodenkultur und Wegener Center zusammen: Ina Meyer, Claudia Kettner, Daniela Kletzan-Slamanig (WIFO), Erwin Schmid, Martin Schönhart (BOKU), Andreas Gobiet, Olivia Koland, Thomas Loibnegger, Christoph Schmid, Thomas Trink (Wegener Center), AMARA – Adequacy of Mitigation and Adaptation Options for a Case Study Region in Austria. The Case for Agriculture and Forestry (2010, 82 Seiten, 60 €, Download 48 €: <http://www.wifo.ac.at/www/pubid/38862>) • Begutachtung: Franz Sinabell • Wissenschaftliche Assistenz: Katharina Köberl • E-Mail-Adressen: [Ina.Meyer@wifo.ac.at](mailto:Ina.Meyer@wifo.ac.at), [Katharina.Koeberl@wifo.ac.at](mailto:Katharina.Koeberl@wifo.ac.at)

Im Rahmen des inter- und transdisziplinären Projektes "AMARA – Adequacy of Mitigation and Adaptation Options for a Case Study Region in Austria" analysierten WIFO, Universität für Bodenkultur und Wegener Center die regionalwirtschaftlichen Auswirkungen ausgewählter Maßnahmen zur Anpassung und Minderung des Klimawandels am Beispiel des Sektors Landwirtschaft (siehe Kasten). Die untersuchte Region umfasst das Gebiet der Südoststeiermark mit den Gemeinden Feldbach, Fürstenfeld, Hartberg, Radkersburg und Weiz. Dies ist eine der landwirtschaftlich produktivsten Regionen Österreichs, da sie für die Kultivierung einer großen Bandbreite an Agrarerzeugnissen geeignet ist. Die Südoststeiermark weist darüber hinaus ein hohes Produktionspotential für Bioenergiepflanzen zur energetischen Verwendung auf. Aufgrund der Alpenrandlage ist die Region allerdings auch durch geringe Niederschläge gekennzeichnet und eignet sich damit besonders für die Analyse von Klimawandel-minderungs- und -anpassungsstrategien im Agrarsektor.

### *Anpassung und Minderung als Klimaschutzstrategie*

Das weltweite Klima ändert sich aufgrund anthropogener Einwirkung (IPCC, 2007). Die Trägheit des Klimasystems bewirkt einen weiteren Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts auch dann, wenn die internationalen Verhandlungen zum Klimaschutz und die national und regional gesetzten Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen erfolgreich sein sollten. Ohne einen weitreichenden Klimaschutz, der den Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur auf höchstens +2°C gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung begrenzt, ist mit substantiellen und unter Umständen irreversiblen Klimaschäden zu rechnen. Eine solche Begrenzung des Klimawandels soll eine geeignete und rechtzeitige Anpassung ermöglichen und so schwerwiegende Folgen für sozioökonomische und ökologische Systeme vermeiden. Die weltweite Verringerung der Treibhausgasemissionen ist daher eine notwendige Voraussetzung, um die Anpassungserfordernisse und die Anpassungskosten gering zu halten. Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sind demzufolge miteinander verknüpft (DAS, 2008) sowie orts- und sektorübergreifend zu implementieren.

Mit Hilfe eines regionalen CGE-Modells, das mit einem Bottom-up-Modell der ökonomischen Landnutzung gekoppelt wurde, wurden Szenarien der Auswirkungen von Anpassung und Minderung des Klimawandels und deren Kombination auf die Wirt-

schaftsentwicklung, d. h. auf die Einkommen, die Beschäftigung und die Wohlfahrt der Region bis zum Jahr 2045 modelliert. Die Analyse geht damit der Frage nach, ob durch Strategien zur Anpassung (z. B. Einsatz von klimatoleranteren Pflanzen) oder zur Minderung des Klimawandels (Ausbau der Biomasseproduktion zur Raumwärmeerzeugung, regionaler Handel mit Wirtschaftsdünger) positive wirtschaftliche Effekte für die Region erzielt werden können und ob Klimapolitik in diesem Sinne einen Beitrag zu einer "grünen", d. h. klimaschonenden Regionalwirtschaft leisten kann.

---

## Landwirtschaft im Klimawandel

---

### Auswirkungen des Klimawandels in der Landwirtschaft

Die Landwirtschaft stellt die Versorgung der Gesellschaft mit Nahrungsmitteln und Rohstoffen sicher und verstärkt oder verringert die Leistung von Ökosystemen. Der Sektor Land- und Forstwirtschaft erwirtschaftete im Jahr 2010 einen Anteil von 1,3% des österreichischen BIP.

Die Landwirtschaft ist über die Landnutzung direkt vom Klimawandel betroffen. So bestimmen die klimatischen Bedingungen ganz überwiegend das Artenspektrum möglicher Ackerfrüchte und das Ertragspotential. In der Landwirtschaft sind daher Ertragseinbußen sowohl durch zu hohe Temperaturen und eine eingeschränkte Wasserversorgung als auch durch eine Zunahme der Klimavariabilität zu erwarten. Auch Wetterextreme wie Starkregen, Hagel oder Dürre sowie ein langfristiger Temperaturanstieg, der über das Temperaturoptimum vieler Kulturpflanzen hinausgeht, gelten als Risikofaktoren für die landwirtschaftliche Produktion (Zebisch *et al.*, 2005). Starkregen kann durch Bodenerosion erhebliche Schäden verursachen. Dieses Risiko besteht insbesondere für Hanglagen. Chancen für die Landwirtschaft ergeben sich durch den Klimawandel insbesondere in Regionen, die bisher eher zu kühl und/oder zu feucht für die landwirtschaftliche Nutzung waren. Die Landwirtschaft kann sich – im Gegensatz zur Forstwirtschaft – aufgrund kürzerer Produktionszyklen relativ kurzfristig an Veränderungen der klimatischen Bedingungen anpassen.

---

### Landwirtschaft als Treibhausgasquelle

Die Landwirtschaft ist einerseits von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen, sie ist andererseits aber auch Verursacher von Treibhausgasemissionen (Meyer – Sinabell, 2011). So emittiert der Landwirtschaftssektor gemäß der Bilanz der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) weltweit etwa 10% bis 12% der anthropogenen Treibhausgasemissionen (2005; Smith *et al.*, 2007). In Österreich liegt der Anteil bei 9,5% (2009, laut Eurostat). Die durch die Landwirtschaft bedingten Treibhausgasemissionen sind überwiegend Methan (CH<sub>4</sub>) und Stickoxid (N<sub>2</sub>O, Lachgas); sie entstehen zu einem Großteil im Verdauungsprozess von Wiederkäuern (z. B. Rinder und Schafe) sowie bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger. Die Technologie der Lagerung (z. B. offene oder geschlossene Güllegruben) wie auch Ausbringungstechnologie und -zeitpunkt sind bestimmende Faktoren. Stickoxide entweichen landwirtschaftlich genutzten Böden (Ackerbau, Grünlandwirtschaft) als Folge der mikrobiellen Umwandlung von im Boden gebundenem anorganischem Stickstoff. Diese Stickoxidemissionen sind um ein Mehrfaches höher als die durch natürliche und naturnahe Ökosysteme freigesetzten Emissionen. Einschließlich der Emissionen der synthetischen Düngerproduktion, die nach UNFCCC-Bilanzierungsschema dem Sektor Industrie und Gewerbe zugerechnet werden, sowie jener aus der Nutzung landwirtschaftlicher Maschinen, die dem Verkehrssektor zugeordnet sind, wäre der Anteil des Landwirtschaftssektors an den anthropogenen Treibhausgasemissionen bedeutend höher. Der Landwirtschaftssektor ist somit, insbesondere auch unter Berücksichtigung der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsketten, für einen erheblichen Anteil der Treibhausgasemissionen verantwortlich.

---

### Minderungsstrategien in der Landwirtschaft

---

#### Böden als Kohlenstoffspeicher

Die Vermeidung bzw. Minderung von Emissionen zur Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre ist ein zentrales politisches Anliegen. In der Landwirtschaft bestimmt vor allem die Art und Weise der Bodennutzung die Menge an Treibhausgasemissionen.

Böden besitzen ein hohes Kohlenstoff-Speicherpotential, sodass je nach Art der Bodenbearbeitung und der gewählten Fruchtfolge der Kohlenstoffgehalt des Bodens erheblich variieren kann. Die pfluglose Bodenbearbeitung von Ackerböden etwa bewirkt geringere Kohlenstoffverluste als die konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Intensiv bearbeitete Ackerböden können infolgedessen ein hohes Poten-

tial zur Kohlenstoffanreicherung aufweisen. Sie könnten der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entziehen. Ackerböden haben einen geringeren Gehalt an Kohlenstoff als Grünland oder Waldböden; jede Umwandlung von Acker- in Grünland und Wald kann deshalb die Senkenfunktion des Bodens substantiell erhöhen<sup>1)</sup>.

Darüber hinaus stehen die Produktion von Energiepflanzen und die Entwicklung von innovativen Technologien zur Konversion von Biomasse in energetische Dienstleistungen – vor allem in den Bereichen Raumwärme, Elektrizität und Kraftstoffe für den Verkehr – im Zentrum von agrarbasierten Minderungsstrategien. Bioenergie gilt als klimafreundlich, da der bei der Nutzung freigesetzte Kohlenstoff zuvor über die Photosynthese der Atmosphäre entzogen wurde (Meyer – Scheffran, 2008). Die Nutzung von Bioenergie kann in Kombination mit Abscheidung und sicherer Einlagerung von CO<sub>2</sub> langfristig sogar dazu beitragen, der Atmosphäre CO<sub>2</sub> wieder zu entziehen (WBGU, 2008). Die Produktion von Energiepflanzen zur Umwandlung in Energiedienstleistungen wird jedoch insbesondere in ihrer globalen Dimension zunehmend kritisiert, da sie Landnutzungskonflikte zwischen Ernährung, Naturschutz und Bioenergie auslöst (Rodung von Regenwäldern, um Ackerland zu gewinnen), sodass sogar negative Klimawirkungen wahrscheinlich sind (WBGU, 2008). Eine Bewertung der Nachhaltigkeit von Bioenergie muss daher die internationale Dimension der Produktion sowie alle direkten und indirekten Landnutzungsänderungen berücksichtigen. Allgemeine Schlussfolgerungen zur Klimawirkung von Energiepflanzen sind aufgrund der Vielschichtigkeit der Nutzungspfade nicht möglich. Die Nutzung biogener Abfall- und Reststoffe aus Land- und Forstwirtschaft birgt weniger Risiken hinsichtlich einer klimaschädlichen Landnutzungsänderung.

Ein Anstieg der Durchschnittstemperatur, eine Veränderung der Regenmuster und eine Zunahme von Extremwetterereignissen beeinflussen das Ressourcenpotential und die Produktivität der Land- und Forstwirtschaft. Der Sektor muss deshalb geeignete Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich Anbau und Management treffen. Dazu gehören in erster Linie die Verwendung bodenschonender und wassersparender Anbautechniken, die die Risiken der Bodenerosion verringern und helfen, Trockenperioden zu überbrücken. Die Anpassung der Fruchtfolge, die Einführung neuer Fruchtarten sowie die Auswahl geeigneter Sorten und eine Änderung der Aussattermine sind weitere Methoden der Anpassung an ein verändertes Klima (Meyer – Sinabell, 2011, Zebisch et al., 2005).

Die Forcierung der Nutzung von Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung folgt aus verschiedenen Vorgaben auf nationaler und EU-Ebene zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch. Speziell in Hinblick auf die Förderung der Nutzung von Biomasseenergie aus Holz, Abfällen und landwirtschaftlichen Erzeugnissen legte die Europäische Kommission 2005 den Biomasse-Aktionsplan vor (KOM(2005) 628 end.). Für Österreich wurde 2006 ein nationaler Biomasseaktionsplan formuliert (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2006), der seinerseits eine Erhöhung der Biomassenutzung bis zum Jahr 2010 mit einem Schwerpunkt auf der Wärmeerzeugung vorsah (Kletzan et al., 2008). Dabei spielten energiepolitische Ziele wie die Verringerung der Abhängigkeit vom Import fossiler Energieträger und die Diversifikation des Energieträgermix ebenso eine Rolle wie die Bestrebungen zur Senkung der Treibhausgasemissionen. Die Nutzung heimischer Biomasse unterstützt weitere politische Ziele, wie etwa die Schaffung und Erhaltung von Beschäftigung und Wertschöpfung im (strukturschwachen) ländlichen Raum durch die Brennstoffbereitstellung bzw. den Betrieb von Biomasseanlagen. Darüber hinaus kann die Steigerung der heimischen Nachfrage nach effizienten Biomasetechnologien Innovationen und technische Entwicklungen der Anlagenproduzenten bewirken. Das erhöht einerseits die Exportchancen für diese Technologien; andererseits könnten dadurch die Kosten der Anlagen sinken, sodass der Subventionsbedarf in diesem Technologiesegment gedämpft wird (Kletzan et al., 2008).

---

### Produktion von Biomasse für die energetische Nutzung

---

### Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft

---

### Bioenergie für den Raumwärmebereich

<sup>1)</sup> Weitere Vermeidungsstrategien in der Landwirtschaft betreffen in erster Linie das effiziente Management von Mineral- und Wirtschaftsdünger.

Eine Reihe von Studien beschäftigt sich mit der volkswirtschaftlichen Bewertung einer Forcierung der Biomassenutzung (vgl. *Kletzan et al., 2008, Haas – Kranzl, 2002*). Die vorliegende Studie untersucht die regionalwirtschaftlichen Effekte der Produktion und der Nutzung von agrarischer Biomasse zur Wärmeerzeugung in der Südoststeiermark.

Unter den Biomassetechnologien für die Energiebereitstellung werden Scheitholz, Pappelpellets, Holzpellets sowie Hackgut grundsätzlich als kosteneffizient eingestuft, d. h. die Kosten übersteigen nicht jene der Referenztechnologie Heizöl (Übersicht 1). Für die Berechnung der Kosten der Heizenergiesysteme werden kapitalgebundene (z. B. Heizkessel), verbrauchsgebundene (z. B. Brennstoffkosten) und betriebsgebundene Kosten (z. B. Instandhaltung) berücksichtigt. Jedoch bezeichnen Stakeholder aus der Südoststeiermark den Anbau von Pappeln für die Produktion von Pellets als die am besten geeignete Strategie für die Region<sup>2)</sup>. Stückholz ist zwar der billigste Brennstoff (Übersicht 1), jedoch sehr arbeitsintensiv, daher wird (bis 2045) aufgrund des Lohnkostenanstiegs eine starke Verteuerung erwartet.

*Übersicht 1: Mittlere Kosten der Bereitstellung von Biomasseenergie nach Technologien im Jahr 2006*

Heizlast 15 kW

	€ je MWh
Hackgut	10,6
Scheitholz	8,5
Holzpellets	9,9
Pappelpellets	9,8
Agropellets	
Miscanthus	12,0
Getreideganzpflanzen	14,2
Stroh	12,3
Ganzpflanzen	
Miscanthus	11,3
Energiekorn	14,3
Heizöl <sup>1)</sup>	11,7

Q: Wegener Zentrum, Berechnung basierend auf *Steininger et al. (2008)*. – <sup>1)</sup> Annahme: Heizölpreis 0,69 € je l (Durchschnittspreis 2006 ohne Steuern).

## Modelle und Szenarien

### Das regionale Klimaszenario

Die Modellierung und Untersuchung von Optionen zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel muss die lokale bzw. regionale Ebene berücksichtigen. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde deshalb ein Klimaszenario für die Periode 2041/2050 für die Region Südoststeiermark entwickelt (NUTS-3-Level). Die erforderlichen hoch aufgelösten Klimadaten können mit geeigneten Downscaling-Verfahren erzeugt werden (*Fowler – Blenkinsop – Tebaldi, 2007*). Wie *Gobiet – Truhetz – Riegler (2006)* zeigen, können Klimaänderungen lokal und regional sehr unterschiedlich ausgeprägt sein: Die Niederschlagsänderungen sind etwa im Jahresmittel für die Alpenregion insgesamt niedrig (-4%), während saisonal und lokal große Änderungen zu erwarten sind. Die Wahl der meteorologischen Parameter des Klimaszenarios basiert auf landwirtschaftlichem Expertenwissen und umfasst Parameter wie Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsmenge, Zahl der Frosttage und Globalstrahlung.

### Methode

Das Klimaszenario wird mit dem Delta-Ansatz, einem einfachen, aber robusten Verfahren erstellt (*Déqué, 2007*). Dabei werden Beobachtungszeitreihen einer Referenzperiode für relevante Klimaparameter anhand von Klimaänderungssignalen (Übersicht 2) modifiziert, um eine Zeitreihe eines möglichen künftigen Klimas zu generieren. Ein Klimaänderungssignal gibt die mittlere Änderung zwischen einer künftigen (Business-as-usual-Szenario) und einer historischen Periode wieder. Diese Technik erhöht die Verlässlichkeit des Klimaszenarios gegenüber der direkten Nutzung von Ergebnissen aus Klimamodellen insofern, als systematische Modellfehler vermieden

<sup>2)</sup> Das Projektteam führte im November 2008 mit Vertretern der Land- und Forstwirtschaft einen Stakeholderdialog zu möglichen Anpassungs- und Minderungsstrategien in der Südoststeiermark.

werden. Der Nachteil besteht darin, dass die Klimavariabilität als konstant angenommen wird.

Für das vorliegende Klimaszenario wurden die Klimaänderungssignale des regionalen Klimamodells MM5 (Dudhia et al., 2004) zwischen den Perioden 1981/1990 und 2041/2050 herangezogen, um Beobachtungszeitreihen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in der Südoststeiermark zwischen 1981 und 1990 auf Monatsbasis anzupassen. Diese Klimasimulation wurde im Projektrahmen von reclp:more (Gobiet – Truhetz – Riegler, 2006, Loibl et al., 2007) entwickelt und folgt dem Emissionsszenario IS92a (Leggett – Pepper – Swart, 1992). Sie bietet für den Alpenraum räumlich sehr hoch aufgelöste Klimadaten (Raster von 10 km; Gobiet – Truhetz – Riegler, 2006), die eine regionale Untersuchung der vorliegenden Fragestellung erlauben. Das hier verwendete Klimaszenario bildet allerdings nur eine mögliche Klimazukunft für die Südoststeiermark ab; daher kann die Unsicherheit bezüglich der verwendeten Klimasimulation nicht abgeschätzt werden.

Übersicht 2 zeigt die Klimaänderungssignale auf monatlicher Basis. Während die Temperatur 2041/2050 im Jahresdurchschnitt um 2,35°C höher ist als 1981/1990 (+1,83°C bis +2,71°C pro Monat), erhöht sich die Niederschlagsmenge in den Wintermonaten sowie im Mai und Juni, sinkt jedoch insbesondere im August, September und Oktober (rund –30%). Der letzte Frosttag verschiebt sich um etwa drei Wochen zurück auf den 18. März (mit  $t_{min} < -1^{\circ}\text{C}$ ) bzw. 9. März ( $t_{min} < -2^{\circ}\text{C}$ ). Für die Landwirtschaft bedeutet dies, dass z. B. früher mit der Aussaat begonnen werden kann.

## Ergebnisse

Übersicht 2: Klimaänderungssignale für die Südoststeiermark

	$t$	$t_{min}$	$t_{max}$	$nied$	$nied$	$strahl$	$v$	$rel14$
	Veränderungssignal 1981/1990 gegenüber 2041/2050							
	°C	°C	°C	mm	ln %	J je cm <sup>2</sup>	m pro sec	ln %
Jänner	+ 1,83	+ 1,76	+ 1,98	+ 0,43	+19,58	+ 1,28	- 5,62	- 2,90
Februar	+ 2,12	+ 1,88	+ 2,43	+ 0,16	+ 7,03	+ 10,38	- 8,13	- 3,61
März	+ 2,31	+ 1,95	+ 2,67	- 0,14	- 5,11	+ 47,63	- 6,89	- 3,44
April	+ 2,47	+ 2,29	+ 2,67	- 0,02	- 0,60	+ 12,40	- 5,80	- 2,80
Mai	+ 2,18	+ 2,15	+ 2,24	+ 0,15	+ 4,05	+ 16,00	- 4,48	- 1,46
Juni	+ 2,19	+ 2,29	+ 2,20	+ 0,13	+ 3,42	+ 16,02	- 2,76	- 0,55
Juli	+ 2,41	+ 2,39	+ 2,57	- 0,29	- 8,78	+ 63,28	- 4,51	- 1,76
August	+ 2,61	+ 2,39	+ 3,02	- 1,00	-29,58	+117,56	- 2,28	- 4,61
September	+ 2,62	+ 2,23	+ 3,18	- 1,01	-29,52	+111,15	+ 1,23	- 7,27
Oktober	+ 2,71	+ 2,24	+ 3,26	- 1,05	-30,71	+ 87,17	- 1,66	- 7,00
November	+ 2,51	+ 2,26	+ 2,80	- 0,23	- 7,60	+ 20,19	- 2,09	- 4,78
Dezember	+ 2,30	+ 2,22	+ 2,43	+ 0,09	+ 3,51	- 10,67	- 8,01	- 3,19

Q: Wegener Zentrum.  $t$  ... durchschnittliche Lufttemperatur,  $t_{min}$  ... Lufttemperatur Minimum,  $t_{max}$  ... Lufttemperatur Maximum,  $nied$  ... Niederschlagsmenge,  $strahl$  ... Globalstrahlung,  $v$  ... Windgeschwindigkeit,  $rel14$  ... relative Luftfeuchte um 14 Uhr.

Zur Quantifizierung der Klimawirkungen auf die regionale Landwirtschaft wird ein ökonomisches Landnutzungsmodell eingesetzt. Das normative regionale Programmierungsmodell PASMA baut auf dem Modell von Schmid – Sinabell (2007) auf und deckt alle bedeutenden regionalen Landnutzungsaktivitäten und Managementformen ab. Eine methodische Besonderheit ist die Verwendung der positiven mathematischen Programmierung (PMP) zur Kalibrierung des Modells auf Grundlage beobachteter Produktionsaktivitäten. Für die Analyse künftiger Perioden werden Modellparameter angepasst, etwa die zu erwartenden Erträge, Produktionskosten und Marktpreise. Weiters berücksichtigt das Modell Betriebsgrößen, Bewirtschaftungsintensitäten (z. B. konventionelle versus biologische Produktionsweise), Bodenbearbeitungsverfahren und Aktivitäten der Tierhaltung. Um dem Einfluss der Agrarpolitik auf die agrarische Landnutzung gerecht zu werden, werden alle in Österreich wichtigen Maßnahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP) abgebildet.

Die regionale Struktur des CGE-Modells besteht aus der Untersuchungsregion 1 (Südoststeiermark) eingebettet in Region 2 (übrige Steiermark). Beide Regionen sind voll ausmodelliert und über Außenhandel mit Region 3 (übriges Österreich und Ausland) verbunden (Modellschließung). Die Regionalwirtschaft umfasst 41 Sektoren, darunter sechs energieproduzierende (Kohle, Diesel, andere Mineralölprodukte einschließlich

## Das ökonomische Landnutzungsmodell PASMA

## Das regionale ökonomische Modell

Benzin und Heizöl, Strom, Gas), und drei Primärfaktoren der Produktion (Arbeit, Kapital, Land). Land ist ein knapper Faktor in den Regionen und wird in der landwirtschaftlichen Produktion sowie für Biomassevorleistungen verwendet, die um verfügbares Land konkurrieren. Der Biomasseenergiesektor produziert mit spezifischen Technologien, die sich von konventionellen Technologien auf Basis fossiler Energieträger unterscheiden. Das Arbeitskräfteangebot orientiert sich exogen am demographischen Trend in den Regionen und teilt sich je nach Arbeitsintensität auf Sektoren und verwendete Technologien auf, wobei auch Arbeitslosigkeit auftreten kann.

Die privaten Haushalte konsumieren ein Bündel an Gütern und Dienstleistungen  $X$  und maximieren ihren Nutzen (1) unter der Budgetrestriktion (2). Dabei fragen sie die Wärmedienstleistung statt Heizenergie per se nach.

$$(1) \quad U = \prod_{i=1}^n X_i^{\alpha_i}, \quad \sum_i \alpha_i = 1,$$

$$(2) \quad Y \geq \sum_{i=1}^n p_i X_i, \quad Y = wL + rK + vKL + T,$$

$U$  ... Nutzen,  $Y$  ... Haushaltseinkommen,  $p_i$  ... Preis des Konsumgutes  $i$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $\alpha_i$  ... Ausgabenanteile,  $wL$  ... Löhne (Lohnsatz  $w \times$  Arbeitseinsatz  $L$ ),  $rK$  ... Kapitaleinkommen (Zinssatz  $r \times$  Kapitaleinsatz  $K$ ),  $vKL$  ... Einkommen aus Landbesitz (Landrente  $v \times$  Ackerland  $KL$ ),  $T$  ... Transfers.

Gewinnmaximierende Unternehmen erzeugen Güter und Dienstleistungen durch Einsatz von Primärfaktoren und Zwischenprodukten aus anderen Sektoren (Vorleistungen). Die Produktion folgt einer geschachtelten CES-Struktur, wobei Vorleistungen und das Aggregat an Arbeit-, Kapital-, Land- und Energieinput in einem fixen Verhältnis eingesetzt werden. Land ist – eine Ebene darunter – durch die anderen Inputs (Arbeit, Kapital, Energie) nur sehr schwierig auszutauschen (Land als essentieller Faktor in der landwirtschaftlichen Produktion). Der Abtausch wird über Substitutionselastizitäten in der Produktion gesteuert (Wissema – Dellink, 2007, Rutherford – Paltsev, 2000). Es wird weiters angenommen, dass die Dienstleistung "Wärmebereitstellung" entweder auf Basis fossiler Energieträger oder durch Bioenergie-technologien bereitgestellt werden kann.

Den Staatseinnahmen (Steuern auf Güter und Primärfaktoren von privaten Haushalten und Unternehmen) stehen Staatsausgaben gegenüber (Staatsnachfrage nach Gütern und Dienstleistungen, Investitionen oder Transfers, z. B. Arbeitslosengeld).

Güter werden zwischen den drei Regionen gehandelt (Importe, Exporte). Modelliert wird der Außenhandel unter der "Armington-Annahme" (Armington, 1969). Welche Mengen importiert und exportiert werden, hängt ab von den relativen Preisen zwischen heimischen und ausländischen Gütern sowie von Substitutionselastizitäten des Außenhandels, die für verschiedene Sektoren bzw. regionalen und weltweiten Handel unterschiedlich sind (Welsch, 2008).

Das Modell wird über exogene Parameter und Startwerte auf das Basisjahr 2003 kalibriert. Die ökonomische Datengrundlage, die Social-Accounting-Matrix, für 2003 wurde anhand von Energiebilanzen für die vorliegende Fragestellung angepasst (Statistik Austria, 2006A). Zusätzlich wurden Daten zur Lohn- und Einkommensteuer (Statistik Austria, 2006B) sowie die Regionalstatistik Steiermark herangezogen (Arbeitslosenzahlen, Transfers, Steueraufkommen; Kammer für Arbeiter und Angestellte für Steiermark, 2007).

## Modellszenarien

### Referenzszenario 2045 (ohne Klimawandel)

Ausgehend vom Basisjahr 2003 wird das Referenzszenario 2045 durch Extrapolieren der makroökonomischen Basisdaten der Südoststeiermark (Region 1) konstruiert. Es berücksichtigt keinen Klimawandel. Fortgeschrieben werden Bevölkerungswachstum, Änderung des Faktoreinsatzes und der Faktorproduktivität, Entwicklung der Energiepreise und der Nachfrage nach Wärme, Strom und Mobilität (Übersichten 3 und 4). Für den Gebäudesektor gilt die Annahme einer Sanierungsrate von 1% und der Errichtung aller neuen Gebäude im Niedrigenergiestandard; auf dieser Basis wird die resultierende Wärmenachfrage der privaten Haushalte berechnet.

## Übersicht 3: Übersicht über die verwendeten Szenarien

Zeithorizont: 2045

	Klimawandel berücksichtigt	Autonome Anpassung	Politikmaßnahmen
Referenzszenario 2045 (ohne Klimawandel)	Nein	Nein	–
Business-as-usual-Szenario 2045 (mit Klimawandel) (basierend auf Referenzszenario)	Ja	Ja	–
Szenario politikinduzierte Anpassung (Adaptation) (basierend auf Business-as-usual-Szenario)	Ja	Ja	Förderung von F&E für Züchtung und Anbau klimatoleranter Pflanzen
Minderungsszenario (Mitigation) (basierend auf Business-as-usual-Szenario)	Ja	Ja	Ausweitung der Bioenergienutzung (Biomasseprämie) und innerregionaler Handel mit Wirtschaftsdünger

Q: Wegener Zentrum.

## Übersicht 4: Parameter und exogene Variable im Referenzszenario

	Region 1: Südsteiermark	Region 2: Übrige Steiermark
	Veränderung 2003/2045 in %	
Kapitalstock <sup>1)</sup>	+ 0,6 p. a.	+ 0,6 p. a.
Arbeitskräfteangebot <sup>2)</sup>	– 11,78	– 7,99
Weltmarktpreise Energie (real) <sup>3)</sup>		
Kohle	+ 14,5	+ 14,5
Mineralölprodukte	+ 29,0	+ 29,0
Gas	+ 29,0	+ 29,0
Strom	+ 19,3	+ 19,3
Produktivität <sup>4)</sup>	+0,31 bis +2,41 p. a.	
Sanierungsrate (Gebäude) <sup>5)</sup> in % p. a.	1,0	1,0
Nachfrage der privaten Haushalte <sup>3)</sup>		
Wärme	+ 3,71	+ 1,84
Treibstoff	+ 16,87	+ 26,52
Strom	– 18,91	– 14,85

Q: Wegener Zentrum. – <sup>1)</sup> EU KLEMS (2007). – <sup>2)</sup> Statistik Austria (2006C). – <sup>3)</sup> Wegener Zentrum Berechnungen. – <sup>4)</sup> Bandbreite für verschiedene Sektoren. Berechnungen basierend auf EU KLEMS (2007). – <sup>5)</sup> Annahme.

In die Annahmen zu Änderungen von Marktpreisen und Produktionskosten im Untersuchungszeitraum gehen direkt oder über lineare Fortschreibung die aktuellen Prognosen der OECD-FAO (2009) ein. Zur Landnutzungsmodellierung berücksichtigt das Referenzszenario zu erwartende Änderungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) bis zum Jahr 2040 aufbauend auf den vergangenen und zum Zeitpunkt der Szenarienerstellung diskutierten Politikreformen und Marktanpassungen:

- Auslaufen der Milchquotenregelung mit 2015,
- Einführung einer regionalen Betriebsprämie anstelle des derzeit gültigen Prämienmodells aufgrund historischer Ansprüche,
- Verringerung der Direktzahlungen der ersten Säule (u. a. Betriebsprämie) um 50%,
- Fortschreibung der zweiten Säule (Programm der ländlichen Entwicklung),
- Ende der Stilllegungsverpflichtung.

Neben den politischen Änderungen geht das Referenzszenario bereits von einem Verlust von landwirtschaftlicher Fläche aufgrund beobachteter Werte aus sowie von einer Zunahme der Tierhaltungskapazitäten. Annahmegemäß erfolgt kein Handel mit Wirtschaftsdünger innerhalb und zwischen den Regionen. Die wirtschaftlichen Kennzahlen für das Referenzszenario 2045 zeigt Übersicht 5.

Das Business-as-usual-Szenario integriert physikalische und ökonomische Klimafolgen für die Bereiche Landwirtschaft und Energie. Unternehmen und private Haushalte passen sich autonom an, etwa hinsichtlich der Nachfrage nach Wärmeenergie.

Das Szenario erlaubt eine spontane Anpassung von Produktionsaktivitäten an die Klimaänderung. Diese Reaktion der landwirtschaftlichen Betriebe wird durch eine veränderte Produktionsfunktion modelliert, die auf den Ergebnissen des ökonomischen Landnutzungsmodells aufbaut. Das Klimasignal, im Wesentlichen Änderungen von Temperatur und Niederschlägen, wird über die positive oder negative Verände-

**Business-as-usual-Szenario 2045 (mit Klimawandel)**

rungsrate der Pflanzenerträge in das Landnutzungsmodell übertragen. Für die sechs Hauptkulturen der Südoststeiermark ergeben sich aufgrund des regionalen Klimaszenarios im Jahr 2040 folgende Ertragsänderungen: Körnermais -4,5%, Silomais -6,6%, Winterweizen -3,4%, Wintergerste -3,1%, Grünland -31% und Ölkürbis +11% (zur Methode siehe Koland et al., 2008).

Übersicht 5: Makroökonomische Indikatoren 2045 im Referenzszenario

		Region 1: Südoststeiermark	Region 2: Übrige Steiermark
BIP, nominell	2003 = 100	163,99	208,25
	Veränderung 2003/2045 in % p. a.	+ 1,21	+ 1,81
Wohlfahrt, nominell	2003 = 100	199,3	274,3
	Veränderung 2003/2045 in % p. a.	+ 1,70	+ 2,49
Arbeitslosenquote	in %	2,68	3,42
Startwerte 2003	in %	3,6	4,0
Verbraucherpreisindex	2003 = 100	90,7	95,9
Landwirtschaftliche Produktion, nominell	2003 = 100	111,0	109,3
Preisniveau Landwirtschaft	2003 = 100	124,4	143,6
Faktorpreise			
Arbeit	2003 = 100	278,0	329,0
Kapital	2003 = 100	124,8	156,1

Q: Wegener Zentrum.

Übersicht 6 zeigt die zentralen Ergebnisse des Business-as-usual-Szenarios als Abweichung der Kennzahlen im Jahr 2045 vom Jahr 2008. So steigt die Produzentenrente in den Bezirken Fürstenfeld, Radkersburg und Feldbach hauptsächlich aufgrund einer Zunahme der Tierzahlen und der Größe der Produktionseinheiten durch den Agrarstrukturwandel. In den Bezirken Weiz und Hartberg nimmt die Produzentenrente aufgrund von Extensivierung und der Aufgabe marginaler Standorte ab. Das Modell weist für Kurzumtriebsplantagen eine Flächenzunahme aus, da diese Kulturen durch den Klimawandel gegenüber der traditionellen Acker- und Grünlandnutzung sowie durch die angenommene Preisentwicklung an Wettbewerbsfähigkeit gewinnen. Der Biolandbau nimmt in allen Regionen zu, besonders aber in Feldbach und Radkersburg. Weitere Folgen sind eine Abnahme des Bedarfs an synthetischen Düngemitteln, eine Zunahme des Arbeitskräftebedarfs und ein Wertverlust der Fläche in Gebieten mit Flächenaufgabe.

Übersicht 6: Indikatoren für die Landwirtschaft der Südoststeiermark 2045 im Business-as-usual-Szenario

	Insgesamt	Fürstenfeld	Radkersburg	Feldbach	Hartberg	Weiz
	Veränderung 2008 in %					
Produzentenrente	- 1,9	+ 6,8	+ 3,0	+ 8,6	- 12,1	- 7,7
Landwirtschaftliche Produktion	+ 7,3	+ 20,1	+ 4,1	+ 27,0	- 6,3	- 5,1
Vorleistungen	+ 19,7	+ 39,5	+ 5,5	+ 47,0	+ 2,6	- 1,2
Maschinen	+ 1,6	+ 3,9	- 2,0	+ 4,7	+ 0,3	+ 0,8
Dünger	- 53,3	- 33,9	- 72,0	- 58,2	- 56,1	- 48,8
Arbeitsstunden	+ 19,4	+ 24,4	+ 7,8	+ 34,2	+ 8,1	+ 16,3
Land (Schattenpreis)	- 8,0	+ 0,3	- 2,5	- 4,8	- 19,5	- 18,9

Q: Universität für Bodenkultur.

Effekte des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge werden im CGE-Modell über eine Änderung von "Effizienzland" abgebildet (dieses Modellierungskonzept wurde erstmals in Koland et al., 2008, eingeführt und misst die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion je Hektar Land). Demnach ändert sich die Produktivität des Bodens (Faktor Land), sobald sich etwa die Temperatur- oder Niederschlagsmuster ändern. Die Menge an Boden, gemessen in Effizienzeinheiten, sinkt also, wenn der Klimawandel Ernteauffälle bewirkt.

In einem zweiten Schritt werden basierend auf dem regionalen Klimaszenario Änderungen der Energienachfrage berücksichtigt. Dies betrifft sowohl Energie für Heizung als auch für Kühlung, da die Klimakomponente der Energienachfrageänderung – im Gegensatz zu technischen und sozioökonomischen Entwicklungen im Gebäudesek-

tor – an der Änderung der Zahl der Heiz- und Kühlgradtage gemessen werden kann. Durch die Erwärmung steigt der Kühlenergiebedarf in der Südoststeiermark nur wenig (+24 TJ), während der Heizenergiebedarf erheblich sinkt (–1.796 TJ; zu Methode und Berechnungen vgl. Koland *et al.*, 2008).

Das Szenario politikinduzierte Anpassung bildet die ökonomischen Effekte einer Anpassung an die infolge des Klimawandels zu erwartenden Ertragseinbußen ab. Diese Anpassung kann in der Züchtung klimatoleranterer Pflanzen bestehen, etwa durch Setzen einer F&E-Maßnahme. Das Business-as-usual-Szenario erlaubt eine autonome Anpassung der Produzenten an den Klimawandel, etwa durch die Wahl alternativer Kulturen (z. B. Kurzumtriebsplantagen) oder Veränderung der Bewirtschaftungsintensität. Das Szenario politikinduzierte Anpassung erweitert somit das Business-as-usual-Szenario um Anpassungsmaßnahmen in der Südoststeiermark und der übrigen Steiermark (Region 1 und 2). Grundsätzlich stehen zwei Optionen zur Verfügung (Smit – Skinner, 2002), einerseits die direkte Unterstützung der vom Klimawandel Betroffenen etwa durch Subventionen oder geförderte Versicherungsprogramme und andererseits die Förderung technologischer Entwicklungen, z. B. der Züchtung trockenheitstoleranter Sorten. Diese zweite Option verringert die biophysikalischen Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktionsgrundlagen (z. B. Boden) wie auch deren ökonomische Folgen (z. B. qualitative und quantitative Ertragsänderungen), um das weltweite landwirtschaftliche Produktionspotential zu sichern (Battisti – Naylor, 2009).

Die politikinduzierte Anpassung wird in drei Stufen modelliert: Basierend auf der Annahme, dass das Ausmaß technologischer Entwicklungen auch in Zukunft aufrechterhalten werden kann, würden technologische Maßnahmen den Einfluss des Klimawandels auf die Pflanzenerträge gegenüber dem Business-as-usual-Szenario um 20%, 30% bzw. 50% verringern. Wie im Business-as-usual-Szenario wird Anpassung über eine Änderung von "Effizienzland" modelliert. Wenn die Produktivität des Bodens durch Klimaänderungen sinkt, können die Förderung und der Anbau klimatoleranter Pflanzen diesem Produktivitätsverlust entgegenwirken, sodass die für landwirtschaftliche oder energetische Nutzung verfügbare Menge an Effizienzland wieder steigt.

Im Minderungsszenario werden zwei Aspekte berücksichtigt:

- Erstens werden die Folgen einer Ausweitung des Biomasseanteils an der Energieproduktion in der Südoststeiermark durch Einführung von Biomasseprämien analysiert. Bioenergietechnologien ersetzen dabei konventionelle CO<sub>2</sub>-intensive Technologien der Energieerzeugung. Zur Ausweitung der Biomasseproduktion wird in drei Stufen eine Prämie für Kurzumtriebsplantagen von 100 €, 200 € bzw. 300 € je ha eingeführt. Als Flächen kommen dafür Ackergrünland und Stilllegungsflächen in Betracht. Unter diesen Annahmen weist das Modell eine Obergrenze für die Fläche von Kurzumtriebsplantagen von 7.400 ha im Jahr 2045 aus.
- Zweitens wird eine Ausweitung des Anteils des innerregionalen Handels mit Wirtschaftsdünger (von Überschussregionen und -betrieben zu unterversorgten Regionen und Betrieben) analysiert, und zwar in drei Stufen um 20%, 50% und 80% der verfügbaren Menge. Das Potential einer Minderung des Klimawandels liegt vor allem in der Verringerung der N<sub>2</sub>O-Emissionen, aber auch der Nachfrage nach synthetischem Dünger.

Die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels im Business-as-usual-Szenario in Relation zum Referenzszenario 2045 zeigt Übersicht 7. Demnach ist das reale BIP infolge des Klimawandels im Jahr 2045 sowohl in der Südoststeiermark als auch in der übrigen Steiermark um 0,28 Prozentpunkte niedriger als im Referenzszenario. Dieser Effekt resultiert im Wesentlichen aus klimabedingten Produktivitätseinbußen der Landwirtschaft, die einen Anstieg der Preise landwirtschaftlicher Produkte (Region 1 +28,56 Prozentpunkte gegenüber dem Referenzszenario) und einen Rückgang des Produktionsniveaus (Region 1 –3,7 Prozentpunkte) nach sich ziehen. Das wiederum bewirkt einen Anstieg der Produktionskosten und dämpft die Produktion in jenen Sektoren, die landwirtschaftliche Zwischenprodukte einsetzen, etwa Nahrungsmittel oder Textilien. Ein zweiter dämpfender Effekt auf das BIP resultiert aus der Zunahme des Biomasseangebotes zur Energiebereitstellung (für Raumwärme), weil sich die

---

### Szenario politikinduzierte Anpassung (Adaptation)

---

### Minderungsszenario (Mitigation)

---

### Modellergebnisse

---

### Business-as-usual-Szenario 2045

landwirtschaftlichen Betriebe autonom an Klimaänderungen anpassen. Er verringert die Nachfrage nach fossiler Energie und entsprechenden Dienstleistungen.

Insgesamt bewirken diese Effekte eine Zunahme der Arbeitslosenquote um 0,28 Prozentpunkte gegenüber dem Referenzszenario (Region 1), hauptsächlich bedingt durch den Produktionsrückgang in arbeitsintensiven Sektoren. Dem steht ein Wohlfahrtsgewinn von knapp 2 Prozentpunkten (Region 1) gegenüber, der sich aus der Abnahme der Wärmenachfrage aufgrund des Klimawandels ergibt (dieselbe Wärmedienstleistung kann nun zu geringeren Kosten bereitgestellt werden). Den privaten Haushalten steht das frei gewordene Einkommen für andere Zwecke zur Verfügung.

Übersicht 7: Makroökonomische Indikatoren 2045 im Business-as-usual-Szenario

		Region 1: Südoststeiermark		Region 2: Übrige Steiermark	
			Abweichungen vom Referenzszenario in Prozentpunkten		Abweichungen vom Referenzszenario in Prozentpunkten
BIP	2003 = 100	163,71	- 0,28	207,97	- 0,29
Veränderung gegen das Vorjahr in % p. a.		+ 1,21		+ 1,80	
Wohlfahrt	2003 = 100	201,2	+ 1,89	275,6	+ 1,28
Veränderung gegen das Vorjahr in % p. a.		+ 1,72		+ 2,50	
Arbeitslosenquote	in %	2,95	+ 0,28	3,50	+ 0,09
Verbraucherpreisindex	2003 = 100	89,8	- 0,89	95,3	- 0,55
Landwirtschaftliche Produktion	2003 = 100	107,3	- 3,73	106,2	- 3,13
Preise landwirtschaftlicher Produkte	2003 = 100	153,0	+ 28,56	167,8	+ 24,17
Faktorpreise					
Arbeit	2003 = 100	278,0	± 0	329,0	± 0
Kapital	2003 = 100	123,4	- 1,30	155,8	- 0,29

Q: Wegener Zentrum, Universität für Bodenkultur.

### Szenario politikinduzierte Anpassung (Adaptation)

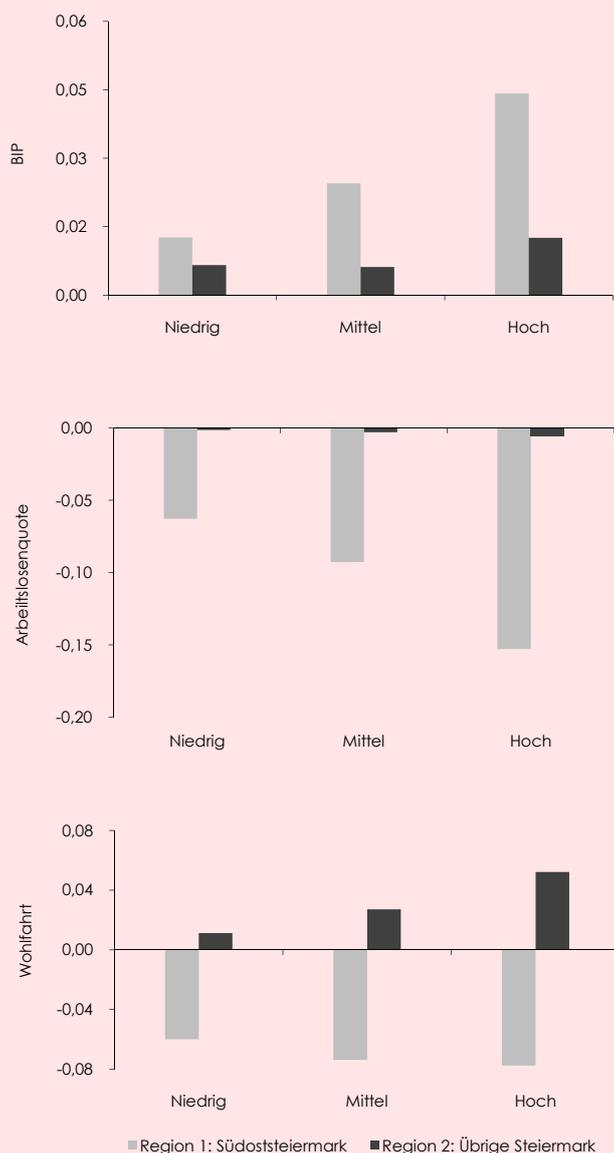
Die wirtschaftlichen Effekte der ausgewählten Anpassungsstrategien – durch öffentliche Mittel induzierte Pflanzenzüchtung zur Abschwächung der negativen Auswirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenertrag um 20%, 30% und 50% – werden in Relation zum Business-as-usual-Szenario berechnet. Diese Strategie der Anpassung an den Klimawandel erhöht das BIP der Südoststeiermark (Region 1) gegenüber dem Business-as-usual-Szenario leicht um 0,013 bis +0,044 Prozentpunkte. Für die Region 2 ergeben sich keine starken Effekte (Abbildung 1). Die geringfügige Steigerung des BIP resultiert aus der Zunahme der Produktivität in der Landwirtschaft. Aufgrund der kostengünstigeren Produktion steigert der landwirtschaftliche Sektor seinen Output. In der Folge erhöhen auch die Sektoren, die landwirtschaftliche Zwischenprodukte einsetzen, ihre Produktion. Die Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft haben andererseits aufgrund der Produktivitätssteigerung einzelner Ackerkulturen eine Verringerung der Biomasseproduktion zur Folge (Kurzumtrieb auf Stilllegungs- und Ackergrünlandflächen) und wirken dadurch einerseits negativ auf das BIP. Der Anteil der Energieträger Kohle, Mineralölprodukte und Gas nimmt andererseits zu (Produktionssteigerung), weil weniger Energie aus Biomasse bereitgestellt wird. Insgesamt resultiert aus der Anpassungsstrategie ein leicht positiver BIP-Effekt im Vergleich mit einem Szenario ohne Anpassungsstrategie. Aufgrund der geringfügigen Produktionssteigerung in arbeitsintensiven Sektoren (z. B. Landwirtschaft, Nahrungsmittelindustrie, Mineralölwirtschaft) sinkt die Arbeitslosenquote in der Südoststeiermark um 0,06 bis 0,15 Prozentpunkte (Abbildung 1).

Die Wohlfahrt ist in den Regionen 1 und 2 unterschiedlich von den Anpassungsstrategien betroffen. Während die Südoststeiermark einen Wohlfahrtsverlust erleidet, ergibt sich für die übrige Steiermark ein Wohlfahrtsgewinn. Die Anpassungsstrategie hat einerseits zwar eine Abnahme der Arbeitslosenquote und damit eine Steigerung des Konsums zur Folge, andererseits wirkt aber die Produktivitätssteigerung negativ auf die Wohlfahrt, indem der Pachtzins für Grund und Boden und in der Folge der Konsum sinkt. Beide Effekte zusammen ergeben eine private Konsumänderung um -0,09 bis -0,17 Prozentpunkte gegenüber dem Business-as-usual-Szenario. Der öffentliche Konsum nimmt aufgrund der Einsparungen im Bereich der Arbeitslosenunterstützung zu. Der Gesamteffekt von privatem und öffentlichem Konsum ist in der Süd-

oststeiermark leicht negativ und hat einen Rückgang des Preisniveaus zur Folge. Die übrige Steiermark profitiert vom Rückgang der Importpreise, der die Produktionskosten senkt und den Konsum erhöht, sodass sich hier ein geringfügiger Wohlfahrtsge-  
winn ergibt. Während also die durch die Anpassungsstrategie induzierten Einkommens- und Beschäftigungseffekte durchwegs positiv sind, sind die Wohlfahrtseffekte für die Region 1 negativ.

Abbildung 1: Effekte der Anpassungsmaßnahmen auf makroökonomische Indikatoren im Jahr 2045

Abweichungen vom Business-as-usual-Szenario in Prozentpunkten



Q: Wegener Zentrum, Universität für Bodenkultur. Anpassung: Pflanzenzüchtung zur Abschwächung der Ertragseinbußen infolge des Klimawandels um 20% (niedrig), 30% (mittel) und 50% (hoch).

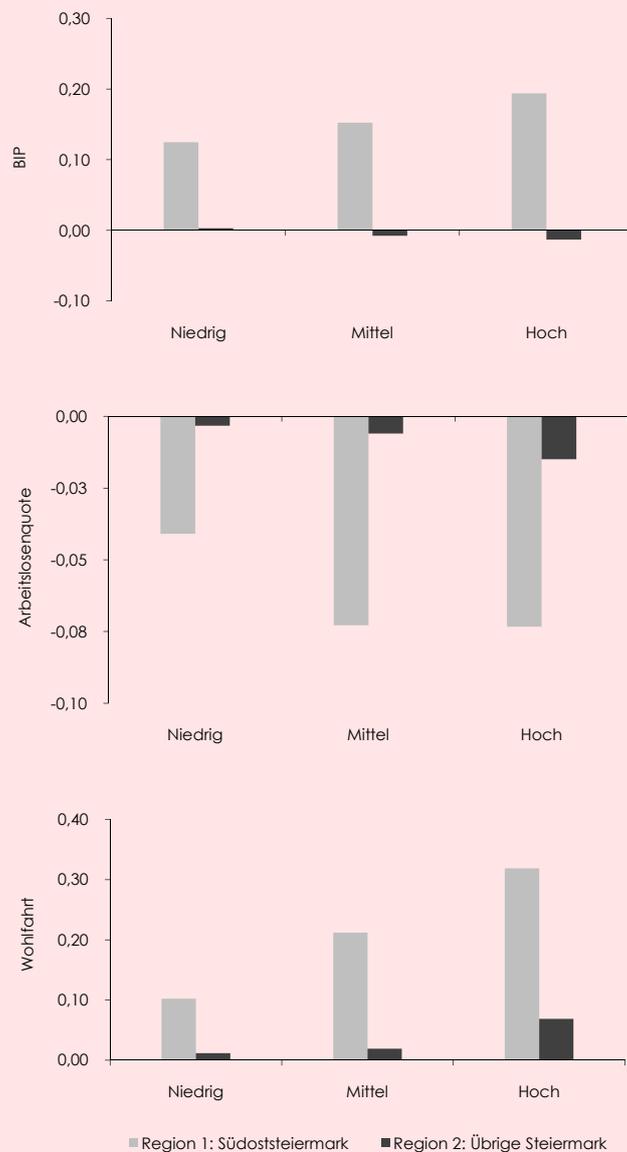
Die wirtschaftlichen Effekte der agrarbasierten Strategien zur Minderung des Klimawandels werden ebenfalls in Relation zum Business-as-usual-Szenario berechnet. Das regionale BIP steigt unter den Annahmen des Minderungsszenarios – Ausweitung der Biomasseproduktion durch Einführung von Biomasseprämien sowie Vergrößerung des Anteils des innerregionalen Handels mit Wirtschaftsdünger in jeweils drei Stufen – um 0,13 bis 0,19 Prozentpunkte stärker als im Business-as-usual-Szenario (Region 1; Abbildung 2). In der übrigen Steiermark sind die BIP-Effekte vernachlässigbar gering.

### Minderungsszenario (Mitigation)

Die zur Ausweitung der Biomasseproduktion eingesetzte Biomasseprämie erhöht die landwirtschaftliche Produktion (+1 bis +3,1 Prozentpunkte) und die Produktion von aus Biomasse erzeugter Wärme. Die Produktion fossiler Brennstoffe sinkt. Insgesamt ist der BIP-Effekt in der Südoststeiermark leicht positiv, die Arbeitslosenquote sinkt primär aufgrund der Wertschöpfungssteigerung (-0,04 bis -0,07 Prozentpunkte). Die Einführung von Minderungsmaßnahmen in Region 1 bringt eine leichte Steigerung der Wohlfahrt in dieser Region mit sich (+0,1 bis +0,3 Prozentpunkte; Abbildung 2). Dieser Effekt ist auf die Zunahme der Einkommen (Rückgang der Arbeitslosenquote) zurückzuführen sowie auf den Anstieg des Pachtzinses für Grund und Boden infolge der steigenden Nachfrage nach Land zur Pappelkultivierung. Beide Effekte erhöhen den Konsum und damit die Wohlfahrt.

Abbildung 2: Effekte der Minderungsmaßnahmen auf makroökonomische Indikatoren

Abweichungen vom Business-as-usual-Szenario in Prozentpunkten



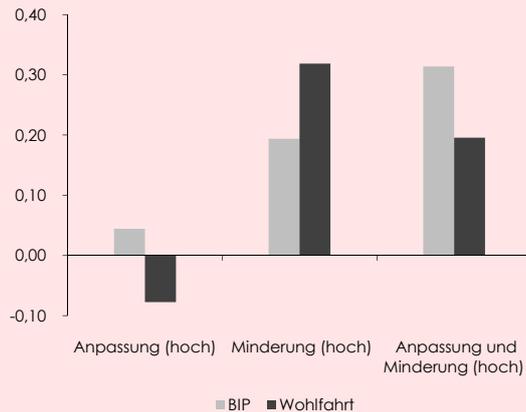
Q: Wegener Zentrum, Universität für Bodenkultur. Minderung: Prämie für Kurzumtriebsplantagen von 100 € je ha und Handel mit Wirtschaftsdünger im Ausmaß von 20% der verfügbaren Menge (niedrig), von 200 € je ha bzw. 50% der verfügbaren Menge (mittel) und von 300 € je ha bzw. 80% der verfügbaren Menge (hoch).

Der Modelllauf "kombiniertes Anpassungs- und Minderungsszenario" analysiert beide Strategien – Anpassung an den Klimawandel und Minderung des Klimawandels – simultan in einem Szenario und untersucht deren kombinierte Wirkung auf Einkommen, Beschäftigung und Wohlfahrt in der Südoststeiermark für die Sensitivitätsszenarien "hoch" (Anpassung: Pflanzenzüchtung zur Abschwächung der negativen Auswirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenertrag um 50%; Minderung: Prämie für Kurzumtriebsplantagen von 300 € je Hektar, Handel mit Wirtschaftsdünger im Ausmaß von 80% der verfügbaren Menge; Abbildung 3 und Übersicht 8).

**Kombiniertes Anpassungs- und Minderungsszenario**

Abbildung 3: Effekte von Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in der Südoststeiermark

Abweichungen vom Business-as-usual-Szenario in Prozentpunkten



Q: Wegener Zentrum, Universität für Bodenkultur. Anpassung: Pflanzenzüchtung zur Abschwächung der Ertragseinbußen infolge des Klimawandels um 50% (hoch). Minderung: Prämie für Kurzumtriebsplantagen von 300 € je ha und Handel mit Wirtschaftsdünger im Ausmaß von 80% der verfügbaren Menge (hoch) auf das BIP.

Übersicht 8: Effekte der Anpassungs- und Minderungsstrategien in der Südoststeiermark

	Anpassung	Minderung	Anpassung und Minderung
Abweichungen vom Business-as-usual-Szenario in Prozentpunkten			
BIP	+ 0,04	+ 0,19	+ 0,31
Wohlfahrt	- 0,08	+ 0,32	+ 0,20
Arbeitslosenquote	- 0,15	- 0,07	- 0,27

Q: Wegener Zentrum, Universität für Bodenkultur.

Das kombinierte Maßnahmenpaket beider Klimastrategien bewirkt im Jahr 2045 einen BIP-Effekt von +0,31% (Abbildung 3). Die Kombination von Anpassungs- und Minderungsstrategien erlaubt somit einen höheren positiven BIP-Effekt als die Maßnahmen im Einzelnen betrachtet. Dies gilt ebenso für die Verringerung der Arbeitslosenquote.

Die Komplexität des Phänomens Klimawandel ergibt sich einerseits durch die regional und sektoral höchst unterschiedlichen Auswirkungen und andererseits durch die Notwendigkeit gleichzeitiger Strategien zur Anpassung wie auch zur Minderung des Klimawandels. Während letztere nur aus einer globalen Perspektive analysiert werden können, werden Anpassungsmaßnahmen auf lokaler, regionaler oder auch nationaler Ebene gesetzt.

Unter diesem Gesichtspunkt liefert die vorliegende Studie regional differenzierte Ergebnisse, die in der Zusammenschau mit anderen Studien in eine umfassende Diskussion einbezogen werden sollten. So können mit der Anwendung auf eine Fallstu-

**Diskussion und Schlussfolgerungen**

dienregion (Südoststeiermark) räumliche Aspekte des Phänomens Klimawandel berücksichtigt werden. Eine Analyse regionaler Klimawandelszenarien und entsprechender Anpassungs- und Minderungsstrategien wird möglich und erhöht die Relevanz der Ergebnisse im Vergleich zu überregionalen Studien. Dank der sequentiellen Koppelung eines regional differenzierten ökonomischen Landnutzungsmodells mit einem regionalen CGE-Modell können zudem Interaktionen zwischen einzelnen Sektoren untersucht und unerwartete Effekte aufgedeckt werden.

Die simultane Analyse von Strategien zur Anpassung und Minderung des Klimawandels kann mögliche Trade-offs oder Synergien aufzeigen. Neben ihrer positiven Funktion im Klimaschutz erweisen sich etwa Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in dieser Studie als geeignet, um vorteilhafte regionalwirtschaftliche Wirkungen zu erzielen. Klimaschutz kann somit einen Beitrag zu einer "Green Economy" leisten, der einen Strukturwandel in Richtung einer kohlenstoffarmen Wirtschaft und einen positiven wirtschaftlichen Nutzen generiert. Diese Ergebnisse müssen sich jedoch noch anhand weiterer regionaler Fallstudien, die auch andere Wirtschaftssektoren berücksichtigen, als robust erweisen.

Dabei ist zudem der globale Kontext regionaler Minderungsstrategien zu beachten. Durch Leakage-Effekte könnte sich die Klimawirkung einer Maßnahme, z. B. der Ausweitung von Kurzumtriebsplantagen, verändern, etwa wenn die Verringerung des Mineralölverbrauches eine Preissenkung und damit eine Konsumausweitung in nicht untersuchten Regionen bewirkt oder die Umnutzung von Ackerland eine Ausweitung in einer nicht berücksichtigten Region zur Folge hat. Die endogene Analyse von Leakage-Effekten bedarf jedoch eines globalen Modellansatzes, der hier bewusst nicht gewählt wurde. Eine mögliche Erweiterung der Studie ergibt sich darüber hinaus durch die Darstellung der Potentiale zur Senkung der Treibhausgasemissionen. Allfällige Politikmaßnahmen könnten dann über ihre Kosten hinaus bewertet werden, d. h. im Rahmen einer Kosteneffektivitätsanalyse oder Kostennutzenanalyse, welche die quantitative Darstellung oder sogar Bewertung des Klimaminderungspotentials erforderlich macht.

## Literaturhinweise

- Armington, P. S., "A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production", International Monetary Fund Staff Papers, 1969, 16, S. 159-178.
- Battisti, D. S., Naylor, N. L., "Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat", Science, 2009, 309, S. 240-244.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Nationaler Biomasseaktionsplan für Österreich, Wien, 2006.
- DAS, Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen, Deutsche Bundesregierung, Berlin, 2008, [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf).
- Déqué, M., "Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values", Global and Planetary Change, 2007, 57, S. 16-26.
- Dudhia, J., Gill, D., Manning, K., Wang, W., Bruyere, C., PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3, Software Manual, NCAR, Boulder, 2004.
- Easterling, W. E., Aggarwal, P. K., Batima, P., Brander, K. M., Erda, L., Howden, S. M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J.-F., Schmidhuber, J., Tubiello, F. N., "Food, fibre and forest products. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability", in Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E. (Hrsg.), Contribution of Working Group II to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge–New York, 2007, S. 272-213.
- EU KLEMS, Growth and Productivity Accounts, Groningen, 2007, <http://www.euklems.com> (abgerufen im Februar 2008).
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., Tebaldi, C., "Linking climate change modelling to impact studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling", International Journal of Climatology, 2007, 27, S. 1547-1578.
- Gobiet, A., Truhetz, H., Riegler, A., A climate scenario for the Alpine region. reclip:more project year 3 – WegCenter progress report, Universität Graz, 2006.
- Haas, R., Kranzl, L., Bioenergie und Gesamtwirtschaft. Analyse der volkswirtschaftlichen Bedeutung der energetischen Nutzung von Biomasse für Heizzwecke und Entwicklung von effizienten Förderstrategien für Österreich, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2002.
- IPCC, "Climate Change 2007: The Physical Science Basis", in Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (Hrsg.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assess-

- ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge–New York, 2007.
- Kabas, T., "Das Klima in Südösterreich 1961-2004: Die alpine Region Hohe Tauern und die Region Südoststeiermark im Vergleich", Wegener Center, Scientific Report, 2005, (4-2005).
- Kammer für Arbeiter und Angestellte für Steiermark, Regionalstatistik Steiermark 2006, Graz, 2007.
- Kletzan, D., Kratena, K., Meyer, I., Sinabell, F., Schmid, E., Stürmer, B., Volkswirtschaftliche Evaluierung eines nationalen Biomasseaktionsplans für Österreich, WIFO, Universität für Bodenkultur, Wien, 2008, <http://www.wifo.ac.at/www/pubid/31219>.
- Koland, O., Steininger, K. W., Gobiet, A., Heinrich, G., Kettner, C., Kurzmann, R., Pack, A., Schmid, E., Themeßl, M., Töglhofer, Ch., Türk, A., Trink, Th. (2008), "Integrated Modelling of the Economy under Climate Change in Application of the Stern Review", in Kromp-Kolb, H., Schwarzl, I. (Hrsg.), StartClim2007. Impacts of Climate Change on Austria: Case Studies, Universität für Bodenkultur Wien, 2008.
- Landesstatistik Steiermark, "Privathaushalte in der Steiermark. Stand Volkszählung 2001 und Entwicklung 1971-2050", Steirische Statistiken, 2007, 3.
- Leggett, J., Pepper, W. J., Swart, R. J., "Emissions Scenarios for the IPCC: An Update", in Houghton, J. T., Callander, B. A., Varney, S. K. (Hrsg.), Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, 1992, S. 69-95.
- Loibl, W., Beck, A., Dorninger, M., Formayer, H., Gobiet, A., Schoener, W., reclip:more – research for climate protection. model run evaluation, Project year 3 – Report 2006, Austrian Institute of Technology, Seibersdorf, 2007.
- Meyer, I., Kettner, C., Kletzan-Slamanig, D., Schmid, E., Schönhart, M., Gobiet, A., Koland, O., Loibnegger, Th., Schmid, Ch., Trink, Th., AMARA – Adequacy of Mitigation and Adaptation Options for a Case Study Region in Austria. The Case for Agriculture and Forestry, WIFO, Wien, 2010, <http://www.wifo.ac.at/www/pubid/38862>.
- Meyer, I., Scheffran, J., "Bioenergie für Klimaschutz und nachhaltige Entwicklung? Potentiale und Grenzen von Biokraftstoffen", Wissenschaft & Umwelt Interdisziplinär, 2008, 11, S. 80-93.
- Meyer, I., Sinabell, F., Agriculture in Climate Change, WIFO, Wien, 2011, <http://www.wifo.ac.at/www/pubid/42331>.
- OECD-FAO, Agricultural Outlook 2009-2018, Paris, 2009.
- Rutherford, Th., Paltsev, S., "GTAP-ENERGY in GAMS: The Dataset and Static Model", University of Colorado, Working Paper, 2000, (00-02).
- Schmid, E., Sinabell, F., "On the choice of farm management practices after the reform of the Common Agricultural Policy in 2003", Journal of Environmental Management, 2007, 82, S. 332-340.
- Smit, B., Skinner, M. W., "Adaptation options in agriculture to climate change: a typology", Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2002, 7, S. 85-114.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, St., O'Mara, F., Rice, Ch., Scholes, B., Sirotenko, O., "Agriculture", in Metz, B., Davidson, O. R., Bosch, P. R., Dave, R., Meyer, L. A. (Hrsg.), Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge–New York, 2007.
- Spiecker, H., Lindner, M., Kahle, H.-P., "Germany", in Kellomäki, S., Karjalainen, T., Mohren, F., Lapveteläinen, T. (Hrsg.), Expert assessment on the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe, European Forest Institute, Joensuu, 2000, S. 65-71.
- Statistik Austria (2004A), Gebäude- und Wohnungszählung 2001. Hauptergebnisse Steiermark, Wien, 2004.
- Statistik Austria (2004B), Volkszählung 2001. Hauptergebnisse Steiermark, Wien, 2004.
- Statistik Austria (2006A), Energiebilanzen 1970-2004, Wien, 2006.
- Statistik Austria (2006B), Einkommens- und Lohnsteuerstatistik, Wien, 2006.
- Statistik Austria (2006C), Aktualisierung der regionalisierten ÖROK-Bevölkerungs-, Erwerbstätigen- und Haushaltsprognose 2001-2031. Teil 1: Bevölkerung und Arbeitskräfte, Wien, 2006.
- Statistik Austria, Statistiken, Wohnungen, Gebäude, [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wohnen\\_und\\_gebaeude/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen_und_gebaeude/index.html) (abgerufen im Februar 2008).
- Steininger, K. W., Kettner, C., Kufleitner, A., Loibnegger, Th., Pack, A., Schleicher, St., Töglhofer, Ch., Trink, Th., "Volkswirtschaftliche Effekte einer erweiterten Biomasse-Energie-Nutzung in der Energieregion Oststeiermark", Wegener Center, Wissenschaftlicher Bericht, 2008, (21-2008).
- Wakonigg, H., Witterungsklimatologie der Steiermark, Dissertation an der Universität Graz, Verlag Notring, Wien, 1970.
- Welsch, H., "Armington Elasticities for Energy Policy Modelling: Evidence from Four European Countries", Energy Economics, 2008, 30, S. 2252-2264.
- Wissema, W. W., Dellink, R. B., "AGE analysis of the impact of a carbon energy tax on the Irish economy", Ecological Economics, 2007, 61, S. 671-683.
- Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU), Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Zusammenfassung für Entscheidungsträger, Berlin, 2008.
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer, W., "Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme", Climate Change, 2005, (08/05).

*Effects on Regional Economic Performance of Agricultural Adaptation and Mitigation Strategies in Response to Climate Change – Summary*

The article analyses the combined impacts of mitigation and adaptation strategies of agriculture on the economic performance in a case study region in Austria (South-Eastern Styria). With respect to mitigation the focus is on boosting the use of biomass as an energy carrier in order to substitute fossil fuel in heat generation. Adaptation is considered in the agricultural sector by using new crop varieties and technologies in order to reduce adverse impacts from climate change and thus stabilise agricultural output. Results show that both mitigation and adaptation are climate strategies suitable to compensate for climate-induced economic losses. At the same time, these strategies contribute to a low-carbon economy.