

CLIMATE CHANGE

15/2020

Folgen des globalen Klimawandels für Deutschland

Abschlussbericht: Analysen und Politikempfehlungen

CLIMATE CHANGE 15/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3716 48 102 0

FB000266

Folgen des globalen Klimawandels für Deutschland

Abschlussbericht: Analysen und Politikempfehlungen

von

Martin Peter, Madeleine Guyer Dr. Jürg Füssler
INFRAS AG, Zürich

Assoz. Prof. Dr. Birgit Bednar-Friedl, Nina Knittel, Dr. Bachner Gabriel
Wegener Center für Klima und Globalen Wandel/Universität Graz

Prof. Dr. Reimund Schwarze
Europa-Universität Viadrina, Frankfurt/Oder

Dr. Moritz von Unger
Atlas Environment Law Advisory, Brüssel/Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

INFRAS AG
Binzstrasse 23
8045 Zürich
Schweiz

in Zusammenarbeit mit
Wegener Center für Klima und Globalen Wandel/Universität Graz;
Prof. Dr. Reimund Schwarze, Europa-Universität Viadrina, Frankfurt/Oder;
Dr. Moritz von Unger, Atlas Environment Law Advisory, Brüssel/Berlin.

Abschlussdatum:

April 2020

Redaktion:

Fachgebiet I1.6 KomPass - Klimafolgen und Anpassung
Fachbegleitung Clemens Haße

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Folgen des globalen Klimawandels für Deutschland

Der Klimawandel wirkt sich auf die Häufigkeit, Intensität und das regionale Auftreten von Extremwetterereignissen sowie auf graduelle klimatische Veränderungen aus. Auch wenn Klimawandelfolgen regional beschränkt auftreten, breiten sie sich aufgrund der globalen physischen und wirtschaftlichen Verflechtungen über politische Grenzen hinweg aus. Je nach Ausmaß seiner globalen Vernetzung und Interaktion mit anderen vulnerablen Ländern, kann ein Land indirekt von den internationalen Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein. Dies gilt sowohl für entwickelte Länder als auch für Entwicklungsländer. Diese internationalen Auswirkungen des globalen Klimawandels können speziell für stark mit der Weltwirtschaft verflochtene Länder, wie Deutschland, von Relevanz sein.

Der vorliegende Bericht präsentiert die Ergebnisse des mehrjährigen Forschungsprojekts Impact CHAIN im Auftrag des Umweltbundesamts. Die Forschenden des Vorhabens zeigen:

- Über welche Wirkungsketten der globale Klimawandel auf die deutsche Volkswirtschaft wirkt und wie relevant die unterschiedlichen Typen von Wirkungsketten sind (qualitative Analysen).
- Durch die Quantifizierung und Modellierung ausgewählter Wirkungsketten wird die Exposition und Relevanz der internationalen Einflüsse des Klimawandels im Vergleich zu den nationalen Auswirkungen aufgezeigt.
- Weiter wurde untersucht, welche Anpassungsmaßnahmen bzw. -instrumente angesichts der Exposition gegenüber den wichtigen internationalen Effekten möglich und geeignet wären und wie diese in den EU-Finanzrahmen eingebettet werden könnten.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte mittels einer Szenarienanalyse für Deutschland gezeigt werden, dass Klimawandelfolgen, die außerhalb Europas entstehen, deutlich stärker über den Welthandel auf Deutschlands Volkswirtschaft wirken als Klimawandelfolgen, die innerhalb Europas entstehen. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass EU-Regionen im Vergleich zum Rest der Welt weniger stark von direkten Klimawandelfolgen betroffen sind.

Ähnliche Untersuchungen für Großbritannien und die Schweiz bestätigen die Schlussfolgerung der vorliegenden Studie für Deutschland, dass die Auswirkungen des Klimawandels allein über den Außenhandel mindestens gleichbedeutend sind wie die ökonomischen Folgen des Klimawandels innerhalb der Landesgrenzen.

Abstract: Impacts global climate change for Germany

Climate change will affect the frequency, intensity and regional occurrence of extreme weather events and lead to gradual climatic changes. Although climate change impacts appear locally at first, they spread beyond political borders due to the global physical and economic interconnectedness. Depending on a country's extent of global interdependence and interaction with vulnerable countries, it may face the indirect consequences of the international impacts of climate change. These affect both developed and developing countries. The international impacts of global climate change can be of particular relevance for countries with a high level of globalization in its national economy, such as Germany.

This report presents the results of the research project Impact CHAIN commissioned by the Federal Environment Agency. The researchers of the project show

- how global climate change affects the German economy via various international impact chains and how relevant the different types of impact chains are (qualitative analyses).
- By quantifying and modelling selected impact chains, the relevance of the international impacts of climate change for the German economy and its exposure in comparison to the national impacts are demonstrated.
- Furthermore, potential appropriate adaptation measures or instruments against these international effects are identified and their embedding in the EU financial framework is analyzed.

Using a scenario analysis for Germany, this research project indicates that Germany's economy is much more affected by climate change impacts that occur outside Europe via international trade than by climate change impacts that occur within Europe. This effect is due to the fact that EU regions are less affected by direct climate change impacts than the rest of the world.

Similar studies for the United Kingdom and Switzerland confirm the conclusion of the present study for Germany. The effects of climate change through foreign trade alone are at least as significant as the economic consequences of climate change within national borders.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	12
Zusammenfassung.....	13
Summary.....	16
1 Internationale Einflüsse des Klimawandels und Impact CHAIN.....	19
2 Der globale Klimawandel wirkt auf die deutsche Volkswirtschaft.....	21
3 Methodik zur modellgestützten Auswirkungsanalyse.....	25
3.1 Einleitung.....	25
3.2 Das makroökonomische Modell.....	26
3.3 Klimatische und sozioökonomische Szenarien.....	29
3.4 Abbildung der Wirkungsketten im Modell.....	30
3.5 Einschränkungen in der quantitativen Modellierung.....	34
3.6 Modelloutput-Größen.....	35
4 Ergebnisse.....	36
4.1 Handelsverflechtungen im Basisszenario 2050 ohne Klimawandel.....	36
4.2 Klimawandeleffekte durch Meeresspiegelanstieg.....	38
4.3 Klimawandeleffekte durch Veränderung der Arbeitsproduktivität.....	43
4.4 Klimawandeleffekte durch Veränderung landwirtschaftlicher Erträge.....	49
4.5 Veränderungen auf der Exportseite Deutschlands durch Kaufkraftverluste im Ausland sowie Zusammenspiel der modellierten Effekte (Gesamtlauf).....	55
4.6 Einordnung der Ergebnisgrößen.....	61
5 Unsicherheitsanalyse und Robustheitschecks.....	63
5.1 Modellunsicherheiten des Gesamtlaufes.....	63
5.2 Klimawandelfolgen treten nur außerhalb Europas auf.....	65
5.3 Ausschöpfung von Anpassungskapazitäten und deren Effekte.....	66
5.4 Mögliche Auswirkungen bis 2100.....	69
Auswirkungen durch Meeresspiegelanstieg.....	69
Veränderungen der Arbeitsproduktivität.....	71
Veränderung landwirtschaftlicher Erträge.....	73
Zusammenfassende Bemerkungen.....	75
6 Schlussfolgerungen aus der quantitativen Analyse.....	76
7 Einbettung der Resultate.....	79

8	Regionale und sektorale strategische Ausrichtungen in der Handels- und Klimapolitik	81
9	Direkte Empfehlungen.....	85
10	Umsetzung und Verbindung mit der DAS	94
11	Europäische Finanzierungsmöglichkeiten	101
12	Quellenverzeichnis	105
13	Anhang	109

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht der Wirkungsketten	22
Abbildung 2:	Ökonomische Risiken und Chancen beim Import (I)	23
Abbildung 3:	Ökonomische Risiken und Chancen beim Export (E).....	23
Abbildung 4:	Modellstruktur des COIN-INT Modells	27
Abbildung 5:	Verteilung der deutschen Importe und Exporte auf Regionen	37
Abbildung 6:	Entwicklung der Überflutungsschäden	38
Abbildung 7:	Jährlich von Überflutung betroffenen Menschen (Erwartung)	39
Abbildung 8:	Veränderung von BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg	40
Abbildung 9:	Veränderung von Importen und Exporten Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg	42
Abbildung 10:	Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg	43
Abbildung 11:	Veränderungen in der Arbeitsfähigkeit für Innenräume (linke Spalte) und im Freien (rechte Spalte).....	44
Abbildung 12:	Veränderung von BIP und Wohlfahrt im Jahr 2050 durch Rückgang der Arbeitsproduktivität.....	45
Abbildung 13:	Veränderung von Importen (oben) und Exporten (unten) Deutschlands im Jahr 2050 durch Rückgang der Arbeitsproduktivität	46
Abbildung 14:	Absolute Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelsaldos Deutschlands im Jahr 2050 durch Rückgang der Arbeitsproduktivität	47
Abbildung 15:	Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen der Arbeitsproduktivität	48
Abbildung 16:	Relative Änderung der landwirtschaftlichen Erträge	50
Abbildung 17:	Veränderung von sektoralen Umsätzen im Jahr 2050 durch klimawandelinduzierte Ertragsveränderungen in der Landwirtschaft	51
Abbildung 18:	Veränderung von BIP und Wohlfahrt im Jahr 2050 durch klimawandelinduzierte Ertragsveränderungen in der Landwirtschaft	52
Abbildung 19:	Veränderung von Importen und Exporten Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen landwirtschaftlicher Erträge.....	53
Abbildung 20:	Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen landwirtschaftlicher Erträge	54
Abbildung 21:	Veränderung von Wohlfahrt (links) und BIP (rechts) im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft	56

Abbildung 22:	Veränderung der deutschen Exportvolumina nach Regionen und Sektorgruppen absolut sowie relativ im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft	58
Abbildung 23:	Veränderung von Importen und Exporten Deutschlands in absoluten Größen (links) und relativen Größen (rechts) im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft	59
Abbildung 24:	Absolute und relative Veränderung der Importe und Exporte Deutschlands im Jahr 2050.....	60
Abbildung 25:	Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft.....	61
Abbildung 26:	Absolute Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelssaldos Deutschlands im Jahr 2050.....	64
Abbildung 27:	Absolute und relative Veränderung der Importe und Exporte Deutschlands im Jahr 2050 je Handelspartner im Gesamtlauf unter der Annahme, dass Klimawandelfolgen nur außerhalb Europas auftreten.....	65
Abbildung 28:	Veränderung von BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch den gesamten Effekt der Wirkungsketten unter Ausschöpfung der Anpassungskapazitäten und ohne Anpassung	67
Abbildung 29:	Absolute Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelssaldos Deutschlands im Jahr 2050 im Gesamt-lauf und unter der Annahme mit und ohne Anpassung	68
Abbildung 30:	Relative Änderungen von Überflutungskosten	70
Abbildung 31:	Relative Änderungen von Überflutung betroffener Menschen	71
Abbildung 32:	Relative Änderungen der Arbeitsfähigkeit schwerer Tätigkeiten im Freien.....	73
Abbildung 33:	Relative Änderungen landwirtschaftlicher Erträge	74
Abbildung 34:	Veränderung von BIP und Wohlfahrt im Jahr 2050.....	81
Abbildung 35:	Veränderung von Importen und Exporten Deutschlands im Jahr 2050 durch das Zu-sammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft	83
Abbildung 36:	Budgetplanung der EU mit ESI-Fonds und für Deutschland („D“) vorgesehene Mittel. Zahlen sind gerundet	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Regionen im COIN-INT Modell	28
Tabelle 2:	Sektoren im COIN-INT Modell	29
Tabelle 3:	Im COIN-INT Modell abgebildete Auswirkungen des globalen Klimawandels.....	32
Tabelle 4:	Beschreibung der Modelloutput-Größen	35
Tabelle 5:	Vergleich der Modellergebnisse mit anderen relevanten Schadensereignissen	62
Tabelle 6:	Überlick zur Literatur transnationaler Effekte des globalen Klimawandels.....	79
Tabelle 7:	Handlungsbedarf in Bezug zur DAS	98
Tabelle 8:	Übersicht zu Förderschwerpunkten	103
Tabelle 9:	Detaillierte Zuordnung von Ländern zu Modellregionen	109
Tabelle 10:	Detaillierte Zuordnung von Sektoren zu Sektorgruppen	110

Abkürzungsverzeichnis

APA	Aktionsplan Anpassung
BIP	Brutto Inlandprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CDP	Carbon Disclosure Project
CGE	Computable General Equilibrium Model
CRI	Germanwatch Global Climate Risk Index
Destatis	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
DIVA	Dynamic and Interactive Vulnerability Assessment, Überflutungsmodell
EFRE	Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EMFF	Europäische Meeres- und Fischereifonds
EPIC	The Environmental Policy Integrated Model, Landwirtschaftsmodell
EU	Europäische Union
ESI	Europäischer Struktur- und Investitionsfonds
FHA	Freihandelsabkommen
GTAP	Global Trade Analysis Project, Datenbank
IAM	Integrated Assessment Model
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis
ISIMIP	Inte-Sectoral Impact Model
ND-GAIN	Notre Dame Climate Change Index
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
SSP	Sozioökonomische Szenarien
TCFD	Task Force on Climate related Financial Disclosure
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WK	Wirkungskette

Zusammenfassung

Durch den Klimawandel verändert sich die Häufigkeit, Intensität und das regionale Auftreten von Extremwetterereignissen und es kommt zu graduellen klimatischen Veränderungen. Auch wenn Klimawandelfolgen regional beschränkt auftreten, breiten sie sich aufgrund der globalen physischen und wirtschaftlichen Verflechtungen über politische Grenzen hinweg aus. Das Klimaabkommen von Paris hält deshalb fest, dass Anpassung an den Klimawandel eine globale Herausforderung sei. Dieser internationalen Dimension von Anpassung ist bislang jedoch noch wenig Rechnung getragen worden. Bisher wurden die Auswirkungen des Klimawandels meist nur innerhalb nationaler Grenzen betrachtet und untersucht. Je nach Ausmaß seiner globalen Vernetzung und Interaktion mit anderen vulnerablen Ländern, kann ein Land jedoch auch indirekt von den internationalen Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein. Dies gilt sowohl für entwickelte Länder als auch für Entwicklungsländer. Diese transnationalen Auswirkungen des globalen Klimawandels können gerade für stark mit der Weltwirtschaft verflochtene Länder, wie Deutschland, von besonderer Relevanz sein.

Der vorliegende Bericht präsentiert die Ergebnisse des mehrjährigen Forschungsprojekts Impact CHAIN im Auftrag des Umweltbundesamts. Die Forschenden des Vorhabens zeigen:

- Über welche Wirkungsketten der globale Klimawandel auf die deutsche Volkswirtschaft wirkt und wie relevant die unterschiedlichen Typen von Wirkungsketten sind (qualitative Analysen). Die qualitativen Analysen wurde als Teilbericht (Peter et al. 2019)¹, veröffentlicht.
- Durch die Quantifizierung und Modellierung ausgewählter Wirkungsketten wird die Exposition und Relevanz der internationalen Einflüsse des Klimawandels im Vergleich zu den nationalen Auswirkungen aufgezeigt.
- Weiter wurde untersucht, welche Anpassungsmaßnahmen bzw. -instrumente angesichts der Exposition gegenüber den wichtigen internationalen Effekten möglich und geeignet wären und wie diese in den EU-Finanzrahmen eingebettet werden könnten.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte mittels einer Szenarienanalyse für Deutschland gezeigt werden, dass Klimawandelfolgen, die außerhalb Europas entstehen, deutlich stärker über den Welthandel auf Deutschlands Volkswirtschaft wirken als Klimawandelfolgen, die innerhalb Europas entstehen. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass EU-Regionen im Vergleich zum Rest der Welt weniger stark von den direkten Klimawandelfolgen betroffen sind.

Ähnliche Untersuchungen für Großbritannien und die Schweiz bestätigen diese Schlussfolgerung der vorliegenden Studie für Deutschland, dass die Auswirkungen des Klimawandels allein über den Außenhandel mindestens gleichbedeutend sind wie die ökonomischen Folgen des Klimawandels innerhalb der Landesgrenzen. Die wirtschaftlich negativen Effekte im EU-Raum fallen wesentlich geringer aus als in Regionen außerhalb der EU, welche starke Einbußen aufweisen.

Für Regionen außerhalb der EU wird ersichtlich, dass die drei in die Modellanalyse einbezogenen Wirkungsketten (‘Veränderung der Arbeitsproduktivität’, ‘Veränderung landwirtschaftlicher Erträge’ sowie ‘Anstieg des Meeresspiegels (inkl. Anpassung)’) des Klimawandels v.a. in China, Indien, Süd- und Südostasien, dem mittleren Osten und Afrika starke Einbußen in der Wohlfahrt und im Bruttoinlandsprodukt (BIP) nach sich ziehen. Die Kaufkraft

¹ <https://www.umweltbundesamt.de/globale-klimafolgen-die-deutsche-wirtschaft-0>

der Länder in diesen Regionen sinkt gegenüber der Referenzentwicklung ohne Klimaänderung erheblich mit beträchtlichen indirekten negativen Folgen für Deutschland als Handelspartner.

Die transnationalen Auswirkungen des globalen Klimawandels lassen sich jedoch nicht durch eine generelle Reduktion der internationalen Handelsbeziehungen abfedern. Eine solche Strategie könnte auch in Deutschland zu wesentlichen Wohlstandseinbußen führen. Weltweiter Handel und Arbeitsteilung in der Produktion von Waren und Dienstleistungen bauen auf den relativen Stärken aller Länder auf. Zudem führen sie zu einer Vernetzung, welche für die soziale und politische Stabilität der Welt zentral ist.

Die Resilienz der deutschen Wirtschaft lässt sich jedoch durch eine stärkere Diversifizierung bzw. Restrukturierung der globalen Handelsbeziehungen verbessern. Diese muss mit einer gezielten Unterstützung von Anpassungsmaßnahmen in den stark betroffenen Weltregionen einhergehen, die für Deutschland bezüglich Zuliefer- und Absatzmärkte wichtig und schwer substituierbar sind. Dazu zählen besonders Schwellenländer in Süd- und Südostasien sowie China. Basierend auf diesen Überlegungen und den Analysen aller modellierter Wirkungsketten folgt die Empfehlung einer gezielten regionalen Kombination von handels- und klimapolitischen Maßnahmen zur Minimierung der negativen transnationalen Effekte auf die Wohlfahrt und das BIP in Deutschland:

1a) eine strategische Stärkung des deutschen Handels mit Weltregionen, die geringe transnationale Übertragungseffekte bedingen (insbes. EU, Türkei, Nordamerika).

1b) eine breitere Diversifizierung der betrieblichen Wertschöpfungsketten, um weniger von einzelnen (vulnerablen) Ländern abhängig zu sein,

bei gleichzeitiger

2) strategischer Unterstützung von Anpassungsmaßnahmen in Weltregionen, die besonders starke negative transnationale Klimawandelfolgen auslösen (insbes. China, Indien, Südostasien) im Rahmen einer deutschen „Klimaaußenpolitik“. Die Industrienationen haben zudem auch als Hauptverursacher des Klimawandels zentrale Verantwortung Klimaschutz und Klimaanpassung in den stärker betroffenen Weltregionen stark zu unterstützen.

Anzustreben ist eine Kombination von Handelsstärkung mit ausgewählten Regionen – wir sprechen von „Strategischer Handelsdifferenzierung“ – und gezielter Förderung von Klimaanpassung in Schwellenländern.

Die Importe Deutschlands weisen unter den betrachteten Klimawandelszenarien stärkere Einbußen auf als die Exporte. Dies kann die Produktionsketten deutscher Unternehmen je nach Branche verschieden stark beeinträchtigen. Bei den Importen ist in der Modellierung erkennbar, dass Deutschland die Importgüter, welche wegen des weltweiten Klimawandels weniger aus Regionen außerhalb der EU kommen, vermehrt aus dem EU-Raum bezieht. Bei den Exporten zeigt die Modellierung, dass „Dienstleistungen und Bauwesen“ deutlich weniger Nachfrage aus dem Ausland aufweisen, Deutschland dagegen bei Maschinen und elektronischen Geräten (Ingenieursleistungen) sowohl aus den EU als auch Nicht-EU-Ländern eine stärkere Nachfrage erfährt. In diesem Sektor gilt es besonders, die technologische Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, um die Wohlfahrts- und Produktionseinbußen in Deutschland zu minimieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass Deutschland gegenüber dem weltweiten Klimawandel spürbar exponiert ist. Dies betrifft deutsche Unternehmen einerseits in ihren internationalen

Absatzmärkten (Exporte) und andererseits vor allem beim Import wichtiger Vorleistungsgüter für die Produktionsprozesse im Inland. Die Studienergebnisse können für Wirtschaftsakteure Anlass geben, ihre Strategien der Handelsverflechtungen zu überprüfen und nach Möglichkeiten zu suchen, die Risiken der klimaseitigen Exposition der Vorleistungsbezüge zu diversifizieren sowie eine Minderung erheblicher Abhängigkeiten von Einzelstoffen aus stark klimaexponierten Ländern zu erreichen. Als Folge davon dürfte der Globalisierungsgrad der Produktion von Waren künftig eher etwas abnehmen.

In der Analyse aller Wirkungsketten lässt sich die Empfehlung einer gezielten sektoralen Kombination von handels- und klimapolitischen Maßnahmen zur Verringerung der negativen transnationalen Effekte auf die Wohlfahrt und das BIP in Deutschland ableiten:

A) Bei zu geringem betrieblichem Fokus auf langfristige Herausforderungen des Klimawandels in der Technologieentwicklung, eine Förderung und strategische Stärkung der Rahmenbedingungen des Handels mit Maschinenbau- und Elektronikwaren, einer traditionellen Stärke der deutschen Außenwirtschaft (Strategie „Stärken stärken“),

bei gleichzeitiger

B) strategischer Unterstützung von Anpassungsmaßnahmen zur Stabilisierung der Nachfrage nach Dienstleistungs-, Bau- und sonstigen Industriewaren (außerhalb der Maschinen- und Elektronikbranche) in Nicht-EU-Ländern.

Anzustreben ist eine Kombination von „Stärken stärken“ (in der sektoralen Handelspolitik) und „Branchen-Absatzeinbußen dämpfen“ (durch Förderung von Klimawandelanpassung und der Anpassungskapazität in den Nicht-EU-Ländern).

Bei der Fortschreibung der DAS sollten die grenzüberschreitenden Auswirkungen des weltweiten Klimawandels wegen deren hohen Relevanz für Deutschland aufgenommen werden. Dazu sollte ein eigenes Kapitel in der DAS verankert werden, das vertieft, wo in diesem Thema staatliches Handeln angezeigt ist. Zum anderen sollten in dem neuen Kapitel die bestehenden Handlungsfelder der DAS genannt werden, für welche grenzüberschreitende Komponenten relevant und staatliches Handeln angezeigt sind. Wir sehen insbesondere im Handlungsfeld Industrie- und Gewerbeunternehmen mit relevantem Außenhandel (wichtige Importe und/oder wichtige Absatzgebiete in klimavulnerablen Ländern) und dem Handlungsfeld Energie Bedarf für staatliche Aktivitäten. Auf der EU-Ebene bestehen Finanzierungsmöglichkeiten für den verstärkten Einbezug der transnationalen Klimafolgen. Mindestens 20% des EU-Budgets müssen für klimabezogene Maßnahmen aufgewendet werden (Europäischer Rat 2013; Europäisches Parlament 2013). Die Europäischen Struktur- und Investitionsfonds der Union stellen dabei ein wichtiges Gefäß dar. Die bisher finanzierten Projekte verengen den Anpassungsbegriff auf die unmittelbaren örtlichen Auswirkungen steigender Temperaturen und Wetterextremereignissen. Es bleibt abzuwarten, ob für die Mittelvergabe unter dem neuen mehrjährigen Finanzrahmen (2021-2027) die Anpassung in breiterer Perspektive in den Blick rückt.

Summary

Climate change will affect the frequency, intensity and regional occurrence of extreme weather events and lead to gradual climatic changes. Although climate change impacts appear locally at first, they spread beyond political borders due to the global physical and economic interconnectedness. The Paris climate agreement therefore states that adaptation to climate change is a global challenge. However, this international dimension of adaptation has not yet been taken into account. This is also due to the fact that the effects of climate change are usually only considered and examined within national borders. Depending on a country's extent of global interdependence and interaction with vulnerable countries, it may face the indirect consequences of the international impacts of climate change. These affect both developed and developing countries. The transnational impacts of global climate change can be of particular relevance for countries with a high level of globalization in its national economy, such as Germany.

This report presents the results of the research project Impact CHAIN commissioned by the Federal Environment Agency. The researchers of the project show

- how global climate change affects the German economy via various international impact chains and how relevant the different types of impact chains are (qualitative analyses). The qualitative analysis has been published in a first report (Peter et al. 2019)²
- By quantifying and modelling selected impact chains, the relevance of the international impacts of climate change for the German economy and its exposure in comparison to the national impacts are demonstrated.
- Furthermore, potential appropriate adaptation measures or instruments against these international effects are identified and their embedding in the EU financial framework is analyzed.

Using a scenario analysis for Germany, this research project indicates that Germany's economy is much more affected by climate change impacts that occur outside Europe via international trade than by climate change impacts that occur within Europe. This effect is due to the fact that Germany has a highly globalized national economy and EU regions are less affected by direct climate change impacts than the rest of the world.

Similar studies for the United Kingdom and Switzerland confirm the conclusion of the present study for Germany. The effects of climate change through foreign trade alone are at least as significant as the economic consequences of climate change within national borders. The negative economic effects in the EU area are much less pronounced than in regions outside the EU, which suffer heavy losses.

For regions outside the EU, the three climate change impact chains included in the model analysis ('change in labour productivity', 'change in agricultural yields' and 'rise in sea level (incl. adaptation)') result in major losses in welfare and gross domestic product, especially in China, India, South and Southeast Asia, the Middle East and Africa. The purchasing power of the countries in these regions decreases considerably compared to the reference development without climate change, with substantial indirect negative consequences for Germany as a trading partner.

² <https://www.umweltbundesamt.de/globale-klimafolgen-die-deutsche-wirtschaft-0>

However, the transnational effects of global climate change cannot be absorbed by a general reduction in international trade relations. Such a strategy could lead to substantial losses of economic prosperity also in Germany. Global trade and the division of labour in the production of goods and services build on the relative strengths of all countries. They also lead to network that is central to the social and political stability of the world.

The resilience of the German economy can be achieved by a stronger diversification resp. restructuring of global trade relations. This must be accompanied by targeted support for adaptation measures in the severely affected regions of the world, which are important for Germany in terms of supply and sales markets and are difficult to substitute. These include in particular emerging economies in South and Southeast Asia and China. Based on these considerations and the analysis of all impact chains leads to the recommendation of a targeted regional combination of trade and climate policy measures to minimise the negative transnational effects on welfare and GDP in Germany:

1a) a strategic strengthening of German trade relations with world regions with low transfer effects for transnational climate risks (especially EU, Turkey, North America).

1b) a broader diversification of the value chains of enterprises in order to be less dependent on individual (vulnerable) countries,

with simultaneous

2) strategic support for adaptation measures in world regions that trigger particularly strong negative transnational trade effects in climate change (especially China, India, Southeast Asia) within the framework of a German "climate foreign policy".

The aim should be a combination of strengthening trade with selected regions - we speak of "strategic trade differentiation" - and targeted promotion of climate adaptation in emerging countries.

Overall, Germany's imports have suffered greater losses than its exports under the considered climate change scenarios. This can affect the production chains of German companies to varying degrees, depending on the sector. With regard to imports, the modeling indicates that Germany is increasingly sourcing its imported goods from the (relatively less vulnerable) EU, and less from (more vulnerable) regions outside the EU due to global climate change. In the case of exports, the model results show that demand for "services and construction" from abroad is significantly lower, while Germany is experiencing stronger demand for machinery and electronic equipment (engineering services) from both the EU and non-EU countries. In this sector, it is particularly important to maintain technological competitiveness in order to minimise welfare and production losses in Germany.

The results show that Germany is noticeably exposed to global climate change. This affects German companies both in their international sales markets (exports) and, above all, in the import of important intermediate goods for domestic production processes. The study can give cause to economic actors to review their strategies of trade integration and look for ways to diversify the risks of the climate-related exposure of intermediate inputs and to achieve a reduction of considerable dependencies on individual substances from countries with high climate exposure. As a result, the degree of globalisation in the production of goods is likely to decrease somewhat in the future.

The analysis of all impact chains leads to the recommendation of a targeted sectoral combination of trade and climate policy measures to reduce the negative transnational effects on welfare and GDP in Germany:

A) With too little operational focus on the long-term challenges of climate change in technology development, a promotion and strategic strengthening of the framework conditions for trade in mechanical and electronic engineering goods, a traditional strength of the German foreign economy ("Strengthening strengths" strategy),

with simultaneous

B) strategic support for adaptation measures to stabilise demand for services, construction and other industrial goods (other than machinery and electronics) in non-EU countries.

A combination of "strengthening strengths" (in sectoral trade policy) and "mitigating sectoral demand losses" (by promoting climate change adaptation and adaptation capacity in non-EU countries) is recommended.

1 Internationale Einflüsse des Klimawandels und Impact CHAIN

Der Einfluss des Klimawandels auf die Häufigkeit, Intensität und regionalen Vorkommnisse von Extremwetterereignissen sowie auf schleichende klimatische Veränderungen ist unbestritten. Zudem wirken Klimawandelfolgen auf alle Länder unabhängig ihrer politischen Grenzen. Das Klimaabkommen von Paris hält deshalb fest, dass Anpassung an den Klimawandel eine globale Herausforderung darstellt. Dieser internationalen Dimension von Anpassung ist bis anhin jedoch erst wenig Rechnung getragen worden. Bisher wurden die Auswirkungen des Klimawandels meist nur innerhalb nationaler Grenzen betrachtet und untersucht. Je nach Ausmaß seiner globalen Vernetzung und Interaktion mit anderen vulnerablen Ländern, kann ein Land allerdings auch indirekt von den internationalen Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein. Dies gilt sowohl für entwickelte Länder als auch für Entwicklungsländer. Diese internationalen Auswirkungen des globalen Klimawandels können speziell für stark mit der Weltwirtschaft verflochtene Länder, wie Deutschland, von Relevanz sein.

In der Literatur (Kohli et al. 2019, Benzie et al. 2016; Bräuer et al. 2009; Schwank et al. 2007) werden mehrere internationale Einflusskanäle genannt, über welche der globale Klimawandel auf ein westeuropäisches Land wirken kann, beispielsweise über die Finanzmärkte (Devisen- und Kapitalmarkt), Handelsströme (Import, Export), biophysikalischen Einflüsse, Arbeit und Migration (siehe Steinemann et al. 2016), Gesundheit, Technologie, Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen oder geopolitische Risiken, etc. Deutschland ist ein Land mit besonders vitalen internationalen Handelsbeziehungen, einer ausgeprägten globalen Arbeitsteilung, stark verflochtenen industriellen Fertigungsprozessen sowie einer hohen Bedeutung von Importen (insbesondere Rohstoffe, Nahrungsmittel, Vorprodukte) und Exporten (insbesondere Kraftwagen, Maschinen, chemische Erzeugnisse).

Im Vergleich zu vielen seiner Handelspartner – etwa den asiatischen Schwellenländern – ist Deutschland weniger vulnerabel gegenüber den direkten Auswirkungen des Klimawandels. Die Auswirkungen des Klimawandels können jedoch über Veränderungen in den Vorleistungsketten oder Absatzmärkten volkswirtschaftliche Auswirkungen im Inland verursachen. Generell kann das Ignorieren von Spillover-Effekten des Klimawandels, die durch den Außenhandel entstehen, zu einer systematischen Unterschätzung des Klimawandelrisikos sowie auch den Möglichkeiten zur Anpassung für Deutschland führen. Die Betrachtung der Auswirkungen internationaler Effekte über den Einflusskanal „Handelsströme“ ist demnach für Deutschland zentral.

Das Thema hat vor allem in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. In verschiedenen Studien und Forschungsprojekten werden die internationalen Auswirkungen des Klimawandels, vor allem auf nord- und mitteleuropäische Länder (Finnland, Großbritannien, Niederlande, Schweden, Norwegen, Deutschland, Schweiz (Kohli et al. 2019) und die EU) untersucht. Die Bedeutung des Themas nimmt aber auch für Entwicklungsländer zu. Generell birgt die internationale Dimension von Klimawandel auch Potenzial für mehr Zusammenarbeit sowohl zwischen EU Mitgliedstaaten als auch zwischen der EU und anderen Ländern (Berry Pam, Betts Richards, Harrison Paula, Sanchez-Arcilla Agustin 2017).

Das mehrjährige Forschungsprojekt „ImpactCHAIN“ untersuchte im Auftrag des Umweltbundesamtes, wie Deutschlands Außenhandel von internationalen Klimaauswirkungen betroffen ist. Erste Ergebnisse zum Vorhaben wurden in Peter et al. 2018 und 2019 veröffentlicht. Um der Komplexität des Themas und der schlechten Datenverfügbarkeit gerecht zu werden, verbindet ImpactCHAIN Bottom-up-Ansätze der Identifizierung und Quantifizierung von möglichen Wirkungsketten mit einem umfassenden Top-down-Ansatz der ökonomischen

Modellierung des Einflusses verschiedener Klimaszenarien auf die globalen wirtschaftlichen Verflechtungen, mit Hilfe eines allgemeinen Gleichgewichtsmodelles.

Kapitel 2 des vorliegenden Schlussberichts gibt eine Übersicht über die identifizierten Wirkungsketten und wie diese auf die deutsche Volkswirtschaft wirken (qualitative Analyse). Kapitel 3 und 4 beschreiben die quantitative Analyse und die Methodik zur modellgestützten Auswirkungsanalyse. Kapitel 5 und 6 zeigen die Ergebnisse und Unsicherheitsanalysen der Modellierung auf. Dadurch wird die Exposition und Relevanz der internationalen Einflüsse des Klimawandels im Vergleich zu den nationalen Auswirkungen aufgezeigt. Kapitel 8 vergleicht die Ergebnisse mit Resultaten anderer Studien. Kapitel 9 und 10 setzen die Resultate des Vorhabens in Bezug zu möglichen Anpassungsmassnahmen bzw. -instrumenten. Kapitel 11 und 12 zeigen, wie die Resultate in Verbindung mit der Deutschen Anpassungsstrategie gebracht werden können und wie die Resultate in den EU-Finanzrahmen eingebettet werden könnten.

Das Vorhaben wurde unter der Projektleitung von INFRAS AG (Dr. J. Füssler, M. Peter, M. Guyer) in enger Zusammenarbeit mit Partnerorganisationen durchgeführt. Das Wegener Center der Universität Graz (Prof. B. Bednar-Friedl, N. Knittel, Dr. G. Bachner) führte die Arbeiten bezüglich der Quantifizierung und ökonomischen Modellierung von Wirkungszusammenhängen durch. Prof. M. von Unger (Atlas Environmental Law Advisory) unterstützt das Forschungsteam bei Fragen der Einbettung der Aktivitäten in den europäischen Finanzrahmen. Prof. R. Schwarze von der Europauniversität Viadrina in Frankfurt war für die Einbettung der Massnahmen in den europäischen Policy Kontext zuständig.

2 Der globale Klimawandel wirkt auf die deutsche Volkswirtschaft

Die qualitativen Analysen (Peter et al. 2018 und 2019), welche als Teilbericht³ aus dem Vorhaben Impact CHAIN veröffentlicht wurde, zeigen anhand von verschiedenen Wirkungsketten, wie sich klimatische Veränderungen in vulnerablen Import- bzw. Exportländern auf Deutschland auswirken und welche potentiellen ökonomischen Risiken und Chancen damit für Deutschland verbunden sind.

Auch in Deutschland werden die direkten Auswirkungen des Klimawandels zukünftig stärker spürbar sein, so etwa bezüglich Extremwetterereignissen, Überschwemmungen, Hitzeperioden, Phasen extremer Trockenheit und Waldbränden. Gegenüber anderen Regionen der Welt ist die Bundesrepublik allerdings weniger klimavulnerabel. Einerseits sind die Klimawirkungen in Zentraleuropa an sich schon weniger stark, vor allem im Vergleich zu besonders betroffenen Regionen in Asien, Afrika oder Südamerika. Andererseits hat Deutschland als hochindustrialisierte Volkswirtschaft wesentlich mehr Ressourcen, um sich an klimabedingte Risiken anzupassen und sich im Schadensfall schneller zu erholen.

Abbildung 1 illustriert, wie klimatische Einflüsse (Temperatur, Niederschlag, Extremereignisse, etc.) auf natürliche (z.B. landwirtschaftliche Fläche, Menschen und Tiere) und materielle Systeme (z.B. Gebäude und Infrastrukturen) in den Beschaffungsländern wirken können. Die Einflüsse können beispielsweise zu Produktionsunterbrechungen bei der Herstellung von Vorleistungsgütern führen, welche in Deutschland und anderen Ländern nachgefragt werden. Ebenfalls negativ wirken sich klimabedingte Ernteaufälle oder ein Rückgang der Qualität von landwirtschaftlichen Importprodukten auf die deutsche Volkswirtschaft aus. Klimatische Veränderungen können beispielsweise auch die Verkehrsträger, -wege, oder -infrastruktur negativ oder positiv beeinflussen.

Exportseitig, wird der Klimawandel das Wirtschaftswachstum, gemessen am Bruttoinlandprodukt, global und in allen Ländern dämpfen. Damit verbunden sind beispielsweise negative Effekte auf die Kaufkraft und den privaten Konsum. Klimatische Veränderungen wirken sich jedoch auch auf die Nachfrage nach Produkten und Investitionsgütern aus. Beispielsweise wird erwartet, dass in Zukunft mehr klimafreundliche Produkte gekauft werden. Dies wirkt sich auch auf den Deutschen Exportmarkt aus.

³ <https://www.umweltbundesamt.de/globale-klimafolgen-die-deutsche-wirtschaft-0>

Abbildung 1: Übersicht der Wirkungsketten

Quelle: Peter M. et al. 2019

Deutschland pflegt Handelsbeziehungen mit einer Vielzahl von Ländern, die unterschiedlich vulnerabel gegenüber klimatischen Veränderungen sind. Je nach Verkettung mit klimaexponierten Handelspartnern können entlang der in Abbildung 1 aufgezeigten Wirkungsketten, die potentiellen ökonomischen Risiken und Chancen für Deutschland abgeschätzt werden. Die Systematik der Wirkungsketten wurde durch das Projektteam entwickelt⁴. Die vollständigen Ergebnisse sind in Peter M. et al (2019) publiziert.

Die Ergebnisse zeigen: Auf der Importseite (siehe Abbildung 2) werden etwas stärkere ökonomische Risiken erwartet als auf der Exportseite (Abbildung 3).

⁴ Die Methodik und vollständigen Ergebnisse sind im ersten Teilbericht des Vorhabens «Folgen des globalen Klimawandels für Deutschland» publiziert (Peter et al. 2019): <https://www.umweltbundesamt.de/globale-klimafolgen-die-deutsche-wirtschaft-0>

Abbildung 2: Ökonomische Risiken und Chancen beim Import (I)

	kein Risiko	Risiko gering	Risiko mittel	Risiko hoch
Chancen hoch				
Chancen mittel			Energiequellen 10	Schiffsverkehr 2 landwirtschaftliche Produkte 3
Chancen gering		Tourismus	Forstsysteme 9	
keine Chancen	Nutztiere	Straßenverkehr Aquatische Systeme	Infrastruktur 4 Bergbau & Rohstoffe 5 Arbeitskräfte 6 Flugverkehr 7 Schienenverkehr 8	Gebäude, Produktionsanlagen, Lager 1

Einschätzung zu den Risiken und Chancen, die der Klimawandel über verschiedene Wirkungsketten beim Import nach Deutschland mit sich bringt. Die wichtigsten Wirkungsketten, bei denen von mittleren bis hohen Risiken und/oder Chancen ausgegangen wird, werden im vorliegenden Papier erläutert. Quelle: INFRAS

Auf der **Importseite** ist damit zu rechnen, dass sich internationale Auswirkungen des Klimawandels vor allem über Schäden und Produktionseinbußen aufgrund von Wetterextremereignissen bei produzierenden Unternehmen in den Weltregionen negativ auf die deutsche Volkswirtschaft auswirken. Schäden und Produktionseinbußen bei (Vorleistungs-) Gütern führen zu Lieferverzögerungen und folglich steigenden Produktionskosten in Deutschland. Gewisse Vorleistungsgüter, welche für die deutsche Wirtschaft nicht einfach substituiert werden können, werden schlechter verfügbar und können das Produktionspotential in Deutschland dämpfen mit negativen Folgen für die deutsche Volkswirtschaft. Weiter werden internationale Auswirkungen des Klimawandels über Verkehrsträger, -wege, und -infrastrukturen durchgehend als beachtlich eingeschätzt, da hierbei die Verflechtung mit verschiedenen Sektoren sehr hoch ist.

Abbildung 3: Ökonomische Risiken und Chancen beim Export (E)

	kein Risiko	Risiko gering	Risiko mittel	Risiko hoch
Chancen hoch	Investitionen Klimaanpassung 4			klimafreundliche Konsumgüter 3 Investitionen Klimaschutz 3
Chancen mittel		Präferenzen bei den Nahrungsmitteln 5		
Chancen gering		Konsumentenpräferenzen Versicherungsleistungen weitere Dienstleistungen	Finanzdienstleistungen 6	
keine Chancen				Wirtschaftswachstum 1 Kaufkraft, Konsum 2

Einschätzung zu den Risiken und Chancen, die der Klimawandel über verschiedene Wirkungsketten beim Export nach Deutschland mit sich bringt. Die wichtigsten Wirkungsketten, bei denen von mittleren bis hohen Risiken und/oder Chancen ausgegangen wird, werden im vorliegenden Papier erläutert. Quelle: INFRAS

Auf der **Exportseite** sind vor allem die Auswirkungen über die veränderte ökonomische Struktur von stark klimaexponierten Volkswirtschaften, welche Waren und Dienstleistungen aus Deutschland nachfragen, relevant. Klimatische Einflüsse können über verschiedene Kanäle auf die wirtschaftliche Stärke eines Landes einwirken. Vor allem ärmere Länder mit geringerer Resilienz gegenüber einer Zunahme von z.B. Extremereignissen oder schleichenden Veränderungen, erfahren eine Abschwächung des BIP-Wachstums und einen Kaufkraftverlust. Ein Rückgang des BIPs zieht auch ein Rückgang des Investitionsvolumens nach sich und kann sich bei entsprechender Verflechtung negativ auf die Exportwirtschaft Deutschlands auswirken. Über diesen Einflusskanal der geringeren Kaufkraft im Ausland werden außerhalb Europas vor allem ökonomische Risiken erwartet. In europäischen Ländern kann es durchaus aber auch zu komparativen Vorteilen kommen. Bei den Auswirkungen, die sich über eine geänderte Nachfragestruktur in den Weltregionen nach Gütern (aus Deutschland) ergeben, werden auch Chancen erwartet; vor allem bezüglich der zunehmenden Nachfrage der vom Klimawandel stark betroffenen Weltregionen nach Investitionen zur Klimaanpassung und Schadensbekämpfung sowie bei der Änderung der Nachfrage nach Low-Carbon-Konsumgütern und Investitionen in Emissionsminderungstechnologien. Bei Letzteren sind jedoch auch ökonomische Risiken für Deutschland nicht auszuschließen, wenn Deutschland nicht rechtzeitig in seine Wettbewerbsfähigkeit bei diesen neuen Technologien investiert.

Interviews mit UnternehmensvertreterInnen⁵ aus unterschiedlichen Industrien verdeutlichen, dass das Wissen über die internationalen Wirkungsketten, wie der weltweite Klimawandel deutsche Unternehmen und Haushalte treffen kann, nur in ausgewählten Firmen und Sektoren vorhanden ist. Im Außenhandel involvierte Unternehmen der Sektoren Groß- und Einzelhandel (Kaffee) und Versicherungen gehören sicherlich zu den Akteuren, in denen die Problematik schon stärker erkannt ist. In anderen Sektoren ist jedoch noch wenig Wissen über mögliche Risiken und Chancen in den Supply Chains vorhanden. Gerade der Sektor Verkehr (insbesondere Schiffsverkehr) scheint erst wenig für das Thema sensibilisiert. Bei Unternehmen, welche bereits Chancen aus der sich ändernden Nachfragestruktur aus dem Ausland nach deutschen Produkten unter dem Einfluss des weltweiten Klimawandels erwarten (wie Hersteller von Anpassungsprodukten, z.B. Wassertechnologien), ist das Bewusstsein schon etwas stärker vorhanden.

⁵ Die vollständigen Unternehmensbeispiele sind im ersten Teulbericht des Vorhabens (Peter et al. 2019) aufgeführt.

3 Methodik zur modellgestützten Auswirkungsanalyse

3.1 Einleitung

Ziel der modellgestützten Auswirkungsanalyse ist es, einen Überblick über mögliche Auswirkungen des globalen Klimawandels auf Deutschlands Außenhandel und Wirtschaft zu geben. Dafür wurden jene Auswirkungen genauer untersucht, für die bereits in internationalen Vergleichsprojekten validierte Modellergebnisse für alle Länder dieser Erde und für unterschiedliche Klimaszenarien vorliegen. Die Auswirkungen werden daher für folgende Bereiche, respektive Wirkungsketten untersucht:

- ▶ Anstieg des Meeresspiegels
- ▶ Hitzebedingte Änderungen in der Arbeitsproduktivität
- ▶ Änderungen in landwirtschaftlichen Erträgen
- ▶ Veränderungen von BIP und Kaufkraft

Diese Auswirkungen betreffen sowohl die Import- als auch die Exportseite Deutschlands. Es sind auch unterschiedliche wirtschaftliche Sektoren tangiert (von Landwirtschaft über Industrie bis zu den Dienstleistungen).

Obwohl einige Studien zur Betroffenheit des deutschen Außenhandels gegenüber ausgewählten Aspekten des Klimawandels vorliegen, ist dies die erste Studie, die Auswirkungen des globalen Klimawandels für Deutschland in einem konsistenten makroökonomischen Modellrahmen analysiert. Die in der Studie gewonnenen Ergebnisse liefern somit einen ersten Beitrag, wie Deutschlands Außenhandel und somit Deutschlands heimische Wirtschaft von unterschiedlichen Klimawirkungen bis Mitte des Jahrhunderts betroffen sein könnte. Auch wenn die vorliegende Studie konkrete Zahlen zu den Auswirkungen liefert, sollte die Interpretation weniger auf den absoluten Größenordnungen, sondern der Richtung der Effekte sowie der Wirkungszusammenhänge liegen.

Zur Abschätzung der Klimawandelfolgen, die über internationale Handelsströme nach Deutschland übertragen werden, wird im Projekt Impact CHAIN ein makroökonomisches Modell verwendet, das es erlaubt, die sektorspezifischen Auswirkungen des Klimawandels in den Herkunftsländern abzubilden und deren volkswirtschaftliche Rückwirkungen auf Deutschland zu analysieren. Der Zeithorizont der Analyse ist auf einen Zeitraum von 30 Jahren um 2050 festgelegt, und es werden zwei sozioökonomische Szenarien (SSP2 und SSP3) sowie zwei Emissionsszenarien (RCP4.5 und RCP8.5) untersucht. Das Shared Socioeconomic Pathway Szenario 2 (SSP2) wird als „Middle of the Road“ bezeichnet, da es mittlere Herausforderungen für Emissionsminderung und Anpassung darstellt. SSP3 repräsentiert hingegen eine fragmentierte Welt mit hohen Herausforderungen in Minderung und Anpassung (O'Neill et al. 2014). Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5 entspricht einem Emissionsszenario, mit einem mittleren globalen Temperaturanstieg von 1,8°C bis Ende des 21. Jahrhunderts relativ zu 1986-2005 bzw. einer Erwärmung von 2,4°C relativ zur vorindustriellen Zeit. RCP 8.5 ist charakterisiert durch stärkere Treibhausgasemissionen, mit einem mittleren globalen Temperaturanstieg von rund 3,7°C relativ zu 1986-2005 bzw. von 4,3°C relativ zur vorindustriellen Zeit (Collins et al. 2013).

3.2 Das makroökonomische Modell

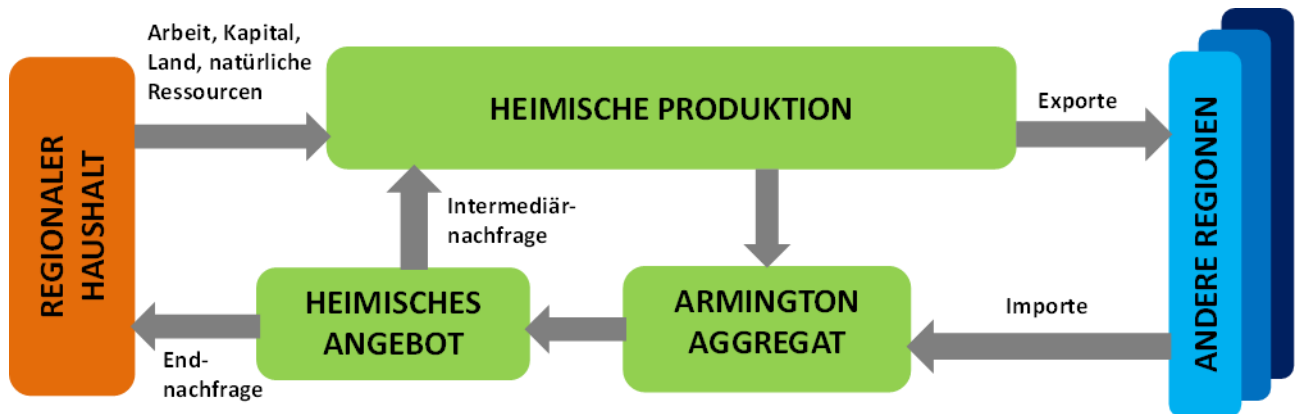
Das COIN-INT Modell ist ein multi-regionales globales Computable General Equilibrium Modell (CGE), auch angewandtes allgemeines Gleichgewichtsmodell genannt. Multi-regionale, globale CGE-Modelle basieren auf einem konsistenten Satz von Input-Output-Tabellen und internationalen Handelsdaten, Verbraucherdaten und Daten des öffentlichen Haushalts und ermöglichen eine detaillierte Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf Sektoren, Haushalte sowie den Staat; also eine gesamtwirtschaftliche Bewertung (siehe z.B. OECD 2015). Im Vergleich zu alternativen Modellansätzen wie Integrated Assessment Modellen (IAMs) haben CGE Modelle folgende Vorteile: Erstens weisen CGE-Modelle eine Vielzahl von Wirtschaftssektoren auf, was wichtig ist, um Interdependenzen zwischen Sektoren zu erfassen und mögliche sektorale Gewinne oder Verluste aufzuzeigen. Zweitens können wirtschaftliche Schocks (wie zum Beispiel eine spezifische Auswirkung des Klimawandels) aufgrund der hohen sektoralen Auflösung genauer umgesetzt werden, anstatt sehr grobe Schadensfunktionen zu verwenden (wie es bei IAMs der Fall ist). Zum Beispiel bieten CGE-Modelle die Möglichkeit, Klimafolgen sehr spezifisch auf der Ebene der sektoralen Produktionsfunktionen, der Investitionsfunktion oder der Nachfragefunktion der privaten Haushalte abzubilden. Natürlich bringt die Modellanalyse auch Einschränkungen mit sich, wie zum Beispiel die Sensitivität der Ergebnisse bezüglich der getroffenen Annahmen hinsichtlich Elastizitäten, struktureller Veränderungen oder des Modellschlusses. Diese Problematiken können jedoch mittels Sensitivitätsanalysen adressiert werden. Eine weitere Einschränkung betrifft die grundsätzliche Modellstruktur des allgemeinen Gleichgewichtes, welche nicht darauf ausgelegt ist kurzfristige Schocks, wie sie zum Beispiel bei Extremwetterereignissen üblich sind, zu untersuchen. Daher fokussieren wir in diesen Analysen auf die graduellen Veränderungen des Klimawandels und dessen Folgen. Einschränkungen hinsichtlich der spezifisch modellierten Wirkungsketten werden in Kapitel 5 diskutiert.

Abbildung 4 stellt die Modellstruktur vereinfacht dar. In jeder Region gibt es einen repräsentativen Haushalt, der mit den Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital sowie natürlichen Ressourcen (Land, fossile Ressourcen) ausgestattet ist. Diese Faktoren und Ressourcen werden auf Märkten angeboten und generieren das Einkommen des Haushalts (Faktoreinkommen und Ressourcenrenten). Darüber hinaus wird für den Staat Einkommen durch die Besteuerung von Produktion und Konsum generiert. Das Einkommen wird für den Konsum, gemäß spezifizierter Konsum-Funktionen (differenziert nach einem privaten und einem öffentlichen Haushalt), und für Investitionen ausgegeben (= Endnachfrage). In der Produktion kombiniert jeder Wirtschaftssektor Faktoren und Vorleistungen (d.h. Outputs aus anderen Sektoren) nach sektorspezifischen Produktionsfunktionen. Einige Sektoren sind in ihren Produktionsprozessen auch auf Land oder andere natürliche Ressourcen angewiesen (z. B. nutzen landwirtschaftliche Sektoren Land, oder der Öl- und Gassektor fossile Ressourcen). In Bezug auf internationalen Handel folgen wir der „Armington-Annahme“, was bedeutet, dass Importe und im Inland produzierte Güter unvollkommene Substitute sind und somit nach branchenspezifischen Elastizitäten abgetauscht werden (Hertel et al. 2007). Änderungen der Handelsströme werden somit durch die regionale Importnachfrage und durch Veränderungen der relativen internationalen Preise (Terms of Trade) ausgelöst. Darüber hinaus ist die Handelsbilanz (nominal) fixiert, d.h. das Verhältnis der Handelsbilanz zum BIP auf dem Verhältnis des Bezugsjahrs konstant gehalten.

Das Modell beschreibt somit die Wirtschaft als Fließgleichgewicht jährlicher monetärer Ströme zwischen Haushalten und Sektoren, in dem alle Märkte über Angebot und Nachfrage sowie den dazugehörigen Mengen und Preisen geräumt sind (= allgemeines Gleichgewicht). Um die Folgen des Klimawandels gesamtwirtschaftlich zu quantifizieren, wird dieses Gleichgewicht gestört

(z.B. über veränderte Produktions- oder Nachfragebedingungen), was zu Mengen- und Preisanpassungen führt, bis ein neues Gleichgewicht erreicht wird, in dem wiederum alle Märkte geräumt sind. In dem hier angewandten komparativ statischen Ansatz wird der Zustand des Ausgangs-Gleichgewichts mit dem des sich neu ergebenden Gleichgewichts verglichen. Dies zeigt die sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Effekte der internationalen Auswirkungen des Klimawandels auf. Durch die zugrundeliegende Input-Output Struktur sind sämtliche Sektoren und Haushalte miteinander verbunden, entweder als Anbieter oder als Nachfrager. Somit werden auch indirekte Effekte miteinbezogen.

Abbildung 4: Modellstruktur des COIN-INT Modells



Quelle: Wegener Center, Universität Graz.

Das Modell basiert auf der GTAP9-Datenbank (Aguiar, Narayanan, und McDougall 2016), die 140 Regionen und 57 Wirtschaftssektoren umfasst und neben den Input-Output-Tabellen für jede Region auch konsistente Handelsbilanzen zwischen allen Sektoren und Regionen bereitstellt. Um die Lösbarkeit des Modells für einen Zeithorizont bis Mitte des Jahrhunderts zu gewährleisten, erfolgt im COIN-INT Modell eine Zusammenfassung in 23 Sektoren und 24 Regionen.

Die Aggregation der Regionen berücksichtigt die Bedeutung der Handelspartner, die Vulnerabilität der einzelnen Länder gegenüber dem Klimawandel (auf Basis des Notre Dame Global Adaptation Index (ND-GAIN), siehe (Chen et al. 2015)) und die sektoralen Schwerpunkte der Länder. Im Modellaufbau ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Detailtiefe innerhalb und außerhalb Europas ein zentraler Punkt, um sowohl Handelspartner zu vertreten, die aus deutscher Sicht für die Wertschöpfung wichtig sind, als auch Handelspartner, die stark vom Klimawandel betroffen sind. Der Handel innerhalb Europas ist weniger vulnerabel gegenüber dem weltweiten Klimawandel und macht fast zwei Drittel der deutschen Handelsströme aus. Im Gegensatz dazu ist der Handel mit außereuropäischen Regionen potenziell stärker vulnerabel gegenüber dem Klimawandel, weist aber einen geringeren Anteil am deutschen Handelsvolumen auf. In Tabelle 1 werden die Modellregionen und deren Zugehörigkeit zu den beiden Regionsgruppen EU+ und nicht-EU+ dargestellt. Für Details zu den in den Modellregionen enthaltenen Ländern siehe Tabelle 9 im Anhang.

Die sektorale Aggregation orientiert sich weitgehend an der Klassifikation des Statistischen Bundesamts Deutschland: Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken (Statistisches Bundesamt 2009). Eine weitere Zusammenlegung von Sektoren erfolgte auf Basis der wirtschaftlichen Ähnlichkeit, der Bedeutung des Sektors für die deutsche Wirtschaft sowie der Ähnlichkeit in der Klimavulnerabilität. Da die GP09-Klassifikation nur die Produktion von Gütern, nicht aber von Dienstleistungen umfasst, wurden die restlichen in GTAP enthaltenen Sektoren entsprechend

ihrer Klimavulnerabilität zusammengefasst. Bezüglich der Länderaggregation werden einerseits die Klimavulnerabilität und andererseits die ökonomische Bedeutung der Länder berücksichtigt. Tabelle 2 zeigt die Modellsektoren sowie ihre Zugehörigkeit zu allgemeineren Sektorgruppen, die in der Ergebnisdarstellung der Außenhandelseffekte in Kapitel 4 verwendet werden. Für Details zu den in den Modellsektoren enthaltenen Wirtschaftssektoren siehe Tabelle 10 im Anhang.

Tabelle 1: Regionen im COIN-INT Modell

Regionsgruppe	Modellregion	Abkürzung
Europa (EU)	Deutschland	DEU
	Österreich	AUT
	Italien	ITA
	Frankreich	FRA
	Benelux	BLX
	Großbritannien und Irland	UKI
	Zentral EU 27 und Schweiz	CEU
	Nord EU 27+ Liechtenstein, Norwegen und Island	NEU
	Mediterranes EU 27	MEU
	Südost EU 27 + Rest von Europa	SEE
Außerhalb Europas (nicht-EU+)	Nordamerika	NAM
	Restliche industrialisierte Länder	ROI
	Eurasische Länder	ERA
	Schwellenländer in Lateinamerika	ECL
	Schwellenländer in Asien und Israel	ECA
	Türkei	TUR
	China	CHN
	Indien	IND
	Länder mit Schwerpunkt Textilindustrie in Südostasien, Tunesien	SEAT
	Länder mit Schwerpunkt Elektronische Geräte in Südostasien	SEAE
	Restliches Lateinamerika	LAM
	Ölexportierende Länder im Mittleren Osten, Afrika und Venezuela	OIE
	Restliches Süd- und Südostasien (Wenig entwickelte Länder)	RSEA
	Afrika	AFR

Datenbasis: GTAP v9 (Aguiar, Narayanan und McDougall 2016)

Tabelle 2: Sektoren im COIN-INT Modell

Sektorgruppe	Modellsektor	Abkürzung
Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei	Landwirtschaftliche Erzeugnisse: pflanzlich	AGC
	Landwirtschaftliche Erzeugnisse: tierisch	AGL
	Forstwirtschaft und Fischerei	FOF
Bergbau und fossile Ressourcen	Kohle	COA
	Rohöl und Erdgas	OAG
	Restlicher Bergbau	OMN
Lebensmittel-, Textil- und Holzindustrie	Nahrungs- und Futtermittel, Getränke und Tabakprodukte	FBT
	Textilindustrie	TWL
	Holz- und Papierindustrie, Druckereien	WOP
Maschinen und elektronische Geräte	Erzeugung von Maschinen, Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Produkten	OME
	Elektronische Geräte	ELE
	Motor, Kraftfahrzeuge und -teile sowie andere Transportmittel	MVT
	Elektrizität	ELY
	Sonstige Produktion	OMF
Restliche Industrie	Raffinierte Ölprodukte	P_C
	Chemische Industrie	CRP
	Erzeugung von anderen nichtmetallischen Mineralprodukten, Edelmetalle und Nichteisenmetalle	NMF
	Erzeugung von Eisen und Stahl sowie Gießen und Verarbeitung von Metallerzeugnissen	ISM
Transport	Wasserverkehr	WAT
	Luftverkehr	AIT
	Landverkehr	LAT
Dienstleistungen und Bauwesen	Andere private und öffentliche Dienstleistungen	SER
	Bauwirtschaft	CRE

Datenbasis: GTAP v9 (Aguiar, Narayanan und McDougall 2016)

3.3 Klimatische und sozioökonomische Szenarien

Um die Auswirkungen des Klimawandels zu analysieren, vergleichen wir zwei Szenarien im Jahr 2050, ein Basisszenario mit sozioökonomischem Wandel, aber ohne Klimawandel (SSP2) und eines mit sozioökonomischem und Klimawandel (RCP4.5-SSP2).

Das Basisszenario (ohne Klimawandel) beschreibt die sozioökonomische Entwicklung bis 2050 gemäß der Shared Socioeconomic Pathway SSP2 (O'Neill et al. 2014). SSP2 steht für mittlere Herausforderungen sowohl hinsichtlich der Emissionsminderung als auch der Klimawandelanpassung. Die Implementierung dieses Basisszenarios beinhaltet konsistente Annahmen aus IIASAs SSP-Marker-Szenarien-Datenbank (<https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb>, siehe Riahi et al. 2017 für einen Überblick) hinsichtlich Bevölkerungswachstum, Agrarflächen und BIP-Wachstumsraten. Darüber hinaus werden autonome Energieeffizienzverbesserungen (1% p.a.), eine globale CO₂-Steuer von 14 USD/t CO₂ (vorgegeben durch das SSP2-RCP4.5 Markerszenario (Fricko et al. 2017) und der Preis für fossile Brennstoffe entsprechend dem New Policy Scenario des World Energy Outlook (OECD/IEA 2016) implementiert. Um die sozioökonomischen Unsicherheiten zu berücksichtigen, wird zusätzlich das Szenario SSP3 mit hohen Herausforderungen sowohl für Emissionsminderung als auch für Anpassung untersucht.

Das Klimaänderungsszenario beschreibt die durchschnittlichen Auswirkungen des Klimawandels für die zukünftige 30-jährige Klimaperiode 2036-2065 im Verhältnis zum Durchschnitt der Basisperiode 1981-2010. Aus den in ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) verfügbaren Multimodell-Ensemble Modellläufen wählen wir einen "mittleren" Simulationslauf für das Emissionsszenario RCP4.5: das Globale Zirkulationsmodell (GCM) HadGEM2-ES (Warszawski et al. 2014). Um die klimatischen Unsicherheiten zu betrachten, werden zusätzlich zwei weitere Globale Zirkulationsmodelle (NorESM1-M, IPSL-CM5A-LR) sowie das höhere Emissionsszenario RCP8.5 betrachtet.

3.4 Abbildung der Wirkungsketten im Modell

Um belastbare Ergebnisse hinsichtlich der Auswirkungen für den deutschen Außenhandel zu erzielen ist es erforderlich, global einheitlich ermittelte Auswirkungen des Klimawandels in das COIN-INT Modell zu integrieren, welche mit verfügbaren und validierten (bio)physikalischen Impact-Modellen berechnet wurden. Zu diesem Zweck werden Ergebnisse aus dem Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP; Warszawski et al., 2014) sowie aus dem DIVA-Modell (Hinkel et al. 2014) berücksichtigt.

Folgende Auswirkungen können abgebildet werden:

- ▶ **Anstieg des Meeresspiegels:** Durch global steigende Temperaturen werden mehrere Prozesse ausgelöst, die den Meeresspiegel ansteigen lassen. Einerseits kommt es zu einem Abschmelzen von Gletschern, des Grönländischen Eisschildes sowie der Antarktis. Andererseits kommt es durch erhöhte Temperaturen und Veränderungen in der Salinität zu regional unterschiedlichen Ausdehnungen des Meerwassers. Ein weiterer Faktor ist die mögliche Veränderung von Auftrieb und Plattentektonik, die ebenfalls Änderungen des Meeresspiegels hervorrufen. In Summe können diese Effekte bis 2050 (2100), je nach Szenario, den Meeresspiegel um bis zu 33cm (123cm) steigen lassen, was zu einer Zunahme der Anzahl an jährlich von Überflutungen betroffenen Menschen sowie Verlust von Land und Schäden an küstennaher Infrastruktur führt (Hinkel et al. 2014). Volkswirtschaftlich betrachtet resultiert daraus eine Reduktion des effektiv nutzbaren Kapitalbestandes (da Kapital in Wiederaufbau fließt, welches anderswo effektiv genutzt hätte werden können), sowie zu erhöhten Investitions- und Wartungskosten für Schutzbauten.
- ▶ **Hitzebedingte Änderungen der Arbeitsproduktivität:** Laut physiologischen Studien haben steigende Temperaturen und steigende absolute Luftfeuchtigkeit einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheit und Arbeitsproduktivität der Arbeitnehmer (Kjellstrom, Holmer und

Lemke 2009). Auswirkungen entstehen nicht nur in Form einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit, auch abnehmende Konzentration führt zu erhöhter Fehler- und Unfallanfälligkeit, die ebenfalls zu Produktivitätseinbußen führt (Parsons 2014). Hitzeextrema bringen zusätzliche Gesundheitsrisiken wie Hitzeschlag, starke Dehydrierung oder Erschöpfung mit sich, während Körpertemperaturen über 40,6 °C sogar lebensbedrohlich sind (UNDP 2016). Der thermische Komfort eines Arbeitnehmers bestimmt seine Arbeitsfähigkeit und hat daher direkten Einfluss auf die Produktivität von Unternehmen bzw. der gesamten Volkswirtschaft (Kjellstrom et al. 2009).

- ▶ **Landwirtschaftliche Erträge:** Der pflanzliche landwirtschaftliche Sektor ist unmittelbar von Klimaänderungen betroffen. Wichtige Klima-Parameter, die sich auf landwirtschaftliche Erträge auswirken sind Durchschnittstemperatur und -niederschlag, aber auch Extremereignisse wie Hitzewellen oder Überflutungen. Ebenfalls wichtige Faktoren sind Krankheitserreger und die Verfügbarkeit von Nährstoffen in Luft und Boden (z.B. Kohlendioxid, Phosphor, Stickstoff). Bereits heute sind in vielen Erdteilen die Effekte des Klimawandels auf die Landwirtschaft spürbar. Diese können sowohl positiv als auch negativ sein, wobei negative Effekte dominieren (Porter et al. 2014). Die direkten Effekte führen über wirtschaftliche sektorale und regionale Verflechtungen zu indirekten Effekten, wie zum Beispiel Knappheit von Agrarprodukten und global spürbaren Preisanstiegen von Nahrungs- und Futtermitteln.
- ▶ **Veränderungen von BIP und Kaufkraft:** Klimawandel hat globale (typischerweise, aber nicht ausschließlich, negative) Auswirkungen auf Lebensgrundlagen wie Infrastruktur, Produktion, Gesundheit und Produktivität unterschiedlicher Ressourcen. Diese Folgen führen zu einer Abnahme des Bruttoinlandsproduktes und der Kaufkraft über makroökonomische Feedback-Effekte. Aus deutscher Sicht ist die Abnahme des BIP und der Kaufkraft in Deutschlands Exportländern relevant, da diese folglich weniger oder andere Güter aus Deutschland nachfragen. Die Effekte dieser Wirkungskette werden indirekt über die modellierten direkten Auswirkungen auf Anstieg des Meeresspiegels, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft beobachtet.

Implementierung der ausgewählten Auswirkungen

Tabelle 3 beschreibt die im COIN-INT Modell berücksichtigten Auswirkungen des globalen Klimawandels sowie deren Zugehörigkeit zu den in Impact CHAIN identifizierten import- und exportseitigen Wirkungsketten (vergleiche Kapitel 2). Weiterführende Informationen zu den Wirkungsketten sind in der Veröffentlichung des ersten Teilberichts⁶ publiziert (vgl. Anhang C und D). Die beiden letzten Spalten beschreiben die Berechnung der (bio)physikalischen Auswirkungen auf landwirtschaftliche Erträge, Arbeitsfähigkeit und Schäden an Vermögenswerten in Küstennähe sowie die Umsetzung dieser Auswirkungen im COIN-INT Modell beispielsweise über Änderungen der Faktorproduktivität oder Mehrkosten für Küstenschutz (Investitionen).

⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/globale-klimafolgen-die-deutsche-wirtschaft-0>

Tabelle 3: Im COIN-INT Modell abgebildete Auswirkungen des globalen Klimawandels

Name	Zugeordnete Wirkungskette	Beschreibung der abgebildeten Auswirkungen	Berechnung der (bio)physikalischen Wirkung	Implementierung im COIN-Int-Modell
Anstieg des Meeresspiegels	WK1a (Import): Gebäude: Schäden und Produktionseinbußen	Auswirkungen von Anstieg des Meeresspiegels auf Vermögenswerte in Küstennähe (Land, Kapital); Schäden durch Überflutungen (Kosten & gefährdete Personen); Kosten durch Erstellung/Anpassung von Schutzbauten (Investitionen und laufende Wartungskosten)	Berechnung der Schäden mit bzw. ohne zusätzlicher Anpassung (Küstenschutz): – Erwartete Anzahl an Personen, die in Überflutungsgebieten leben – Küsteninfrastruktur: erwartete jährliche Überflutungskosten – Kosten von Deichen und anderen Hochwasserschutzbauten Datengrundlage: DIVA (Hinkel et al. 2014)	1.Reduktion des effektiv nutzbaren Kapitalbestandes durch Küstenüberflutungen 2.Investitionen in Küstenschutz (Deiche, Dämme) zur aktiven Anpassung 3.Laufende Kosten für Wartung der Küstenschutzinfrastruktur
Änderungen der Arbeitsproduktivität	WK3a (Import): Produktionseinbußen von Arbeitskräften	Abnahmen in der Arbeitsproduktivität aufgrund von zunehmender Hitze und absoluter Luftfeuchtigkeit.	Berechnung der Veränderung der Arbeitsfähigkeit als Funktion des Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT), Unterscheidung nach Arbeitsintensität der Tätigkeit (200, 300, 400W) und zwischen Tätigkeiten im Innenraum bzw. im Freien (Bröde et al. 2017) Datengrundlage zur Berechnung des WBGT: ISIMIP (Warszawski et al. 2014)	1.Zuordnung der Arbeitsintensitäten zu Modellsektoren: – 400W Tätigkeit im Freien (Schwere Arbeit): Landwirtschaftliche Sektoren, Bergbau, Bauwirtschaft – 300W Tätigkeit im Innenraum (Mittelschwere Arbeit): Industriesektoren – 200W Tätigkeit im Innenraum (leichte Arbeit): Dienstleistungen 2.Reduktion der Arbeitsproduktivität (unterschiedlich je Modellregion und -sektor)

Name	Zugeordnete Wirkungskette	Beschreibung der abgebildeten Auswirkungen	Berechnung der (bio)physikalischen Wirkung	Implementierung im COIN-Int-Modell
Veränderung der landwirtschaftlichen Erträge	WK4 (Import): Veränderung Verfügbarkeit und Qualität landwirtschaftlicher Produkte	Ertragsänderungen der vier Hauptkulturen (Weizen, Mais, Soja, Reis) durch veränderte Temperaturminima und -maxima, Niederschlag, Strahlung, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit (Beispielhaft für das Modell EPIC)	Veränderungen der Erträge pro ha Anbaufläche; Berechnung auf Basis von 3 land-wirtschaftlichen Impactmodellen (GEPIC, EPIC, pDSSAT) Datengrundlage: ISIMIP (Warszawski et al. 2014)	1. Aggregation der Ertragsänderungen über alle vier Getreidearten (gewichtetes Mittel auf Basis des Outputwerts in GTAP) 2. Reduktion der Produktivität des Faktors Land im pflanzlichen Landwirtschaftssektor
Veränderungen von BIP und Kaufkraft	WK7a (Export): Ökonomische Struktur: Abnahme des Wirtschaftswachstums WK7b (Export): Änderung d. Kaufkraft u. Rückgang des priv. Konsums	Über makroökonomische Feedback-Effekte: Abnahme des BIP und der Kaufkraft in vielen Exportländern Deutschlands, weil Investitionen in Schutzmaßnahmen andere (produktivere) Investitionen (z.B. in Bildung, F&E, Prävention) oder Konsumausgaben (z.B. Nachfrage nach Luxusgütern) verdrängen können.	Indirekt über die oben beschriebenen direkten Auswirkungen auf Anstieg des Meeresspiegels, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft	Keine gesonderte Modellierung erforderlich, Auswirkungen auf BIP und Wohlfahrt der Haushalte ergeben sich modellendogen

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

3.5 Einschränkungen in der quantitativen Modellierung

Die Modellierung hat Einschränkungen in zwei Dimensionen. Erstens hinsichtlich der Funktionsweise des Modells (Räumung des Arbeitsmarkts, Fortschreibung des Exportüberschusses Deutschlands bis 2050⁷) und zweitens hinsichtlich des Umfangs der berücksichtigten Wirkungsketten. Da im Rahmen dieser Studie nur ausgewählte Auswirkungen biophysikalisch betrachtet, bewertet und im Modell umgesetzt werden, spiegeln die Ergebnisse keine Gesamtwirkungen des weltweiten Klimawandels auf Deutschland wider, sondern zeigen ein Teilbild. Es ergeben sich folgende Einschränkungen in der Analyse der Auswirkungen:

- ▶ **Anstieg des Meeresspiegels:** Das Adaptation Szenario unterstellt, aktive Anpassung (Verbesserung des Schutzniveaus). Dies entspricht der impliziten Annahme von effizienter Anpassung, die in der Realität aufgrund von Governance Versagen nicht immer gegeben sein mag, v.a. in Entwicklungsländern.
- ▶ **Hitzebedingte Änderungen der Arbeitsproduktivität:** Die Berechnung der Arbeitsproduktivität basiert auf einer Kombination aus Feldstudien und Empfehlungen von ISO, die die wahren Produktivitätseinbußen über- oder unterschätzen können. Zudem wird die aktuelle Wirtschaftsstruktur zugrunde gelegt, d.h. heutige Arbeitsintensität in den unterschiedlichen Sektoren, und Effekte von beispielsweise Digitalisierung bleiben unberücksichtigt. Weiters wird unterstellt, dass das momentane Niveau an Kühlung beibehalten wird. Zusätzliche Kühlung bei Indoor-Aktivitäten könnte den Effekt abschwächen.
- ▶ **Landwirtschaftliche Erträge:** Die vier modellierten landwirtschaftlichen Produkte machen rund 40% des sektoralen Outputwerts von „Landwirtschaftlichen Erzeugnissen – Getreide“ aus (von 22% in den Benelux-Ländern bis zu 57% in SEAE). Veränderungen in den restlichen landwirtschaftlichen Erzeugnissen (Gemüse- und Obstanbau, andere Getreidesorten) werden aufgrund fehlender globaler Impactstudien zu diesem Thema daher in der Modellierung nicht berücksichtigt. Ebenso nicht berücksichtigt werden Auswirkungen auf tierische landwirtschaftliche Erzeugnisse, ebenfalls auf Grund fehlender globaler Impactstudien. Weiters wird in der Modellierung nicht berücksichtigt, dass in manchen Regionen Landwirtschaft aus klimatischen Gründen nicht mehr möglich sein könnte, was zu sozialen Unruhen und Migration führen kann (Barbieri et al. 2010; de Sherbinin et al. 2011). Die negativen Auswirkungen auf den Bereich Landwirtschaft werden somit nur teilweise abgebildet und folglich tendenziell unterschätzt.
- ▶ **Veränderungen von BIP und Kaufkraft:** In der Modellanalyse werden die indirekten Auswirkungen, die sich durch Veränderungen in den landwirtschaftlichen Erträgen, hitzebedingte Änderungen der Arbeitsproduktivität und durch einen Anstieg des Meeresspiegels ergeben, ermittelt. Es kann jedoch zu weiteren Auswirkungen des globalen Klimawandels auf volkswirtschaftlicher Ebene, beispielsweise durch weitere Wirkungsketten, aber auch in Form von Verschiebungen der Nachfrage oder einem

⁷ Im Modell wurden Auswirkungen des Klimawandels für 2050 (Ø2036-2065) relativ zu 1981-2010 quantifiziert (siehe auch Kapitel 4.1.)

klimawandelinduzierten Strukturwandel kommen. Auf Basis des momentanen Kenntnisstands ist jedoch eine umfassendere quantitative Modellierung nicht möglich.

- **Weitere Wirkungsketten:** Wie in Kapitel 2 ausgearbeitet, sind die vier abgebildeten Wirkungsketten nur eine Teilmenge der möglichen Wirkungsketten über den Außenhandel.

Auf Grund der beschriebenen Einschränkungen in der Modellierbarkeit der unterschiedlichen Wirkungsketten dürfen die Ergebnisse somit nicht als Gesamtwirkung der internationalen Impact Chains des Klimawandels auf Deutschland verstanden werden.

3.6 Modelloutput-Größen

Tabelle 4: Beschreibung der Modelloutput-Größen

Variable	Beschreibung	Einheit
Sektoraler Output	Veränderung des realen Outputwerts eines Sektors in %, d.h. Mengenveränderungen werden zu Preisen in der Baseline (SSP Szenario ohne Klimawandel) bewertet.	Menge (QCC), bewertet zu Baseline Preis (PBL)
Export bzw. Importmenge	Veränderung des realen Export- bzw. Importwerts eines Sektors als Konsequenz des Klimawandels, d.h. Mengenveränderungen werden zu Preisen in der Baseline (SSP Szenario ohne Klimawandel) bewertet.	Menge (QCC), bewertet zu Baseline Preis (PBL)
Bruttoinlandsprodukt (BIP)	Das BIP misst die Wertschöpfung aller produzierten Güter und Dienstleistungen innerhalb eines Jahres. Das nominelle BIP wird zu Preisen des jeweiligen Szenarios bewertet, d.h. es werden sowohl Preis- und Mengeneffekte abgebildet	PCC*QCC
Wohlfahrtsindikator	Die Wohlfahrtsveränderung (sog. Hicks'sche Äquivalente Variation) misst die Differenz in den Konsumausgaben mit bzw. ohne Klimawandel (Baseline), und bewertet dies mit Preisen der Baseline. Die Wohlfahrtsveränderung kann verstanden werden als die erforderliche Veränderung der Geldmenge, die notwendig ist um bei konstanten Preisen den Nutzen aller Haushalte trotz Klimaveränderung konstant auf dem Niveau in der Baseline zu halten. Das Wohlfahrtsmaß wird um Defensivausgaben (Ausgaben für Wiederaufbau nach Zerstörung durch den Klimawandel) bereinigt, da diese Ausgaben keinen zusätzlichen Nutzenbeitrag im Vergleich zur Baseline liefern. Achtung: Dieser Wohlfahrtsindikator berücksichtigt lediglich den Einfluss auf die Wohlfahrt über Veränderungen des materiellen Konsums, beinhaltet jedoch keine immateriellen Faktoren (wie z.B. Ökosystemdienstleistungen oder Gesundheit).	(PBL*QCC)- (PBL*QBL)

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

4 Ergebnisse

Bei der Interpretation der dargestellten Ergebnisse sollte beachtet werden, dass die durchschnittlichen jährlichen Auswirkungen des Klimawandels für 2050 (Ø2036-2065) relativ zu 1981-2010 quantifiziert werden. Die tatsächlichen Effekte können somit, auf Grund der Klimavariabilität, für einzelne Jahre durchaus höher oder niedriger sein. Zudem sollte bei der Interpretation der Fokus primär auf der Effektrichtung, z.B. Verschiebungen der Handelsströme oder eine Zu- bzw. Abnahme des Handelsvolumens, und nur sekundär auf der ausgewiesenen Effektstärke (%-Veränderung des BIP etc.) gelegt werden. Ein besonderes Augenmerk in der Darstellung der Ergebnisse wird auf Verlagerungseffekte zwischen EU+ und nicht-EU+ Regionen gelegt, da bisherige Klimafolgen-Studien für Europa schwerpunkt-mäßig auf Klimawandeleffekte innerhalb Europas beschränkt waren.

Für eine bessere Verständlichkeit werden alle Resultate zunächst für ein mittleres Szenario RCP4.5 und SSP2 unter Verwendung des Globalen Zirkulationsmodells HadGEM2-ES im Detail dargestellt. Anschließend erfolgt eine überblicksartige Darstellung der Ergebnisse für ein höheres Emissionsszenario (RCP8.5), das sozioökonomische Szenario SSP3 mit den höchsten Herausforderungen für Emissionsminderung und Anpassung sowie auf Basis von zwei weiteren Globalen Zirkulationsmodellen.

4.1 Handelsverflechtungen im Basisszenario 2050 ohne Klimawandel

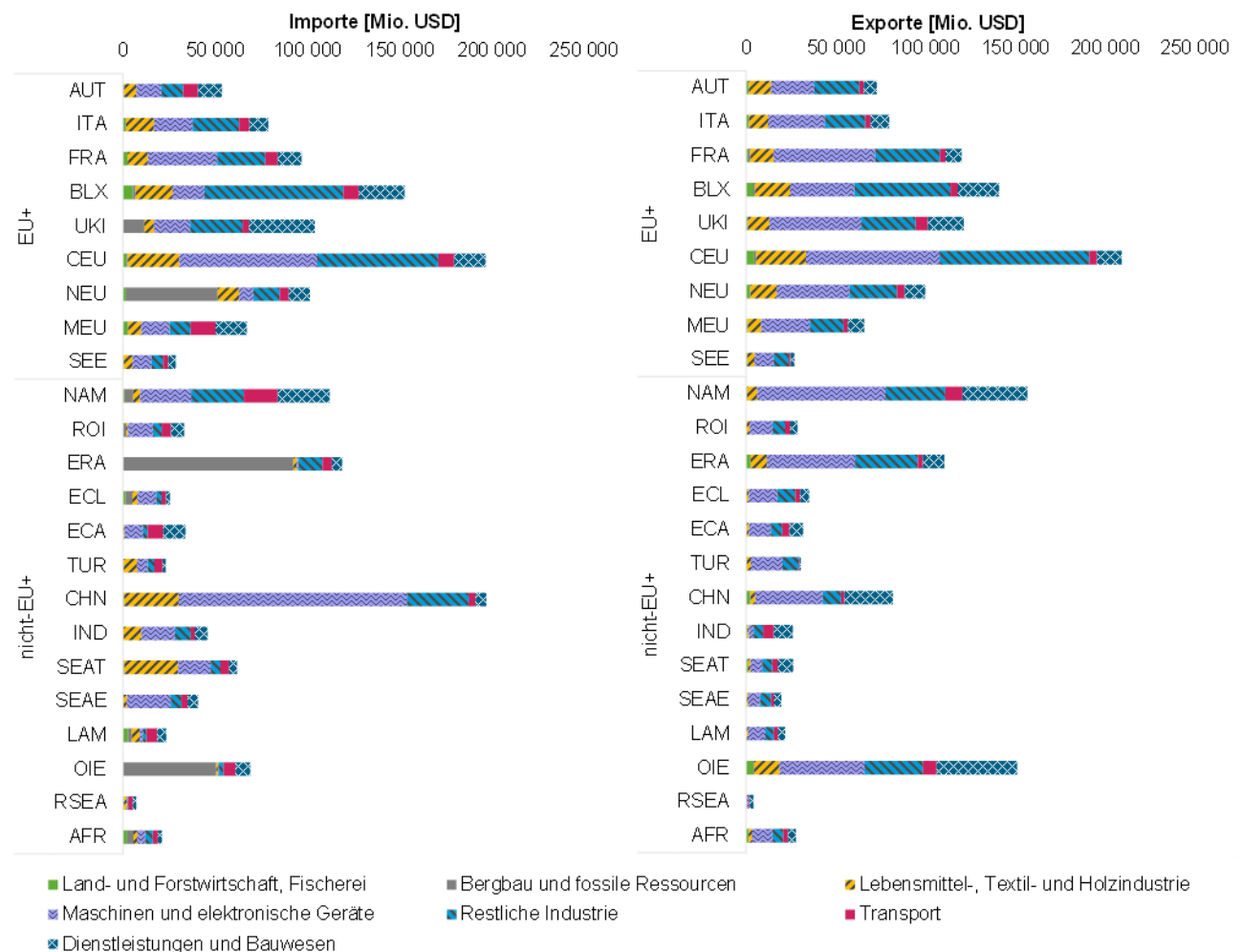
Im Basisszenario für 2050 (d.h. SSP2 ohne Klimawandel) belaufen sich die deutschen Importe auf 2 196 000 Mio. USD₂₀₁₁ und die Exporte auf 2 238 000 Mio. USD₂₀₁₁, was einem Exportüberschuss von 42 000 Mio. USD₂₀₁₁ entspricht. Zu den wichtigsten Sektoren sowohl auf der Import- als auch auf der Exportseite gehören Maschinen, Datenverarbeitungsgeräte, elektronische und optische Produkte (OME), Motoren, Kraftfahrzeuge und andere Transportmittel (MVT), Dienstleistungssektoren (SERV) und die chemische Industrie (CRP). Diese vier Sektoren machen 50% der deutschen Importe und 70% deutscher Exporte aus. Die sektorale Diversifizierung der Handelsströme ist demnach stärker auf der Importseite als auf der Exportseite. Die deutschen Importe enthalten auch einen deutlichen Handelsstrom an Erdöl und Erdgas (OAG), während dieser Sektor auf der Exportseite vernachlässigbar ist, da Deutschland weder große Öl- noch Gasvorkommen hat. Während die Importe in den Sektoren OME, MVT, SERV und CRP eher aus EU+ Regionen als aus den Regionen außerhalb Europas kommen (64% im Vergleich zu 36%), verteilen sich die Exporte eher gleichmäßig auf EU+ und nicht-EU+ Regionen (55% im Vergleich zu 45%).

Relativ zum gesamten Handelsvolumen Deutschlands beträgt der Anteil des EU+ Handels 57% für Importe und 58% für Exporte, was einen geringen Überschuss gegenüber dem Handel mit nicht-EU+ Ländern zeigt. Insbesondere Güter in den zwei Sektoren Textilindustrie (TWL) und elektronische Ausrüstung (ELE) werden hauptsächlich aus nicht-EU+ Regionen importiert, wobei der Großteil aus den süd-ostasiatischen Textilländern (Bangladesch, Thailand, Indonesien, Vietnam, Pakistan und Tunesien) sowie aus China, der Türkei und Indien kommt (insgesamt 64% aus diesen Regionen).

Abbildung 5 zeigt, wie sich die deutschen Importe und Exporte auf EU+ und nicht-EU+ Regionen verteilen. Zur Veranschaulichung fassen wir die sektoralen Ergebnisse in sieben Sektorgruppen zusammen (siehe Tabelle 2 für die Aggregation von Sektoren zu diesen Gruppen). Import- und Exportströme unterscheiden sich hinsichtlich Handelspartner und Sektorgruppen. EU+ Regionen haben eine ähnliche Bedeutung für sowohl Importe als auch für Exporte. Die intensivsten Handelsbeziehungen hat Deutschland mit der Zentral-EU und der Schweiz (CEU), den Benelux-Ländern (BLX), Frankreich (FRA) sowie dem Vereinigten Königreich und Irland (UKI).

Es gibt auch einige nicht-EU+ -Regionen, die sowohl wichtige Importquellen als auch wichtige Exportmärkte darstellen. Bei den deutschen Einfuhren beispielsweise machen Waren und Dienstleistungen aus China (CHN), Nordamerika (NAM), Eurasien (ERA, einschließlich Russland) und OPEC-Ländern (OIE) einen Großteil der Einfuhren aus dem außereuropäischen Ausland aus. Darüber hinaus stellen diese vier Regionen auch wichtige Exportdestinationen deutscher Waren und Dienstleistungen dar.

Abbildung 5: Verteilung der deutschen Importe und Exporte auf Regionen



Deutschlands Importe (links) aus und Exporte (rechts) nach EU+ und nicht-EU+ Regionen (in Millionen USD) nach Sektorgruppen in SSP2 (2050); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen und Tabelle 2 für genauere Zuteilung zu den Sektorgruppen.

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Betrachtet man die Sektorgruppen, so sind auf den ersten Blick drei Gruppen prominent: die Sektorgruppen «Maschinen und elektronische Produkte», «Restliche Industrie» sowie «Dienstleistungen und Bauwesen». Diese machen sowohl bei den Importen als auch bei den Exporten einen bedeutenden Anteil aus. Die deutschen Exporte sind allerdings stärker durch Maschinen und elektronische Geräte wie Motoren, Kraftfahrzeuge und elektronische Geräte und die restlichen Industriesektoren wie chemische Erzeugnisse, Eisen und Stahl sowie andere Metalle gekennzeichnet. Dienstleistungen und Tätigkeiten im Bauwesen werden verstärkt aus Europa importiert und weltweit exportiert, hierbei ist Deutschland ein Nettoexporteur. Importe in der Gruppe Bergbau und fossile Ressourcen kommen hauptsächlich aus der nördlichen EU (NEU, einschließlich Norwegen), den eurasischen Ländern (ERA, einschließlich Russland) und

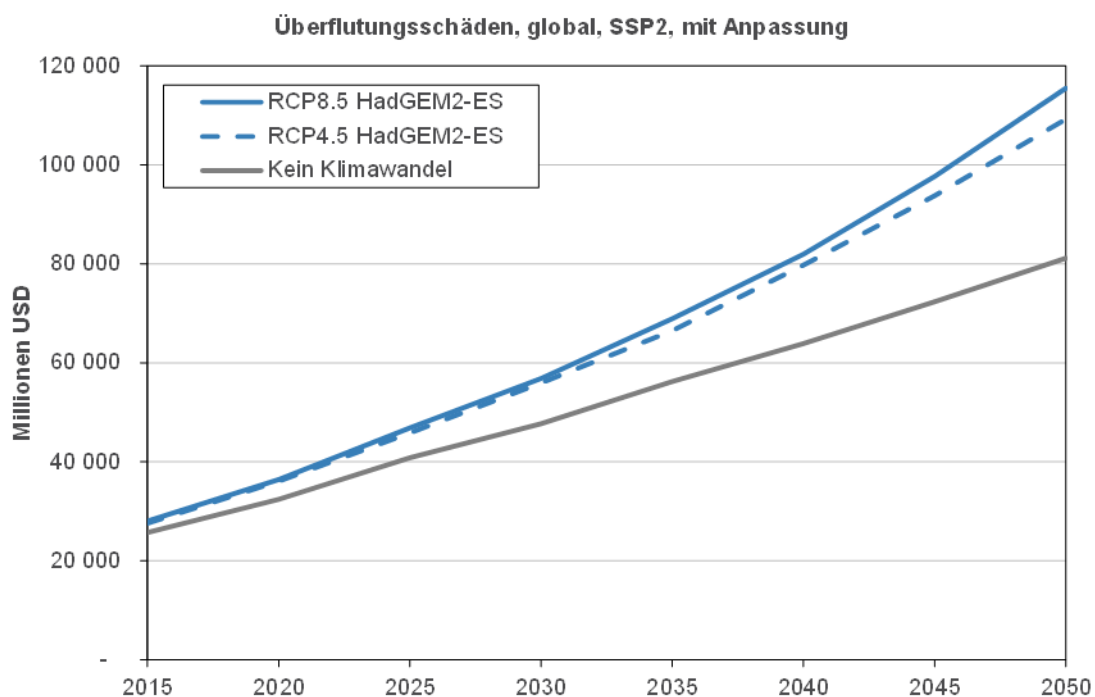
aus den OPEC-Ländern (OIE). Land- und forstwirtschaftliche sowie Fischereierzeugnisse werden aus wenigen EU+ Regionen importiert (Benelux Länder (BLX), Mediterranes EU27 (MEU), Frankreich (FRA) und Zentral-EU inklusive der Schweiz (CEU)) und hauptsächlich aus zwei außereuropäischen Regionen (Lateinamerika (LAM) und Afrika (AFR)). Exporte dieser Erzeugnisse werden innerhalb Europas primär in die Zentral-EU (CEU) und die Benelux Länder (BLX) geliefert, außerhalb sind vor allem Ölexportierende Länder im Mittleren Osten, Afrika und Venezuela (OIE), Eurasische Länder (ERA) und China (CHN) Abnehmer deutscher Exporte.

4.2 Klimawandeleffekte durch Meeresspiegelanstieg

Beschreibung der direkten Auswirkungen

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der globalen Infrastrukturschäden entlang von Küsten bis 2050, welche sich durch die Anwendung des Klimamodells HadGEM2-ES in Kombination mit DIVA ergeben. Unterstellt werden eine mittlere sozioökonomische Entwicklung (SSP2) sowie die beiden Emissionsszenarien RCP4.5 und RCP8.5. Ebenfalls abgebildet ist die Entwicklung, die sich ohne Klimawandel realisieren würde. Global ergeben sich in den beschriebenen Szenarien und Klimamodell-Kombination im Jahr 2050 Schäden in Höhe von 109 Milliarden USD unter RCP4.5 (bzw. 116 Milliarden USD unter RCP8.5), die deutlich höher liegen als die Schäden ohne Klimawandel (80 Milliarden USD). Für die zweite Hälfte des Jahrhunderts sind deutlich stärkere Effekte zu erwarten (vgl. Abschnitt 0), da das Abschmelzen der Gletscher und andere Phänomene, die zum Anstieg des Klimawandels führen, sehr langsame Prozesse sind.

Abbildung 6: Entwicklung der Überflutungsschäden



Entwicklung der Überflutungsschäden ohne (=kein Klimawandel) und mit Meeresspiegelanstieg bis 2050 für RCP4.5; verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES.

Quelle: Hinkel et al. 2014.

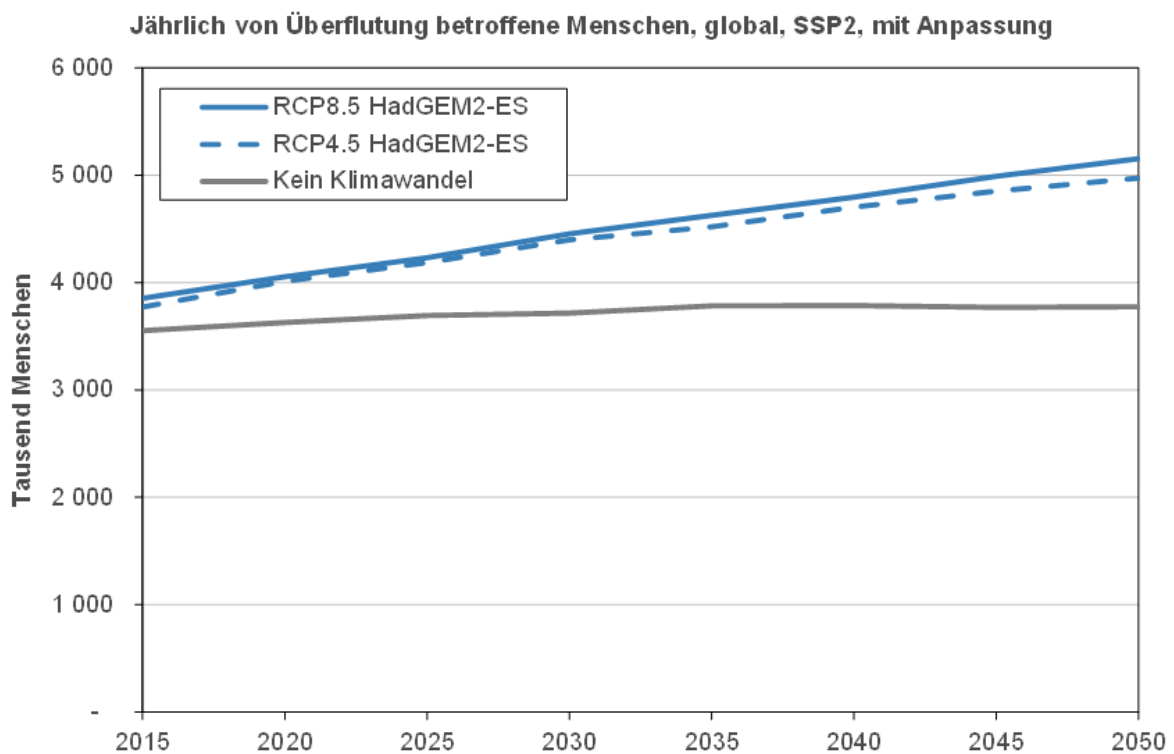
Bei der Analyse dieser Wirkungskette ist darauf hinzuweisen, dass aktive Anpassung unterstellt wird (Schutzbauten werden erhöht), da ein Szenario ohne jegliche Reaktion auf den Meeresspiegelanstieg zu extrem hohen Kosten führen würde (im Jahr 2100 um ein bis zu 30-

faches höher als mit Anpassung), was gesellschaftlich nicht akzeptiert würde, und somit ein unplausibles Szenario darstellt (Hinkel et al. 2014). Im Szenario mit aktiver Anpassung werden neben den Kosten durch Überflutungen auch die Kosten der Schutzbauten (Deiche) berücksichtigt.

Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der erwarteten jährlich von Überflutung betroffenen Menschen⁸, ebenfalls aus DIVA, getrieben durch die Kombination HadGEM2-ES, SSP2 für RCP4.5 und RCP8.5 (jeweils mit Anpassung). Es ist zu erkennen, dass ohne Klimawandel die Zahl der betroffenen Menschen konstant bleibt und mit Klimawandel bis 2050 von derzeit 3,5 Millionen auf rund 5 Millionen Menschen ansteigt.

In die weitere makroökonomische Analyse fließen Daten aus DIVA zu Schäden an Infrastruktur sowie Investitions- und Wartungskosten für Schutzbauten ein. Mögliche volkswirtschaftliche Effekte durch eine erhöhte Anzahl an von Überflutung betroffenen Menschen werden nicht weiter berücksichtigt.

Abbildung 7: Jährlich von Überflutung betroffenen Menschen (Erwartung)



Entwicklung der erwarteten Zahl der von Überflutungen betroffenen Menschen durch Meeresspiegelanstieg bis 2050 ohne und mit Klimawandel (HadGEM2-ES, RCP4.5 und RCP8.5, SSP2)

Quelle: Hinkel et al. 2014.

Ökonomische Auswirkungen in den Weltregionen

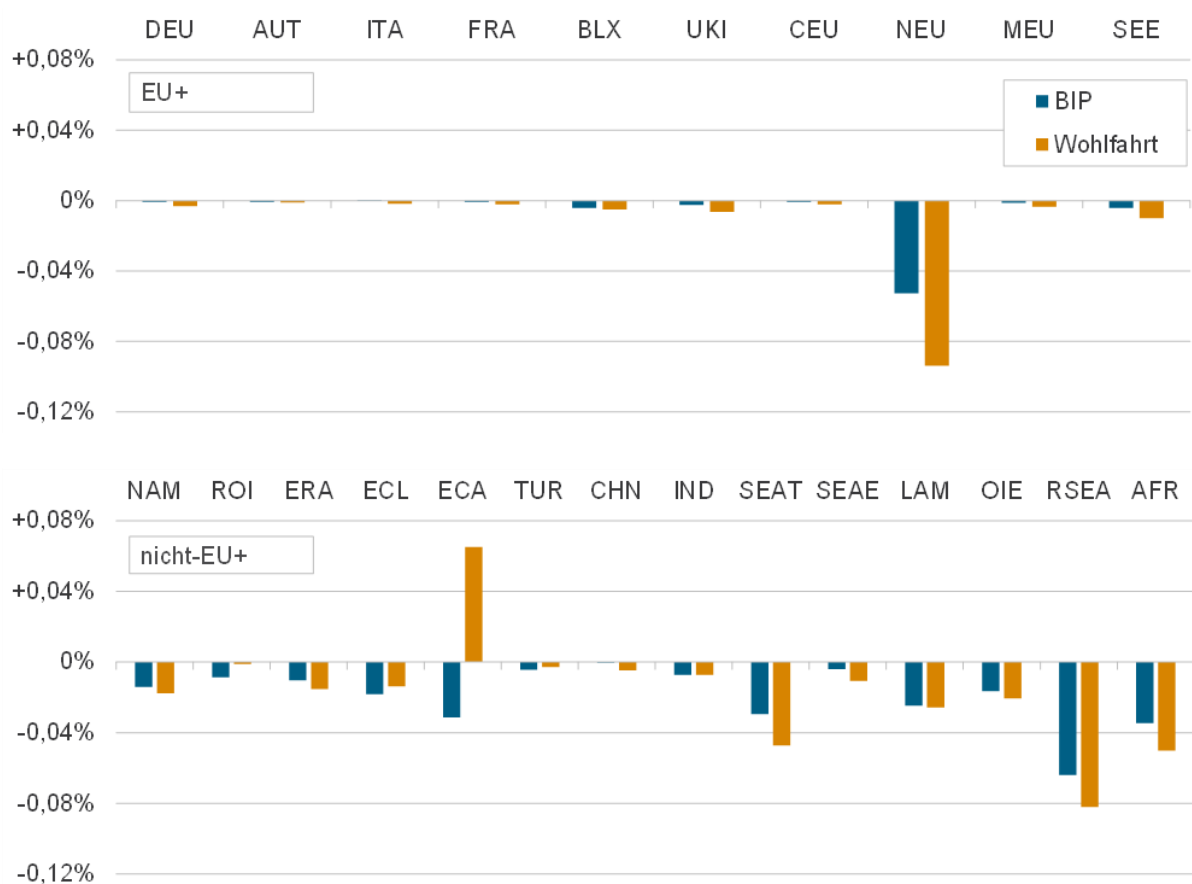
Im Folgenden werden die Auswirkungen des Meeresspiegelanstieges unter RCP4.5 (DIVA angetrieben durch HadGEM2-ES) relativ zum Basisszenario ohne Klimawandel (SSP2) beschrieben. Alle Ergebnisse sind für 2050 (Durchschnitt 2035-2065) als Abweichung zum

⁸ Die unterstellte Impact-Funktion ist eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, angewandt auf den Anstieg des Meeresspiegels. Das Integral wird zwischen der Deichhöhe (=aktuelles Schutzniveau) und der maximal möglichen Überflutungshöhe gebildet. Das aktuelle Schutzniveau ist je nach Küstensegment unterschiedlich (und nicht z.B. einheitlich HQ100). Es wird angenommen, dass bei einer Überflutung geringer als die Deichhöhe kein Schaden auftritt. Für weitere Details zur Modellierung, siehe Hinkel et al. (2014, 3295-2396).

Basisszenario (2050) dargestellt. Es handelt sich also um Niveau-Effekte, die beschrieben werden.

Abbildung 8 zeigt, wie sich der Anstieg des Meeresspiegels auf BIP und Wohlfahrt⁹ auswirkt. In allen Weltregionen sind negative BIP-Effekte zu sehen. Innerhalb der EU+ Regionen sind die stärksten Effekte in Nordeuropa (NEU) zu beobachten, wo sich viele Vermögenswerte entlang von Küsten befinden. Das jährliche BIP ist dort auf Grund von Meeresspiegelanstieg im Schnitt um -0,05% niedriger, als im Szenario ohne Klimawandel. Der Effekt auf das BIP Deutschlands ist in diesem Szenario sehr schwach negativ (-0,001%). Außerhalb der EU+ Regionen sind die stärksten negativen BIP-Effekte in Süd- und Südostasien (RSEA -0,06%; SEAT), Afrika (AFR), Schwellenländern in Asien und Israel (ECA), Lateinamerika (LAM) und Ölexportierenden Ländern (OIE) zu verzeichnen (jeweils zwischen -0,03% und -0,02%).

Abbildung 8: Veränderung von BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg



Veränderung von BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Betrachtet man den Wohlfahrts-Indikator, der die Veränderung der Konsummöglichkeiten durch veränderte relative Preise beschreibt, sind die Effekte stärker negativ, mit einem niedrigeren Wohlfahrtsniveau von bis zu -0,1% relativ zum Basisszenario (erneut in Nord EU

⁹ Verwendet wird das Konzept der Hicks'schen Äquivalenten Variation, das zeigt, wie viel dem Haushalt zum/vom Ausgangseinkommen im Basisszenario hinzugefügt/weggenommen werden müsste, um dasselbe Konsumniveau zu erreichen wie im Szenario mit Klimawandel.

27+ Liechtenstein, Norwegen und Island (NEU))¹⁰. Für Deutschland beträgt der Wohlfahrtseffekt -0,003%. Der Vergleich zwischen BIP und Wohlfahrt verdeutlicht, dass der negative BIP-Effekt schwächer ausfällt, da ein Rückgang der produzierten Outputmenge teilweise durch höhere Preise ausgeglichen wird.

Auswirkungen auf Deutschlands Handelsströme

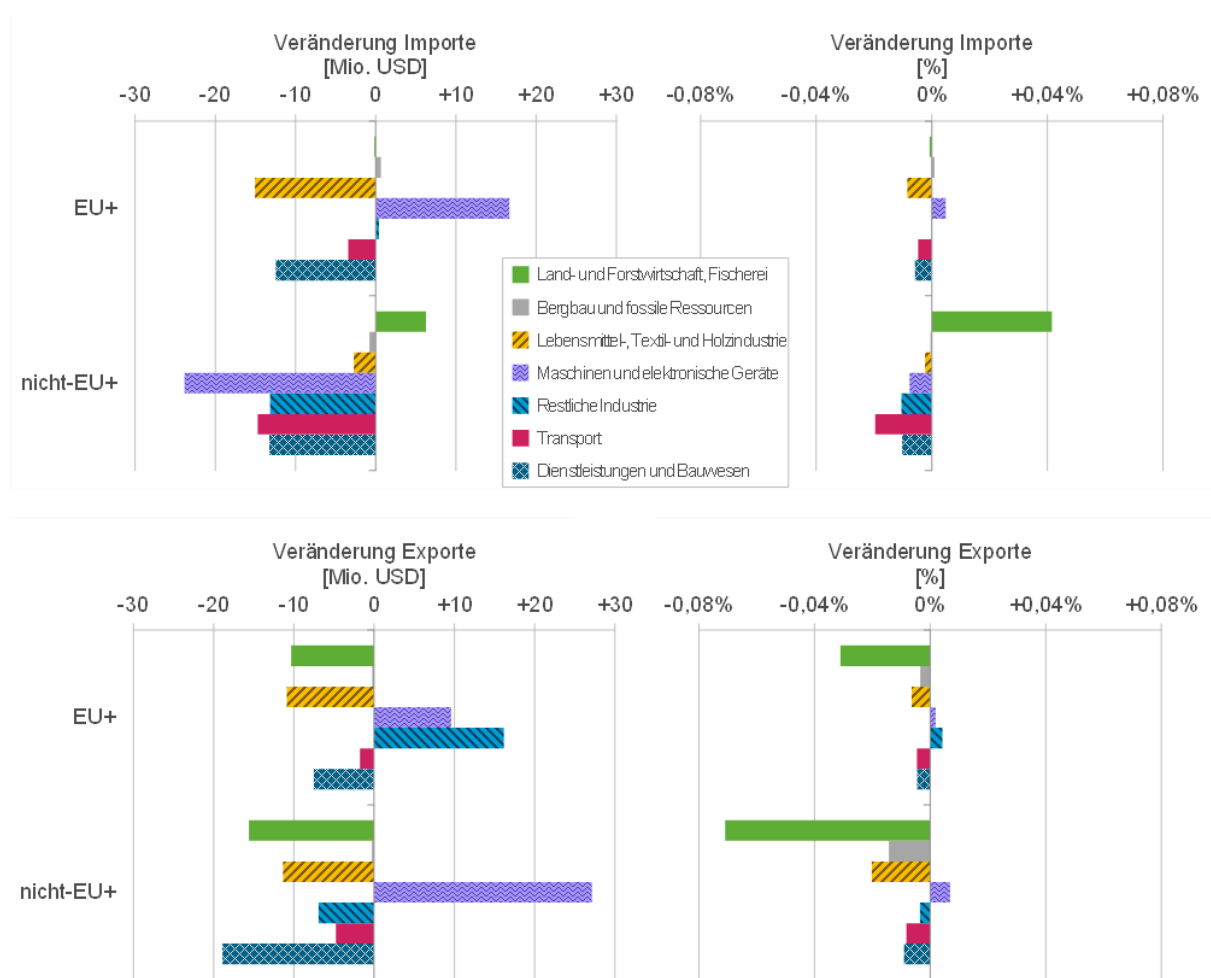
Abbildung 9 zeigt wie sich die Import- und Exportströme Deutschlands im Vergleich zum Basisszenario (SSP2 ohne Klimawandel) aufgrund des Meeresspiegelanstiegs ändern. Generell sind die Effekte sehr schwach, es gibt jedoch qualitativ interessante Verlagerungseffekte, da die Effekte des Meeresspiegelanstieges außerhalb der EU stärker sind als innerhalb der EU. Es ist zu beobachten, dass Importe vor allem aus den nicht-EU+ Regionen abnehmen und teilweise durch höhere Importe aus den EU+ Regionen kompensiert werden. Dies gilt insbesondere für Güter aus kapitalintensiven Sektoren (Maschinen und elektronische Geräte sowie Güter der Gruppe Restliche Industrie), da diese durch die klimawandelbedingte Reduktion des Effektivkapitals am stärksten betroffen sind und deren Preise steigen.

Weitere Verlagerungseffekte sind bei Agrarprodukten zu beobachten, jedoch hin zu mehr Importen aus nicht-EU+ Regionen. Auch in den Bereichen Transport, Dienstleistungen und Bauwesen sowie Lebensmittel-, Textil- und Holzindustrie sind Abnahmen in den Importen zu sehen (sowohl aus EU+ als auch aus nicht-EU+), was durch die leicht negativen Effekte auf Deutschlands Wirtschaft zu erklären ist. Insgesamt ist der Effekt auf die deutschen Importe sehr klein und liegt im Vergleich zum Basisszenario bei lediglich -0,003%. Dieser kleine Effekt sollte aber vor dem Hintergrund interpretiert werden, dass (i) es sich um den durchschnittlichen jährlichen Effekt einer 30-Jahres-Periode handelt und die Effekte in einzelnen Jahren deutlich stärker/schwächer sein können und (ii) bereits Anpassung unterstellt wird.

Auf der Export-Seite wird einerseits deutlich, dass es global zu geringerer Wirtschaftsleistung kommt und somit auch zu einer leichten Abnahme deutscher Exporte, jedoch wird auch sichtbar, dass Deutschland bei der kapitalintensiven Produktion (Maschinen und elektronische Geräte, Restliche Industrie) kompetitiver wird und somit seine Exporte dieser Sektoren ausweiten kann.¹¹ Zu regionalen Verlagerungseffekten kommt es in der Gruppe Restliche Industrie, da Deutschland einerseits mehr nach EU+ Regionen exportiert, jedoch weniger nach nicht-EU+ Regionen. Auch auf der Exportseite ist der Effekt im Vergleich zum Basisszenario sehr schwach und liegt bei -0,002%.

¹⁰ Eine Ausnahme stellt die Region ECA (Schwellenländer in Asien und Israel) dar, wo das durchschnittliche Preisniveau stärker sinkt als das Einkommen und somit mehr Konsum möglich ist.

¹¹ Solche internationalen Verlagerungseffekte entstehen da Produktionssektoren und Haushalte autonome Anpassung durchführen, indem sie – abhängig von Substitutionselastizitäten – flexibel auf Preisänderungen reagieren können.

Abbildung 9: Veränderung von Importen und Exporten Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg

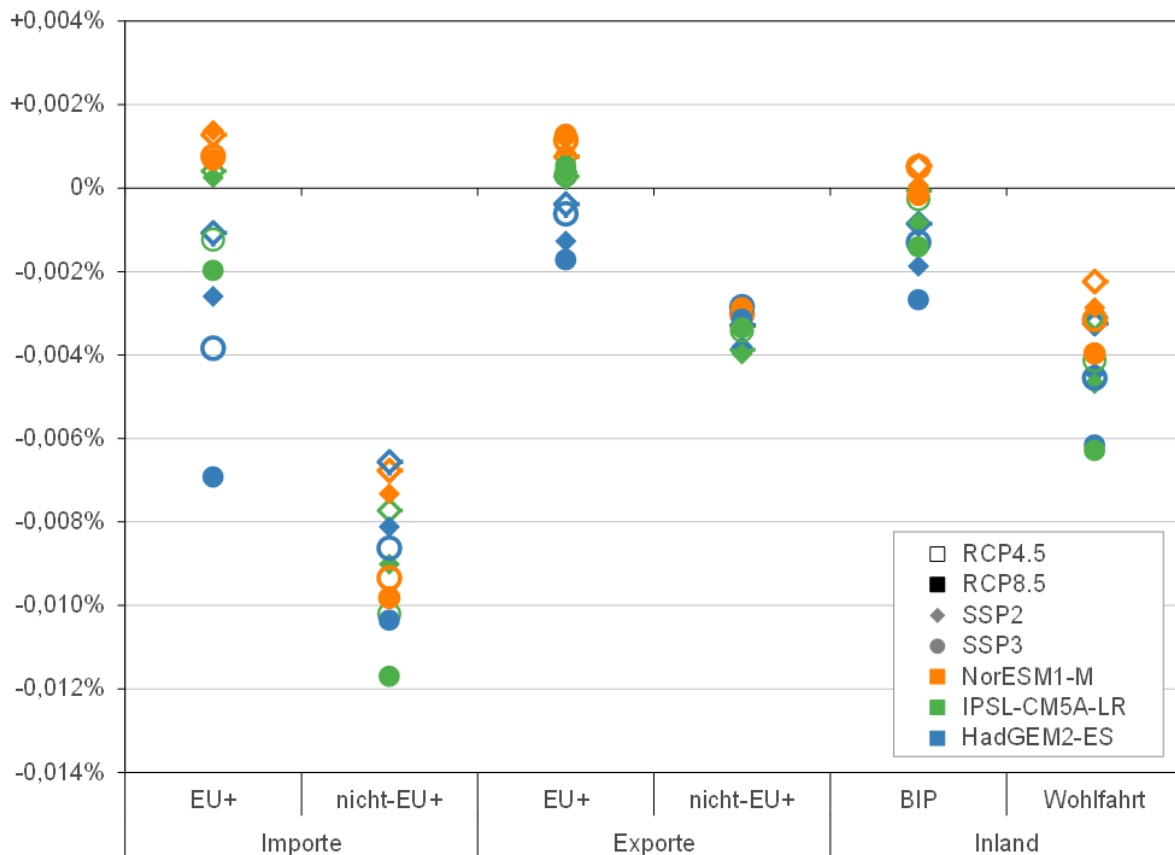
Veränderung von Importen (oben) und Exporten (unten) Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 2 für genauere Zuteilung zu den Sektorgruppen
Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Unsicherheitsanalyse

Abbildung 10 zeigt die Wirkungen auf Deutschlands Außenhandel und makroökonomische Indikatoren für das Inland (BIP und Wohlfahrt), für Variationen hinsichtlich Emissionsszenario (RCP4.5 und RCP8.5), sozioökonomischer Entwicklung (SSP2 und SSP3) sowie verwendetem globalen Klimamodell (NorESM1-M, IPSL-CM5A-LR und HadGEM2-ES). Es wird deutlich, dass die Effektstärke für alle Indikatoren auch bei Variationen insgesamt schwach bleibt, die Effekte jedoch in Kombination SSP3-RCP8.5 etwas stärker ausfallen, vor allem bei Importen aus nicht-EU+ Regionen. Ebenfalls wird sichtbar, dass es keinen signifikanten Einfluss des unterstellten SSPs gibt. Vergleicht man quer über die gewählten Klimamodelle wird deutlich, dass die Streuung zwischen den globalen Klimamodellen größer ist im Vergleich zur Streuung zwischen den unterschiedlichen Emissionsszenarien und sozioökonomischen Szenarien. Während bei Handelsströmen mit EU+ Regionen sowie beim BIP je nach Klimamodell sowohl positive als auch negative Effekte möglich sind, sind die Auswirkungen auf die Handelsströme mit den nicht-

EU+ Regionen sowie auf die Wohlfahrt für alle Szenarien und Modelle negativ.

Abbildung 10: Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg



Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Meeresspiegelanstieg im Vergleich zum Basisszenario (SSP2 oder SSP3); verwendete Klimamodelle: NorESM1-M, IPSL-CM5A-LR, HadGEM2-ES; jeweils für RCP4.5 und RCP8.5; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065)

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

4.3 Klimawandeleffekte durch Veränderung der Arbeitsproduktivität¹²

Beschreibung der physiologischen Auswirkungen

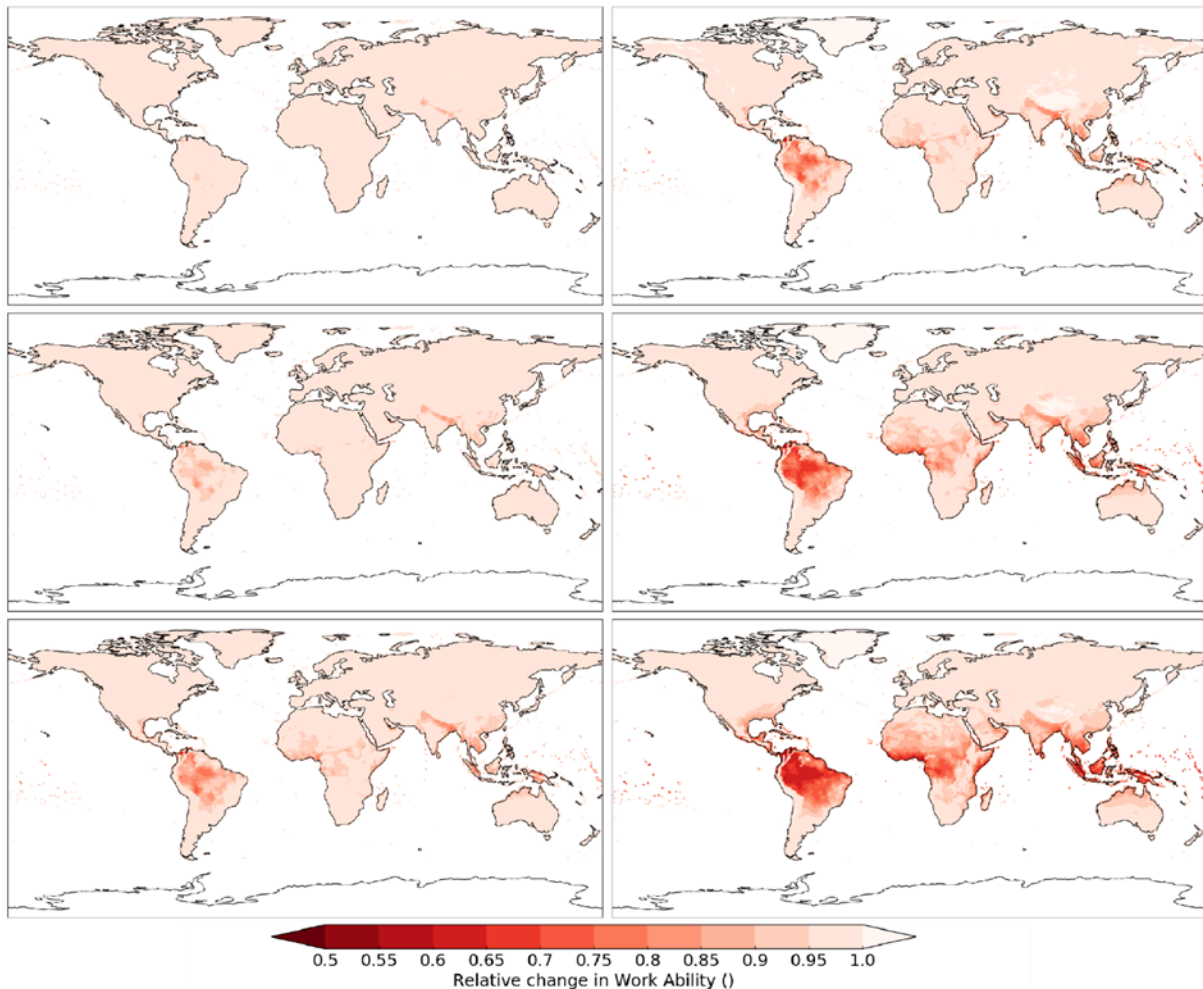
Abbildung 11 zeigt die globalen relativen Änderungen in der Arbeitsproduktivität bis 2036-2065, berechnet mit dem Globalen Klimamodell HadGEM2-ES auf Gitterpunkt-Ebene für das Emissionsszenario RCP4.5 (für Details zur Modellierung vergleiche Tabelle 3). Die sechs Grafiken unterscheiden Arbeitsintensität (Reihen von oben nach unten: 200W, 300W, 400W) und Tätigkeiten im Innenraum und im Freien (Spalten von links nach rechts). Für die zweite Hälfte des Jahrhunderts sind deutlich stärkere Effekte zu erkennen, mit gleichbleibenden regionalen Hotspots (vgl. Abschnitt 0).

Abbildung 11 verdeutlicht, dass Änderungen in der Arbeitsproduktivität für Tätigkeiten im Freien deutlich stärker ausfallen als für Tätigkeiten in Innenräumen. Regional ergeben sich die stärksten Änderungen für niedrig gelegene Regionen in der Nähe des Äquators, wobei deutliche

¹² vgl. auch Knittel, N., M. Jury, B. Bednar-Friedl, G. Bachner, and A. Steiner, A global analysis of heat-related labour productivity losses under climate change - implications for Germany's foreign trade, «in Bearbeitung».

Reduktionen innerhalb von $\pm 30^\circ$ -Breite sichtbar sind. Für einzelne Gitterpunkte in der Amazonas-Region wird zum Beispiel prognostiziert, dass die Arbeitsproduktivität für Schwerarbeit (400 W) im Freien um mehr als 40% im Vergleich zum derzeitigen Niveau sinken wird. Weitere globale Hotspots sind Länder am Golf von Guinea, in Zentralafrika und im maritimen Südostasien. Auch in dicht besiedelten Ländern wie Indien oder China sind die geschätzten Arbeitsproduktivitätsabnahmen für Tätigkeiten im Freien deutlich erkennbar.

Abbildung 11: Veränderungen in der Arbeitsfähigkeit für Innenräume (linke Spalte) und im Freien (rechte Spalte)

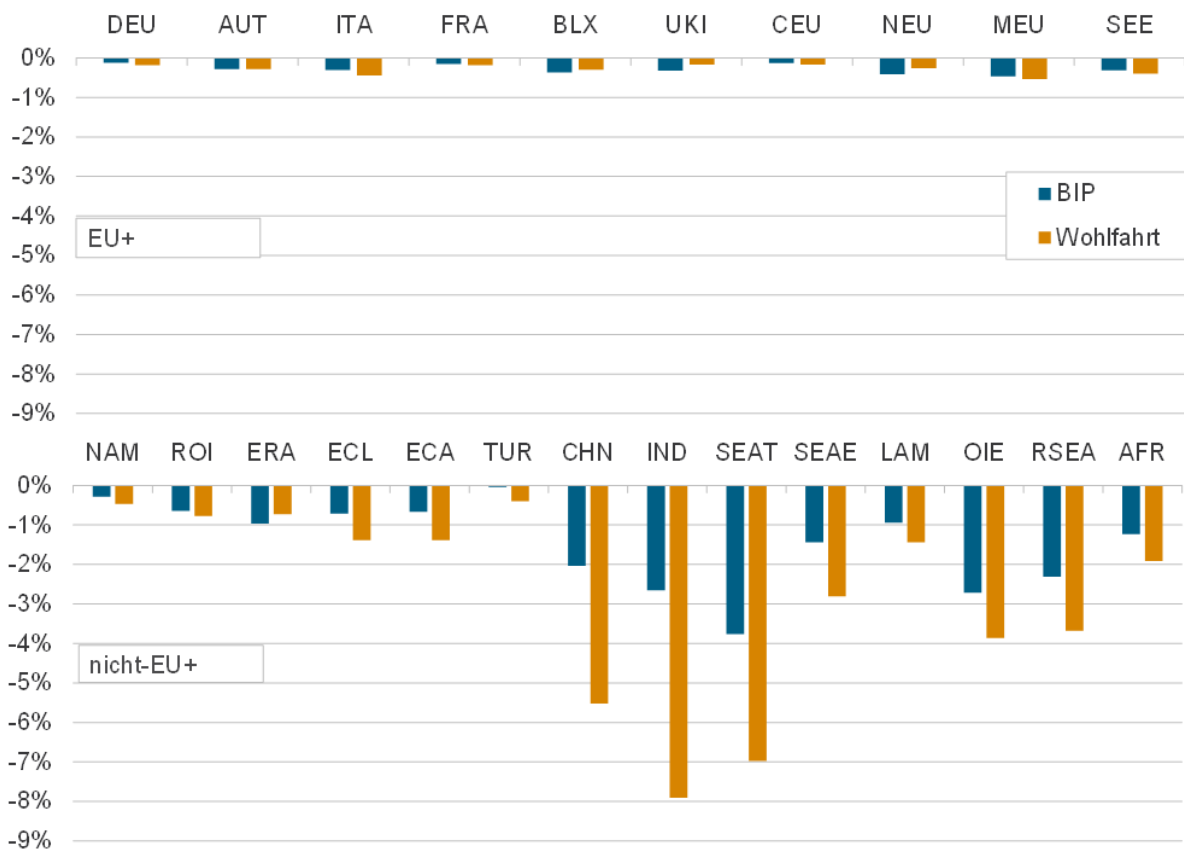


Durchschnittliche Veränderungen in der Arbeitsfähigkeit basierende auf Simulationen des Globalen Klimamodells Had-GEM2-ES für RCP4.5 bis 2036-2065 für Innenräume (linke Spalte) und im Freien (rechte Spalte) für Arbeitsintensitäten von 200W, 300W und 400W (in Zeilen, von oben nach unten)

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis Bröde et al. (2017) und ISIMIP (Warszawski et al. 2014)

Ökonomische Auswirkungen in den Weltregionen

Abbildung 12 zeigt die regionalen makroökonomischen Auswirkungen einer sich verändernden Arbeitsproduktivität unter RCP4.5 relativ zum Basisszenario ohne Klimawandel (SSP2). Alle Ergebnisse werden für 2050 entweder in relativen Werten (in %-Abweichungen vom Basisszenario) oder in absoluten Zahlen (Millionen USD₂₀₁₁) angegeben. Durch den Klimawandel verursachte Arbeitsproduktivitätsschocks führen in allen Regionen zu einer Reduktion des BIPs im Vergleich zum Basisszenario ohne Klimawandel (reichend von -0,04% in der Türkei bis zu -3,8% in Südostasien (SEAT)). Für Deutschland ist das BIP-Niveau um -0,12% niedriger, was ein geringerer Effekt als der europäische Durchschnitt von -0,3% ist.

Abbildung 12: Veränderung von BIP und Wohlfahrt im Jahr 2050 durch Rückgang der Arbeitsproduktivität

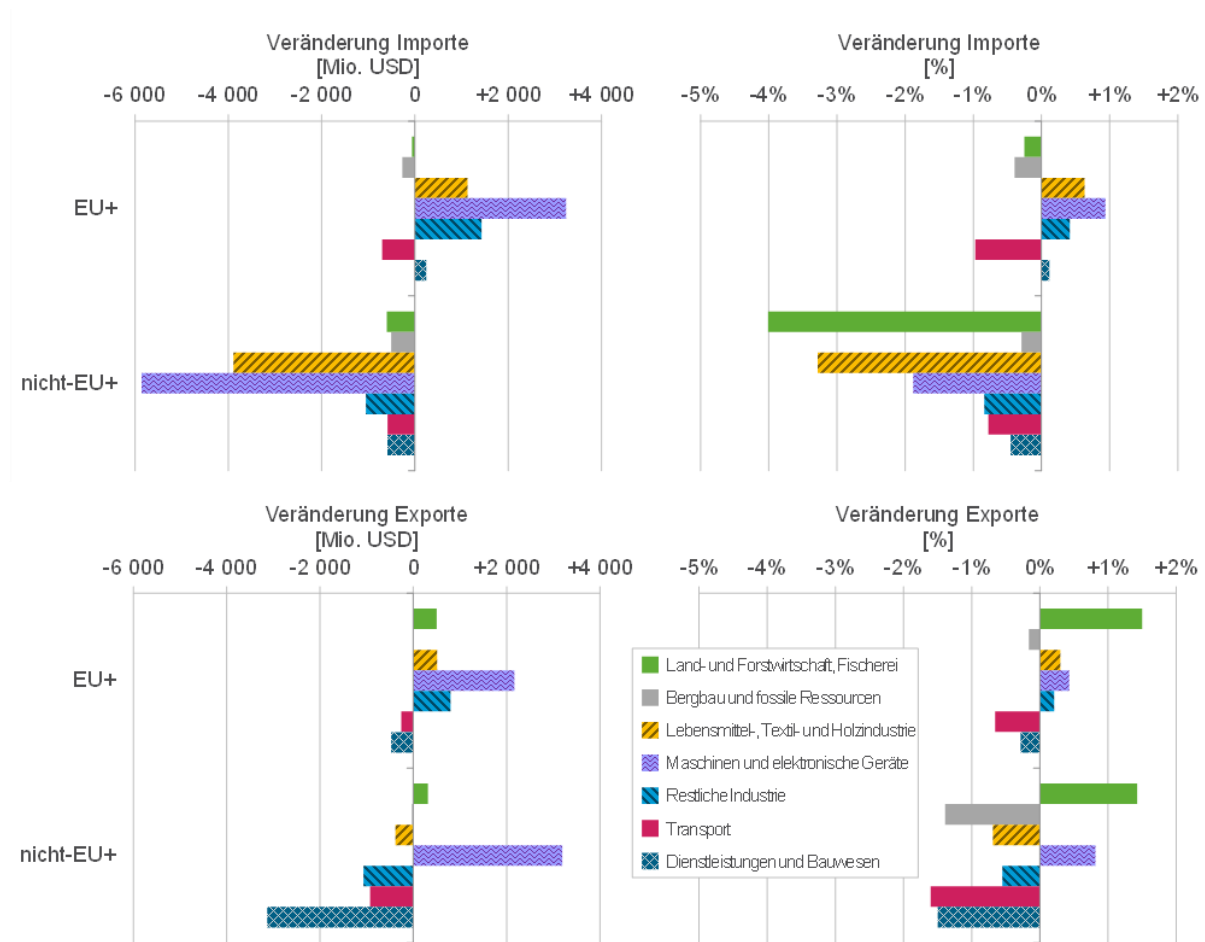
Veränderung von BIP und Wohlfahrt im Jahr 2050 durch Rückgang der Arbeitsproduktivität für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Auswirkungen auf Deutschlands Handelsströme

Mit Blick auf die Auswirkungen der Arbeitsproduktivitätsschocks auf deutsche Handelsströme lassen sich zwei Verschiebungen der Handelsmuster beobachten: Erstens sind Importe aus nicht-EU+ Regionen niedriger und werden teilweise durch Importe aus europäischen Ländern kompensiert, wodurch sich der Handel innerhalb Europas intensiviert. Zweitens variiert die Richtung der Veränderungen bei den Exporten je nach Sektorgruppe: Sowohl für die Agrarsektoren als auch Maschinen und elektronische Geräte steigen die Exporte in europäische und außereuropäische Länder, während Exporte von Dienstleistungen und Tätigkeiten im Bauwesen, Exporte aus Bergbautätigkeiten und fossiler Ressourcen als auch in den Transportsektoren geringer sind. Diese Muster sind in Abbildung 13 sichtbar.

Abbildung 13: Veränderung von Importen (oben) und Exporten (unten) Deutschlands im Jahr 2050 durch Rückgang der Arbeitsproduktivität



Veränderung von Importen (oben) und Exporten (unten) Deutschlands im Jahr 2050 durch Rückgang der Arbeitsproduktivität für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 2 für genauere Zuteilung zu den Sektorgruppen

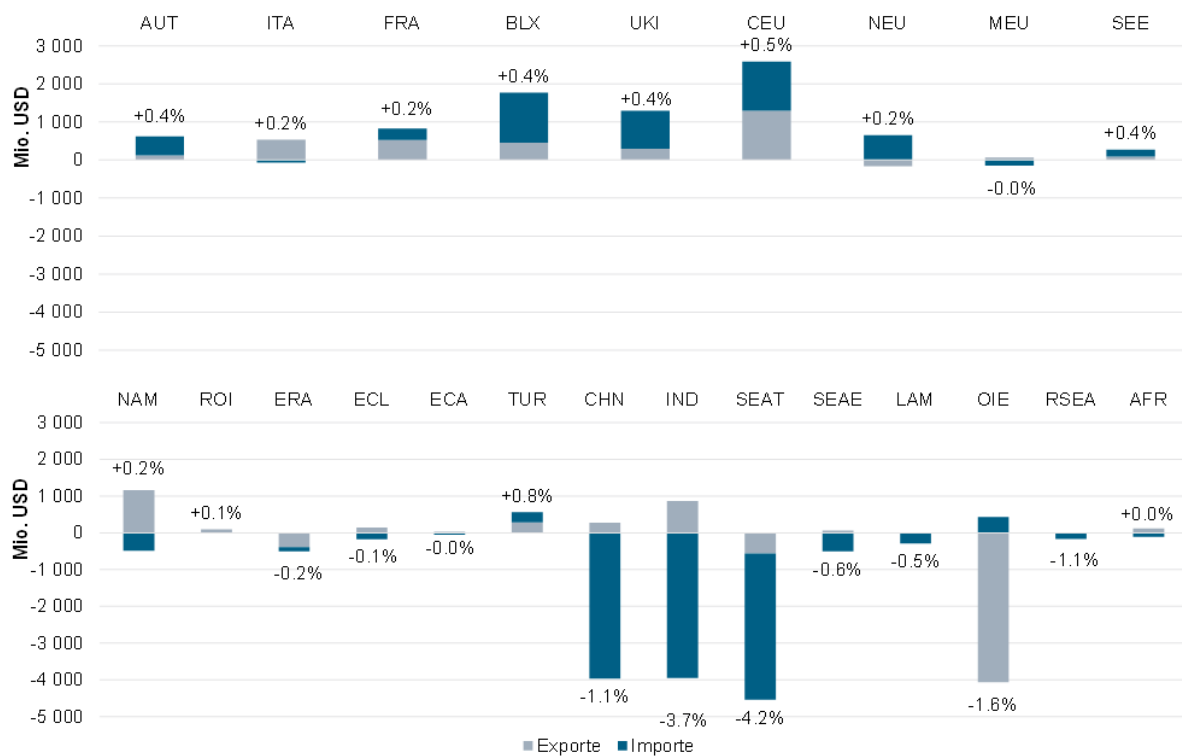
Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Ein Rückgang von knapp 6000 Mio. USD in Importen von Maschinen und elektronischen Geräten aus außereuropäischen Ländern wird nur teilweise durch Importe aus europäischen Ländern mit rund 3000 Mio. USD kompensiert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die deutsche Wirtschaft insgesamt über nationale und internationale Auswirkungen des Klimawandels betroffen ist und somit die Gesamtwirtschaftstätigkeit und die Importnachfrage geringer sind. In den Sektorgruppen Lebensmittel-, Textil- und Holzindustrie sowie den restlichen Industriesektoren zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch in den Transportsektoren sind die Importe geringer, hier jedoch sowohl aus EU+ wie auch aus nicht-EU+ Regionen. Importe von Dienstleistungen und dem Bauwesen hingegen sinken aus außereuropäischen Regionen und steigen wiederum leicht aus europäischen Regionen.

Veränderungen deutscher Exportströme andererseits reagieren unterschiedlich je nach Sektorgruppe. Die Effektrichtung bei den Exporten unterscheidet sich im Vergleich zu den Importen weniger nach regionalem Ziel (d.h. EU+ bzw. nicht-EU+ Regionen). So zeigt sich, dass hitzebedingte Arbeitsproduktivitätsschocks höhere Exporte für land- und forstwirtschaftliche und Fischereierzeugnisse als auch Maschinen und elektronische Geräte in sowohl EU+ als auch nicht-EU+ Regionen induzieren. Im Gegensatz dazu sind die Exporte von Dienstleistungen und Tätigkeiten im Bauwesen des Bergbaus und fossiler Ressourcen als auch von Transport

niedriger, sowohl in EU+ als auch in nicht-EU+ Regionen. Güter in Lebensmittel-, Textil- und Holzindustrien und den restlichen Industrien werden in geringerem Maße in nicht-EU+ Regionen, aber in etwas größerem Maße in EU+ Regionen exportiert.

Abbildung 14: Absolute Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelssaldos Deutschlands im Jahr 2050 durch Rückgang der Arbeitsproduktivität



Absolute (in Mio. USD) Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelssaldos Deutschlands im Jahr 2050 je Handelspartner durch Rückgang der Arbeitsproduktivität für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

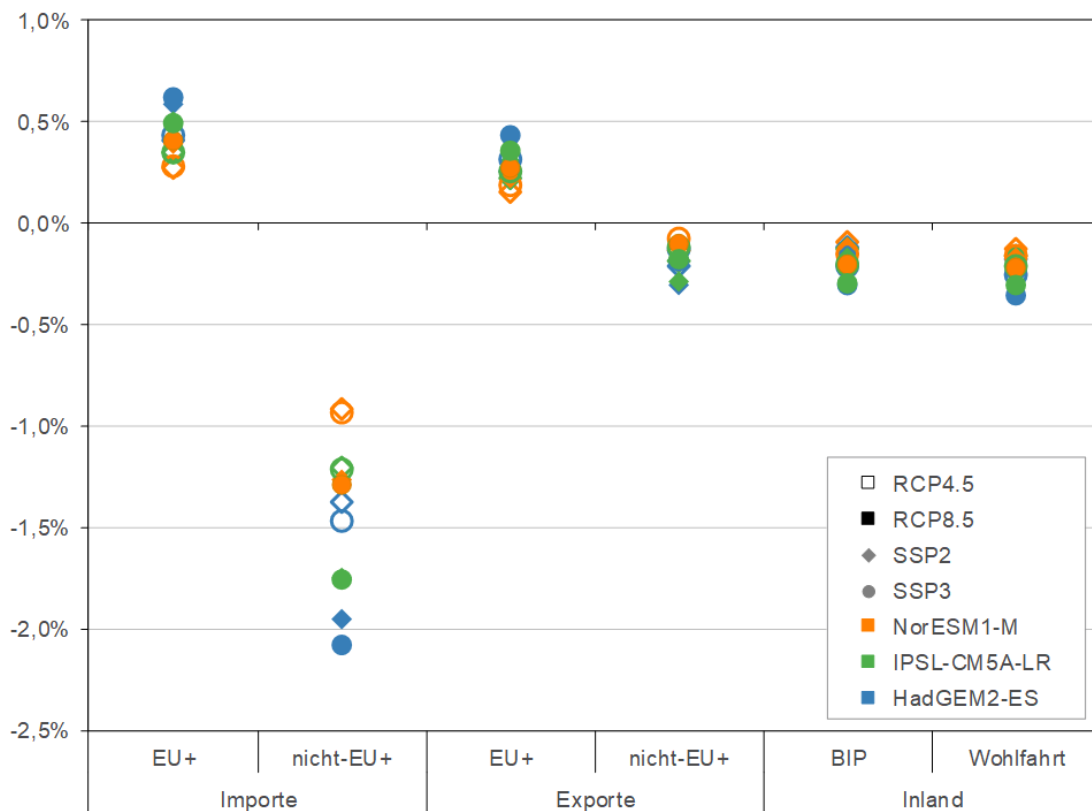
Aus Sicht der Handelsbilanz intensiviert Deutschland bis 2050 wegen den Folgen des globalen Klimawandels den Handel mit europäischen Ländern, sowohl import- als auch exportseitig als Reaktion auf hitzebedingte Produktivitätsverluste (siehe Abbildung 14). Im Gegensatz dazu werden die Handelsbeziehungen mit Ländern außerhalb Europas, insbesondere China (CHN), Indien (IND), den südostasiatischen Textilländern (Bangladesch, Thailand, Indonesien, Vietnam, Pakistan und Tunesien (SEAT)) und den ölexportierenden Ländern (OIE) reduziert. Bei China, Indien und den SEAT Ländern ist der Rückgang der Importe in Textilsektoren (TWL), Maschinen, Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (OME) sowie elektronischen Geräten (ELE) die Hauptursache der reduzierten Handelsbeziehungen, während für ölexportierende Länder der Rückgang der Exporte in Motoren, Kraftfahrzeugen und anderen Transportmitteln (MVT), Dienstleistungssektoren (SERV, einschließlich Versicherungen und Finanzdienstleistungen) und Maschinen (OME) maßgeblich sind. Es gibt jedoch auch eine leichte Intensivierung mit drei nicht-EU + Regionen: Ein leichter Anstieg des Handels ist mit der Türkei (TUR), Nordamerika (NAM; einschließlich der USA) und Australien, Neuseeland, Japan (alle in ROI eingeschlossen) zu beobachten. Für NAM ist der Anstieg des

Handels hauptsächlich auf mehr Exporte von Maschinen, Datenverarbeitungsanlagen, elektronischen und optischen Produkten (OME) zurückzuführen. Deutschland exportiert auch mehr dieser Waren in die Türkei, importiert aber auch mehr Textilindustrieprodukte. So werden die Importe von Textilien, Bekleidung und Leder teilweise von China, Indien und den südostasiatischen Textilländern (Bangladesch, Thailand, Indonesien, Vietnam, Pakistan und Tunesien) in die Türkei verlagert, die weniger stark von Veränderungen der Arbeitsproduktivität betroffen ist.

Unsicherheitsanalyse

Im Allgemeinen ändert sich die Richtung der Ergebnisse nicht, unabhängig davon, welche Dimension in den Unsicherheitsanalysen variiert wird. Es ist kein signifikanter Einfluss des sozioökonomischen Wandels (SSP3 statt SSP2) auf die Effektstärke beobachtbar. Aus Abbildung 15 ist ersichtlich, dass das sozioökonomische Szenario, welches größere Herausforderungen für sowohl Klimaschutz als auch Anpassung beschreibt (SSP3), in sehr geringem Maß zu jeweils stärkeren Effekten (positiv wie auch negativ) führt (Kreissymbole jeweils stärker positiv bzw. negativ als die Rautensymbole). Auch die Variation der Annahme des Emissionsszenarios zeigt eine leichte Tendenz dazu, dass bei einem höheren Emissionsszenario (RCP8.5 statt RCP4.5) die Effekte stärker sind, die Wirkungsrichtung ändert sich wiederum nicht (gefüllte Symbole jeweils stärker positiv bzw. negativ als leere Symbole). Ein signifikanter Unterschied ist aufgrund der Effektgröße bei dem Rückgang der Importe aus nicht-EU+ Regionen sichtbar. Die Abweichung entspricht den eben beschriebenen Mustern.

Abbildung 15: Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen der Arbeitsproduktivität



Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen der Arbeitsproduktivität im Vergleich zum Basisszenario (SSP2 oder SSP3); verwendete Klimamodelle: NorESM1-M, IPSL-CM5A-LR, HadGEM2-ES; jeweils für RCP4.5 und RCP8.5; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065)

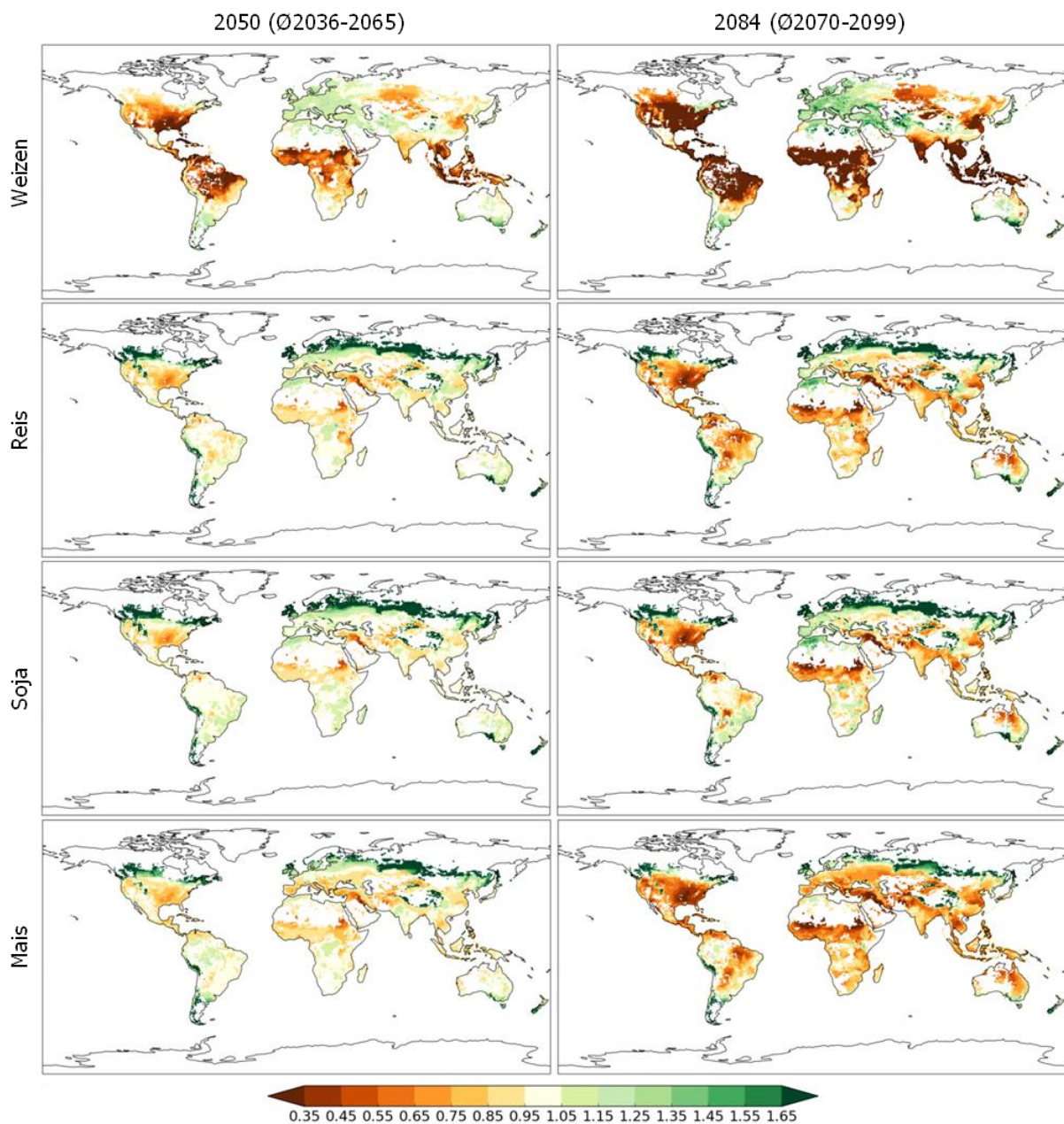
Quelle: Wegener Center, Universität Graz

4.4 Klimawandeleffekte durch Veränderung landwirtschaftlicher Erträge

Beschreibung der biophysikalischen Auswirkungen

Abbildung 16 zeigt wie sich die Erträge der vier Hauptanbausorten Weizen, Reis, Soja und Mais durch Klimawandel global verändern (errechnet mit dem Impactmodell EPIC angetrieben durch Klimamodell HadGEM2-ES und Emissionsszenario RCP4.5). Es wird deutlich, dass es in den nördlichen Weltregionen zu Ertragssteigerungen kommt, jedoch in den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel und im globalen Süden zu deutlichen Rückgängen. Dies gilt für alle vier Hauptanbausorten. Für die zweite Hälfte des Jahrhunderts sind deutlich stärkere Effekte zu erwarten, mit denselben qualitativen regionalen Trends (vgl. Abschnitt 0).

Gewichtet man die klimawandelinduzierten Ertragsänderungen mit den regionalen Anteilen der jeweiligen Anbausorten, ergibt sich für jede Modellregion ein Gesamteffekt für das Aggregat des pflanzlichen Landwirtschaftssektors. Mit der für die ökonomische Analyse weiter verwendeten Kombination aus globalen Klimamodell HadGEM2-ES und dem landwirtschaftlichen Ertragsmodell EPIC ergibt sich ein Median von +1,1% (25% Quartil: -0,9%, 75% Quartil: +2,8%). Deutschland liegt im oberen positiven Bereich bei +3,2%. Regionen mit den stärksten positiven Effekte sind die nördlich gelegenen europäischen Regionen (UKI und NEU). Die stärksten negativen Effekte sind in Afrika, Nord-Amerika, Südostasien und Indien zu erwarten.

Abbildung 16: Relative Änderung der landwirtschaftlichen Erträge

Relative Änderung der landwirtschaftlichen Erträge (1=historisches Mittel) von Weizen, Reis, Soja und Mais errechnet mit Impact-Modell EPIC getrieben durch Klimamodell Had-GEM2-ES und RCP4.5

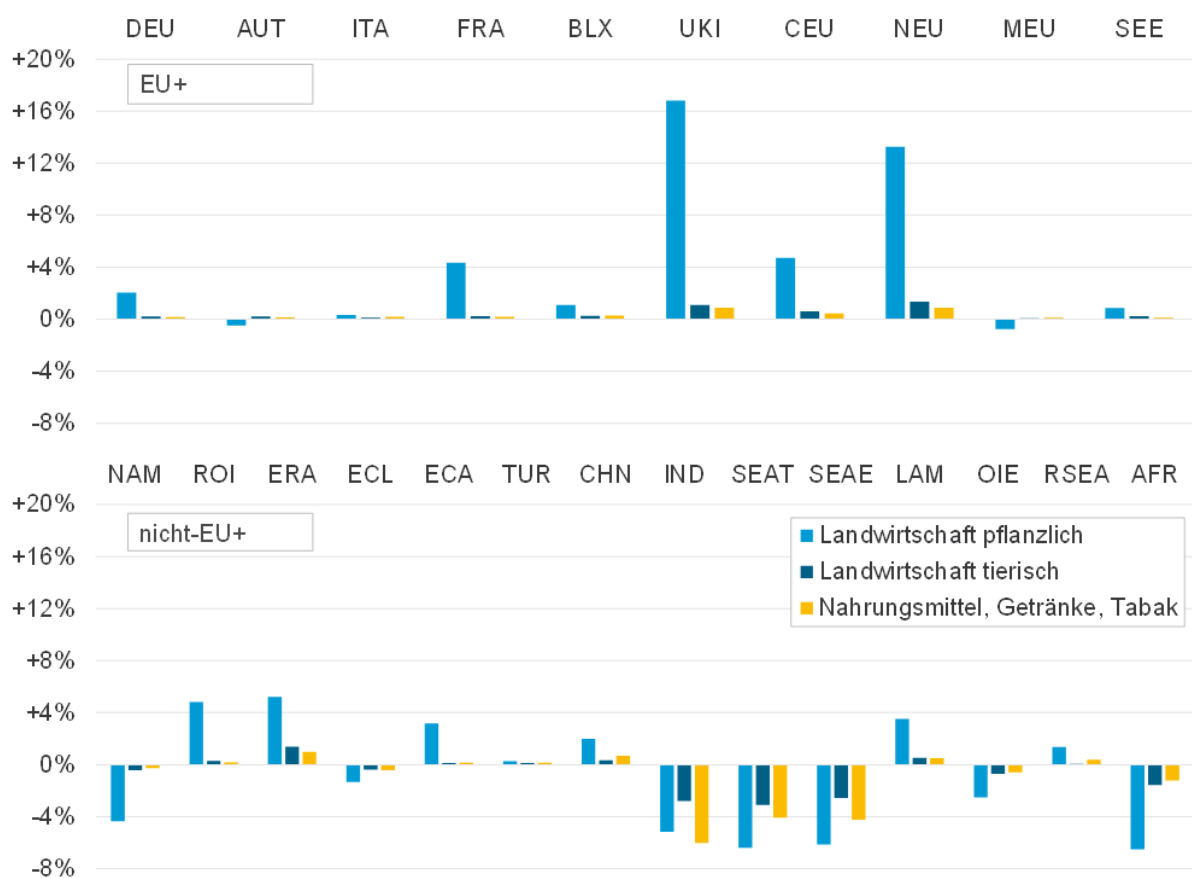
Quelle: ISIMIP (Warszawski et al. 2014)

Ökonomische Auswirkungen in den Weltregionen

Abbildung 17 zeigt, wie sich die Änderungen der Ernteerträge auf die sektoralen Umsätze des pflanzlichen und tierischen Landwirtschaftssektors sowie des Sektors „Nahrungsmittel, Getränke, Tabak“ auswirken. Gezeigt sind Ergebnisse für 2050, Emissionsszenario RCP4.5 und der Modell-Kombination HadGEM2-ES mit EPIC. Die Änderungen der Ernteerträge spiegeln sich in der Veränderung der sektoralen Umsätze (Output) des Landwirtschaftssektors (pflanzlich) wider. Innerhalb der EU+ Regionen stechen die nördlichen Regionen UKI und NEU mit relativ stark erhöhtem Umsatz hervor (+17% in UKI und +13% in NEU). Weiterhin sind relativ stark positive Effekte in CEU und FRA zu sehen. In Deutschland erhöht sich der Output des pflanzlichen landwirtschaftlichen Sektors um rund 2%. Innerhalb der nicht-EU+ Regionen gibt

es im Gegensatz zu EU+ deutlich negative Effekte. So reduziert sich der jährliche Output des pflanzlichen landwirtschaftlichen Sektors in Südostasien, Indien, Afrika und Nordamerika relativ stark (bis zu -7%). Die positiven oder negativen Effekte auf den pflanzlichen landwirtschaftlichen Sektor wirken sich auf nachgelagerte Sektoren wie der tierischen Landwirtschaft sowie den Sektor Nahrungsmittel, Getränke, Tabak aus. Der Output dieser Sektoren entwickelt sich generell parallel zu den Effekten des pflanzlichen landwirtschaftlichen Sektors, wobei festzustellen ist, dass dieser indirekte Effekt in weniger entwickelten Regionen deutlich stärker durchschlägt, da dort eine größere Abhängigkeit vom landwirtschaftlichen Sektor vorhanden ist und die Weiterverarbeitung von Agrarprodukten weniger technisiert ist.

Abbildung 17: Veränderung von sektoralen Umsätzen im Jahr 2050 durch klimawandelinduzierte Ertragsveränderungen in der Landwirtschaft



Veränderung von sektoralen Umsätzen im Jahr 2050 durch klimawandelinduzierte Ertragsveränderungen in der Landwirtschaft für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; verwendetes Impact-Modell: EPIC; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

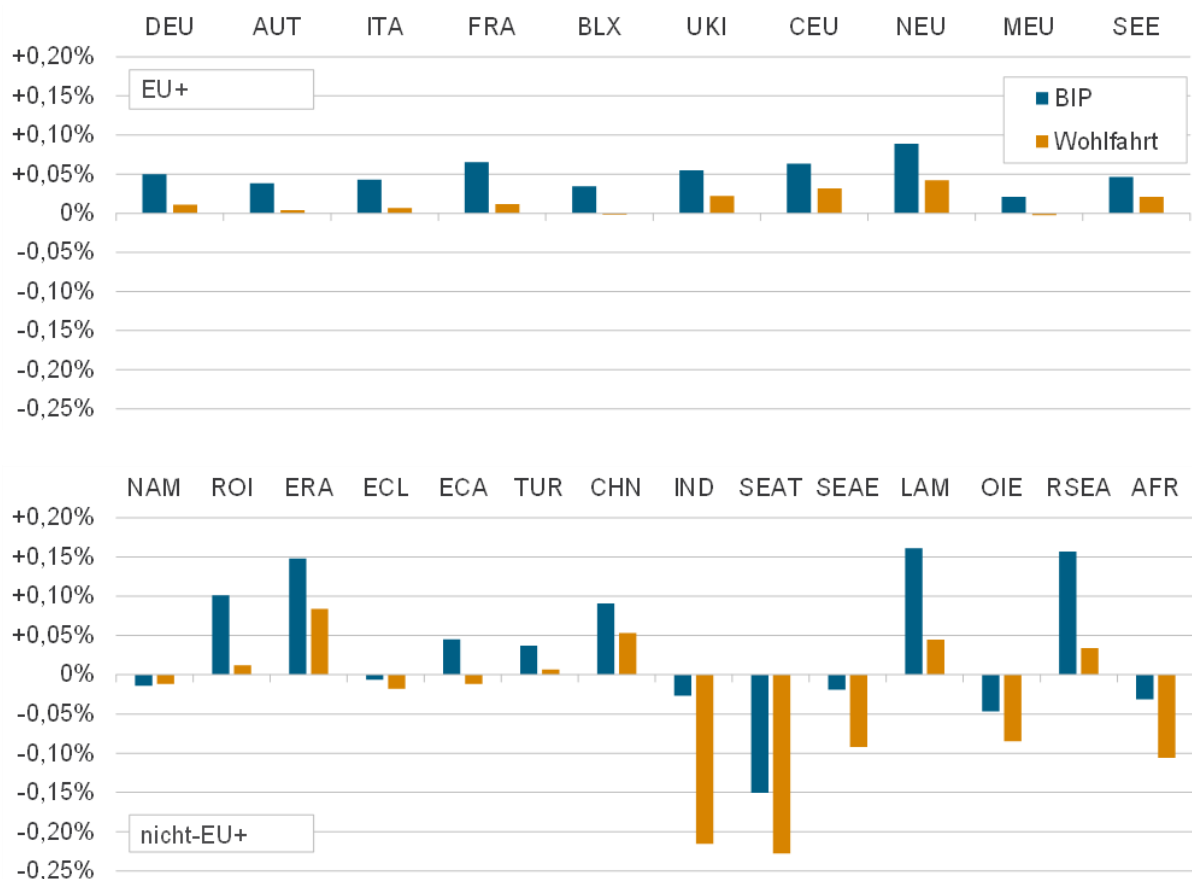
Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Abbildung 18 zeigt, wie sich klimawandelinduzierte Ertragsveränderungen in der Landwirtschaft auf BIP und Wohlfahrt in den verschiedenen Weltregionen auswirken. In Europa sind in diesem Szenario leicht positive BIP und Wohlfahrtseffekte zu beobachten mit der Ausnahme der EU-Mittelmeer-Regionen, wo bereits 2050 leicht negative Wohlfahrts-Effekte spürbar werden (der positive BIP-Effekt in MEU ergibt sich durch erhöhte Preise für heimisch erzeugte Agrarprodukte). Generell ist den EU+ Regionen der Wohlfahrtseffekt schwächer, da der Anteil landwirtschaftlicher Güter am Endkonsum relativ klein ist.

Für nicht-EU+ Regionen sehen die Effekte auf BIP und Wohlfahrt deutlich anders aus als in den EU+ Regionen. Negative BIP-Effekt treten in folgenden Regionen auf: Süd-Ost-Asien (-0,15%),

Ölexportierende Länder (-0,05%), Afrika (-0,03%), Indien (-0,03%), Nord-Amerika sowie in den Schwellenländern Lateinamerikas (jeweils -0,01%). Die negativen Wohlfahrtseffekte sind oft deutlich stärker ausgeprägt, da landwirtschaftliche Güter einen relativ hohen Anteil am Endkonsum haben und erhöhte Preise somit zu relativ starken Einschränkungen in den Konsummöglichkeiten führen (jedoch dämpfend auf den negativen BIP-Effekt wirken). In den restlichen nicht-EU+ Regionen kommt es zu positiven BIP und Wohlfahrts-Effekten (jeweils bis zu +0,16% und +0,08%).

Abbildung 18: Veränderung von BIP und Wohlfahrt im Jahr 2050 durch klimawandelinduzierte Ertragsveränderungen in der Landwirtschaft



Veränderung von BIP und Wohlfahrt im Jahr 2050 durch klimawandelinduzierte Ertragsveränderungen in der Landwirtschaft für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; verwendetes Impact-Modell: EPIC; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

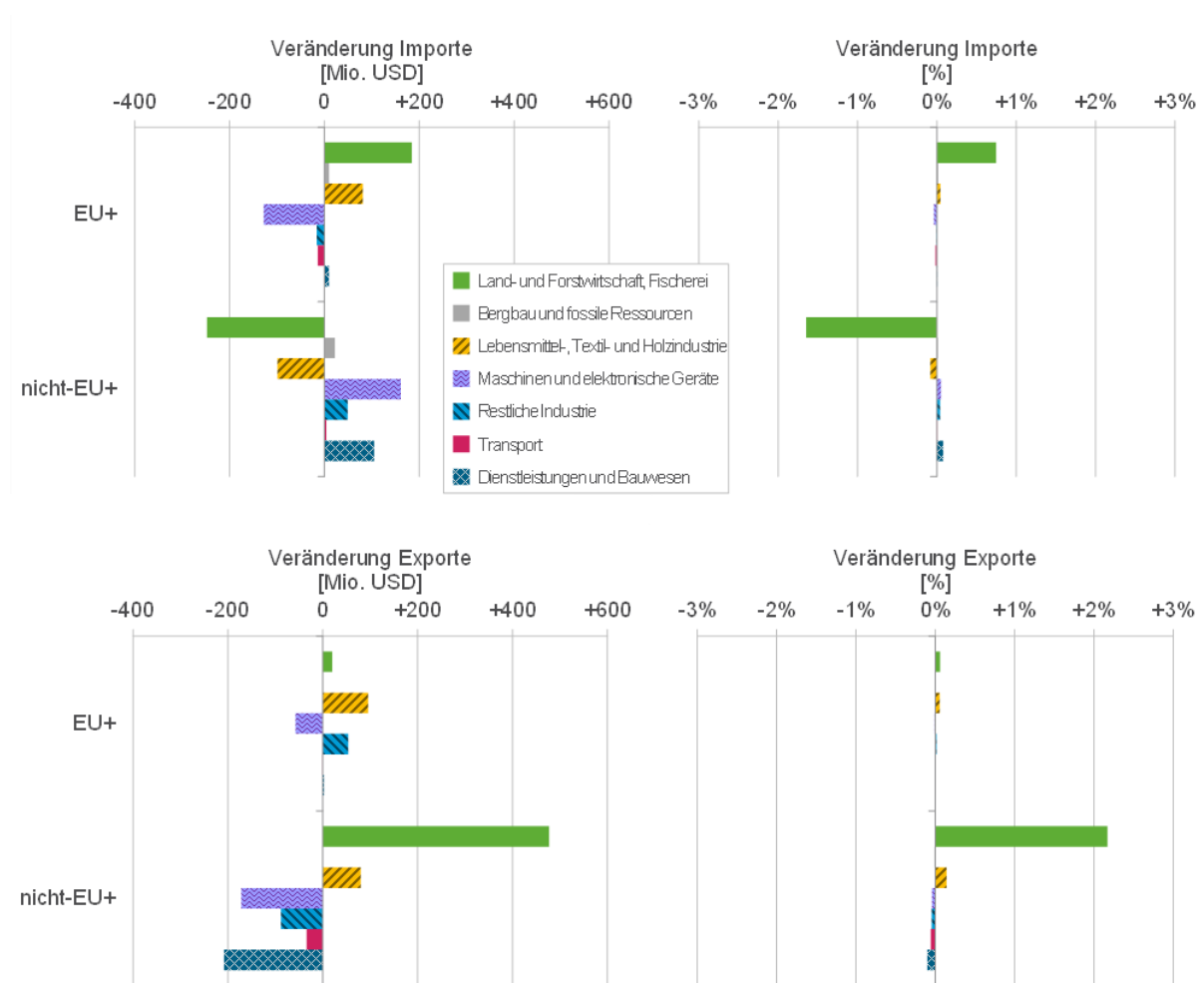
Auswirkungen auf Deutschlands Handelsströme

Abbildung 19 zeigt, wie sich die globalen Auswirkungen auf landwirtschaftliche Erträge auf Deutschlands Import- und Exportströme auswirkt. Importseitig kommt es zu einer Verlagerung von Agrarprodukten, die nun vermehrt von EU+ Regionen (+0,8%) bezogen werden und vermindert von nicht-EU+ Regionen (-1,7%). Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Preisniveau für Agrarprodukte in vielen nicht-EU+ Regionen steigt (um bis zu +3% in Indien und Südostasien), während es innerhalb der EU sinkt (um bis zu -3,7% in Nordeuropa) und zu dementsprechender Nachfrageänderung kommt. Gleiches gilt für Güter der Gruppe Lebensmittel-, Textil und Holzindustrie, jedoch ist der Effekt deutlich schwächer ausgeprägt. Bei den übrigen Sektor-Gruppen sind nur relativ schwache Effekte zu sehen. Nicht-EU+ Regionen spezialisieren sich auf andere Güter und Deutschland importiert somit vermehrt Maschinen und

elektronische Güter aus nicht-EU+ Regionen, während Importe dieser Güter aus EU+ leicht zurückgehen. Insgesamt liegen die Importe Deutschlands in diesem Klimawandel-Szenario um +0,006% über dem Niveau des Basisszenarios ohne Klimawandeleffekte.

Exportseitig ist erkennbar, dass Deutschland nun mehr Agrarprodukte exportiert, vor allem in nicht-EU+ Regionen, da dort klimawandelinduzierte Preisanstiege zu verzeichnen sind und somit vermehrt auf Importe (u.a. aus Deutschland) zurückgegriffen wird. Dasselbe gilt für Güter der Gruppe Lebensmittel- und Textilindustrie. Die Exporte aus anderen Sektorgruppen nach nicht-EU+ Regionen sind etwas geringer, da die Wirtschaftsleistung in diesen Regionen durch negative Effekte auf die Landwirtschaft abnimmt und somit auch die Nachfrage für Deutsche Exportprodukte niedriger ist. Insgesamt liegt das Niveau der Exporte Deutschlands um +0,008% höher als im Szenario ohne Klimawandeleffekte.

Abbildung 19: Veränderung von Importen und Exporten Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen landwirtschaftlicher Erträge



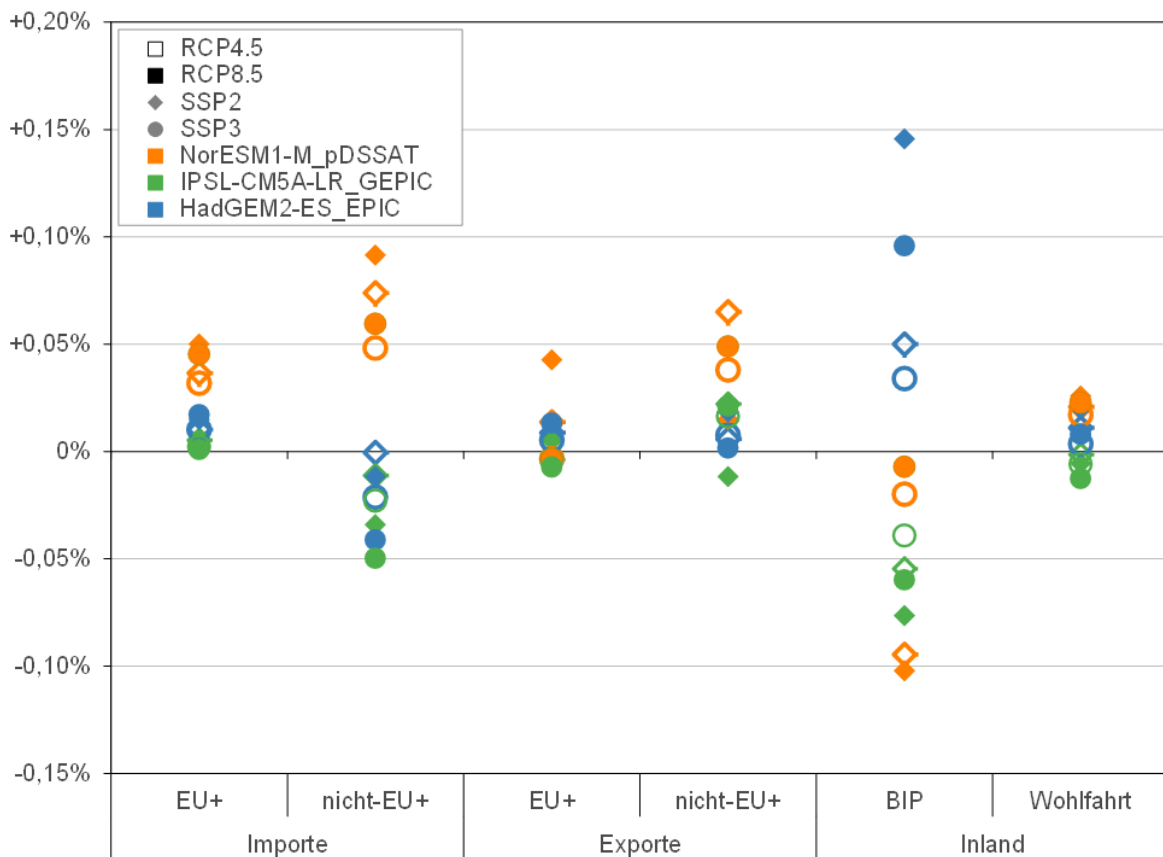
Veränderung von Importen (oben) und Exporten (unten) Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen landwirtschaftlicher Erträge für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; verwendetes Impact-Modell: EPIC; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 2 für genauere Zuteilung zu den Sektorgruppen

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Unsicherheitsanalyse

Abbildung 20 zeigt die Wirkungen auf Deutschlands Außenhandel und makroökonomische Indikatoren für das Inland (BIP und Wohlfahrt), für Variationen hinsichtlich Emissionsszenario (RCP4.5 und RCP8.5), sozioökonomischer Entwicklung (SSP2 und SSP3) sowie Klimamodell (NorESM1-M, IPSL-CM5A-LR und HadGEM2-ES). Es wird deutlich, dass die Unsicherheiten groß sind, da die Werte sowohl in positive als auch in negative Bereiche streuen. Dies resultiert vor allem aus den Unterschieden in den Klima- und Impactmodellen. So sind für Deutschland durchaus auch negative Effekte auf BIP und Wohlfahrt möglich, wobei der Effekt auf das BIP stärker streut als jener auf die Wohlfahrt, was folgendermaßen erklärbar ist: Einerseits sind im BIP auch relative Preiseffekte mit eingepreist, im Wohlfahrtsindikator hingegen jedoch nicht.¹³ Andererseits haben landwirtschaftliche Produkte nur einen kleinen Anteil am Endkonsum (und somit an der Wohlfahrt), was zu insgesamt schwächeren Wohlfahrtseffekten führt. Auch der Einfluss unterschiedlicher sozioökonomischer Entwicklungen ist verglichen mit den anderen Wirkungsketten stärker.

Abbildung 20: Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen landwirtschaftlicher Erträge



Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch Veränderungen landwirtschaftlicher Erträge im Vergleich zum Basisszenario (SSP2 oder SSP3); verwendete Klimamodelle: NorESM1-M, IPSL-CM5A-LR, HadGEM2-ES; jeweils für RCP4.5 und RCP8.5; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065)

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

¹³ Dies wird deutlich, wenn man die Ergebnisse durch NorESM1-M_pDSSAT betrachtet. In diesen Fall ist der BIP-Effekt negativ, was sich vor allem aufgrund sinkender Preise ergibt, der Wohlfahrtseffekt jedoch positiv, da aufgrund von niedrigeren Preisen mehr konsumiert werden kann.

4.5 Veränderungen auf der Exportseite Deutschlands durch Kaufkraftverluste im Ausland sowie Zusammenspiel der modellierten Effekte (Gesamtlauf)

Beschreibung der biophysikalischen Auswirkungen

In diesem Abschnitt wird das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Veränderung der Arbeitsproduktivität sowie Veränderung landwirtschaftlicher Erträge beschrieben und analysiert. Dieser Lauf berücksichtigt somit auch alle Änderungen, die sich durch eine veränderte Exportnachfrage im Ausland ergeben, beispielsweise durch Kaufkraftverluste. In der Analyse werden für alle Wirkungsketten das Emissionsszenario RCP4.5 und das sozioökonomische Szenario SSP2 unterstellt. Das verwendete Klimamodell ist HadGEM2-ES. Gezeigt werden Ergebnisse für 2050 (Ø2036-2065).

Die biophysikalischen Effekte und direkten Kosten des Meeresspiegelanstieges stammen aus DIVA (Hinkel et al. 2014, siehe Abschnitt 4.2 für Details). Global ergeben sich unter RCP4.5 für das Jahr 2050 Schäden in Höhe von 109 Milliarden USD, die deutlich über dem Niveau der prognostizierten Schäden ohne Klimawandel liegen (80 Milliarden USD). Es ist darauf hinzuweisen, dass für die zweite Hälfte des Jahrhunderts deutlich stärkere Effekte zu erwarten sind und, dass aktive Anpassung unterstellt wird (diesbezügliche Kosten sind berücksichtigt).

Die Veränderung der Arbeitsproduktivität basiert auf physiologischen Studien zu steigenden Temperaturen und steigender Luftfeuchtigkeit (Bröde et al. 2017), auf Basis ISIMIP (Warszawski et al. 2014), siehe Abschnitt 4.3). In allen Modellregionen reduziert sich die Arbeitsproduktivität durch Klimawandel, vor allem in Regionen nahe des Äquators und für Tätigkeiten im Freien. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass für die zweite Hälfte des Jahrhunderts deutlich stärker Effekte zu erwarten sind. Außerdem wird hier keine Anpassung (z.B. Klimatisierung, Änderungen in den Arbeitsbedingungen) unterstellt.

Die Produktivitätsveränderungen der Landwirtschaft stammen aus dem Modell EPIC (Warszawski et al. 2014 (ISIMIP), siehe Abschnitt 4.4). Für die vier Hauptanbausorten Weizen, Reis, Soja und Mais kommt es in nördlichen Weltregionen zu Ertragssteigerungen, jedoch zu – teilweise starken – Rückgängen in den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel und im globalen Süden. Für die zweite Hälfte des Jahrhunderts sind deutlich stärkere Effekte zu erwarten, mit denselben qualitativen regionalen Trends.

Die jeweilige Implementierung dieser Wirkungsketten ins makroökonomische Modell ist in Kapitel 3.4 und insbesondere Tabelle 3 zusammengefasst.

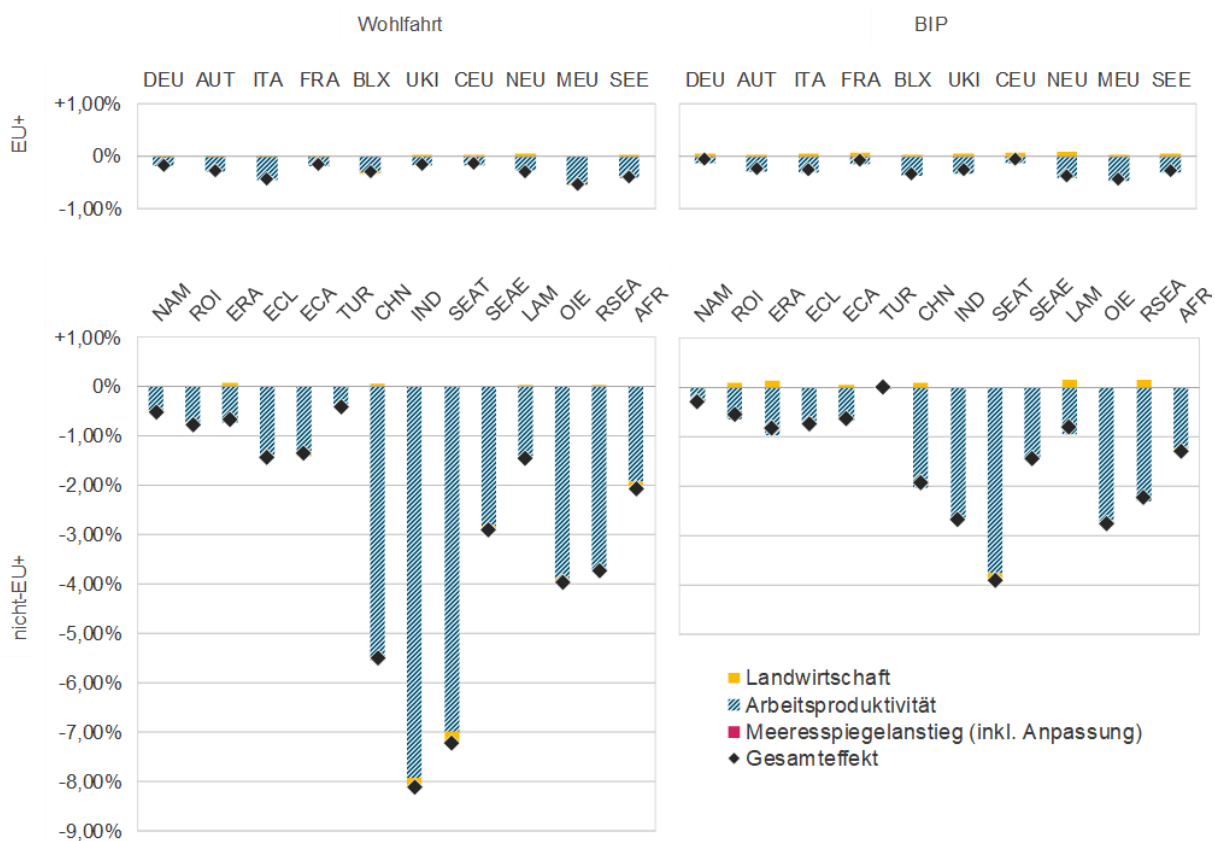
Ökonomische Auswirkungen in den Weltregionen

Abbildung 21 zeigt die regionalen Wohlfahrts- (links) und BIP-Effekte (rechts) durch klimawandelinduzierte(n) Meeresspiegelanstieg, Veränderungen in der Arbeitsproduktivität und Veränderungen der landwirtschaftlichen Ernteerträge in den EU+ Regionen (oben) und in den nicht-EU+ Regionen (unten) für das Jahr 2050. Es wird deutlich, dass sowohl BIP als auch Wohlfahrt in allen Modellregionen im Gesamteffekt niedriger sind als im Basisszenario; mit deutlich stärkeren negativen Effekten in den nicht-EU+ Regionen. Der BIP Verlust ist in den Regionen Südostasien mit Schwerpunkt auf Textilindustrie (SEAT; -3,9%), Ölexportierende Länder (OIE; -2,8%), Indien (IND; -2,7%), Restliches Süd- und Südostasien (RSEA; -2,2%), China (CHN; -2%), Südostasien mit Schwerpunkt Elektronik (SEAE; -1,5%) und Afrika (AFR; -1,3%) besonders ausgeprägt. Die BIP-Effekte in den übrigen nicht-EU+ Regionen liegen zwischen 0 und -0,8%. In den EU+ Regionen liegt der BIP-Effekt zwischen -0,1% (Deutschland) und -0,4% (Mediterranes Europa, MEU).

In den meisten Regionen ist der Wohlfahrtsverlust deutlich stärker ausgeprägt, als der BIP-Verlust, da klimawandelgetriebene Preisanstiege teilweise wertmäßig dämpfend auf den negativen BIP-Effekt wirken, während der Wohlfahrtseffekt zeigt, wie sehr Konsummöglichkeiten durch höhere Preise eingeschränkt werden (Mengeneffekt).

Insgesamt sind die BIP- und Wohlfahrtseffekte stark von den Wirkungen auf die Arbeitsproduktivität getrieben, mit leicht kompensierenden oder verstärkenden Effekten aus der Landwirtschaft. Relativ zu den anderen Wirkungsketten hat die Wirkungskette Meeresspiegelanstieg einen nur marginalen Einfluss auf die Gesamtergebnisse (unter der Prämisse, dass in dieser Wirkungskette Anpassung betrieben wird).

Abbildung 21: Veränderung von Wohlfahrt (links) und BIP (rechts) im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft



Veränderung von Wohlfahrt (links) und BIP (rechts) im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft, jeweils für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen. Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Auswirkungen auf Deutschlands Exporte

Abbildung 21 zeigt die Wohlfahrts- und BIP-Verluste des Gesamtlaufs nach Regionen. Da unterschiedliche Regionen unterschiedlich stark und in unterschiedlicher Weise vom Klimawandel betroffen sind, kommt es zu relativen Preisänderungen auf den internationalen Märkten, was wiederum zu preisgetriebenen Verschiebungen der globalen Handelsbeziehungen führt.

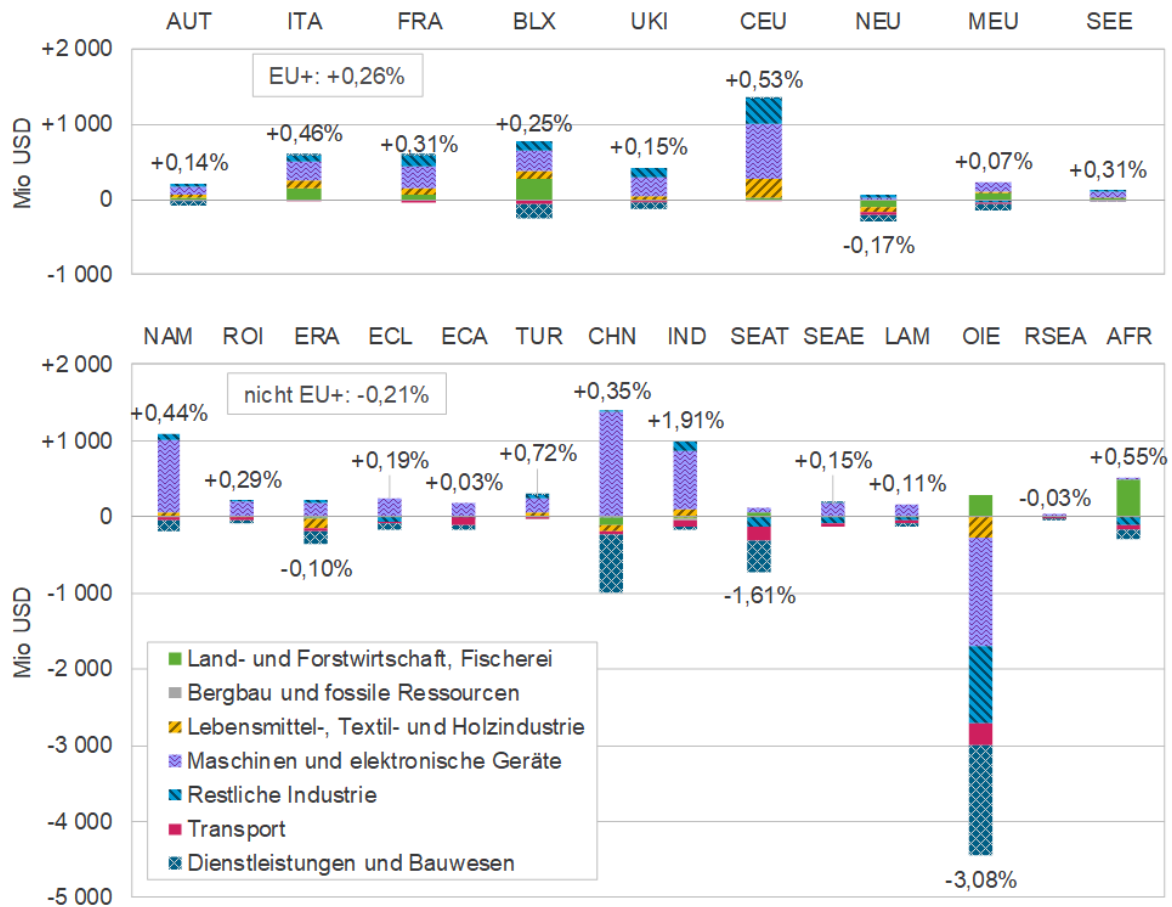
Da Deutschland von den direkten Auswirkungen des Klimawandels weniger stark betroffen ist als viele andere Weltregionen, kann Deutschland seine Terms-of-Trade im Vergleich zu den

meisten anderen Weltregionen verbessern. Das Exportvolumen liegt leicht über dem Niveau des Basisszenarios mit einem Nettoeffekt von +0,1%. Der gesamtwirtschaftliche Effekt für Deutschland ist dennoch negativ aufgrund des heimischen Konsumrückgangs.

Der leicht positive Gesamteffekt der Exporte setzt sich wie folgt zusammen (siehe auch Abbildung 22). Exporte nach Ölexportierende Länder (OIE), südostasiatische Länder mit Schwerpunkt Textilindustrie (SEAT), Eurasische Länder (ERA) sowie nach Nordeuropa (NEU) sind geringer als im Basisszenario (bis zu -3,1% für OIE). Dies sind vor allem Regionen, in denen der klimawandelinduzierte BIP-Verlust stärker ist als in anderen Weltregionen. Die Exporte in die restlichen Weltregionen liegen hingegen leicht über den Niveaus des Basisszenarios (mit einem Maximum von +1,9% für Indien (IND)).

Insgesamt sind die Exporte nach EU+ Regionen um +0,3% höher als im Basisszenario, die Exporte nach nicht-EU+ Regionen um -0,2% niedriger als im Basisszenario, wobei der letztere Effekt vor allem durch Exportrückgänge nach OIE getrieben ist und Exporte in die meisten nicht-EU+ Regionen leicht ansteigen.

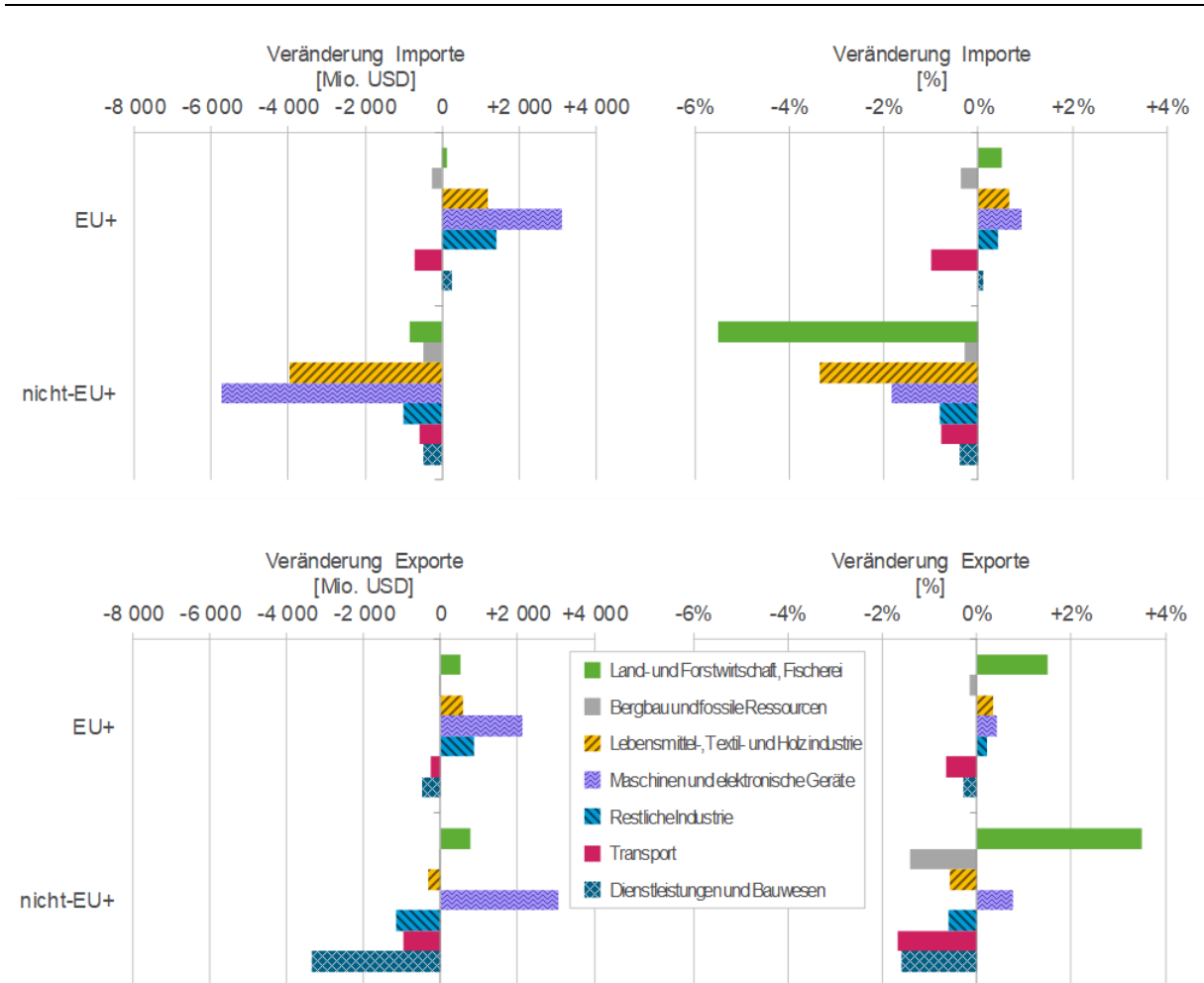
Abbildung 22: Veränderung der deutschen Exportvolumina nach Regionen und Sektorgruppen absolut sowie relativ im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft



Veränderung der deutschen Exportvolumina nach EU+ und nicht-EU+ Regionen nach Sektorgruppen absolut (Balken in Mio. USD) sowie relativ (in % relativ zum Basisszenario) im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft, jeweils für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen und Tabelle 2 für genauere Zuteilung zu den Sektorgruppen
 Quelle: Wegener Center, Universität Graz

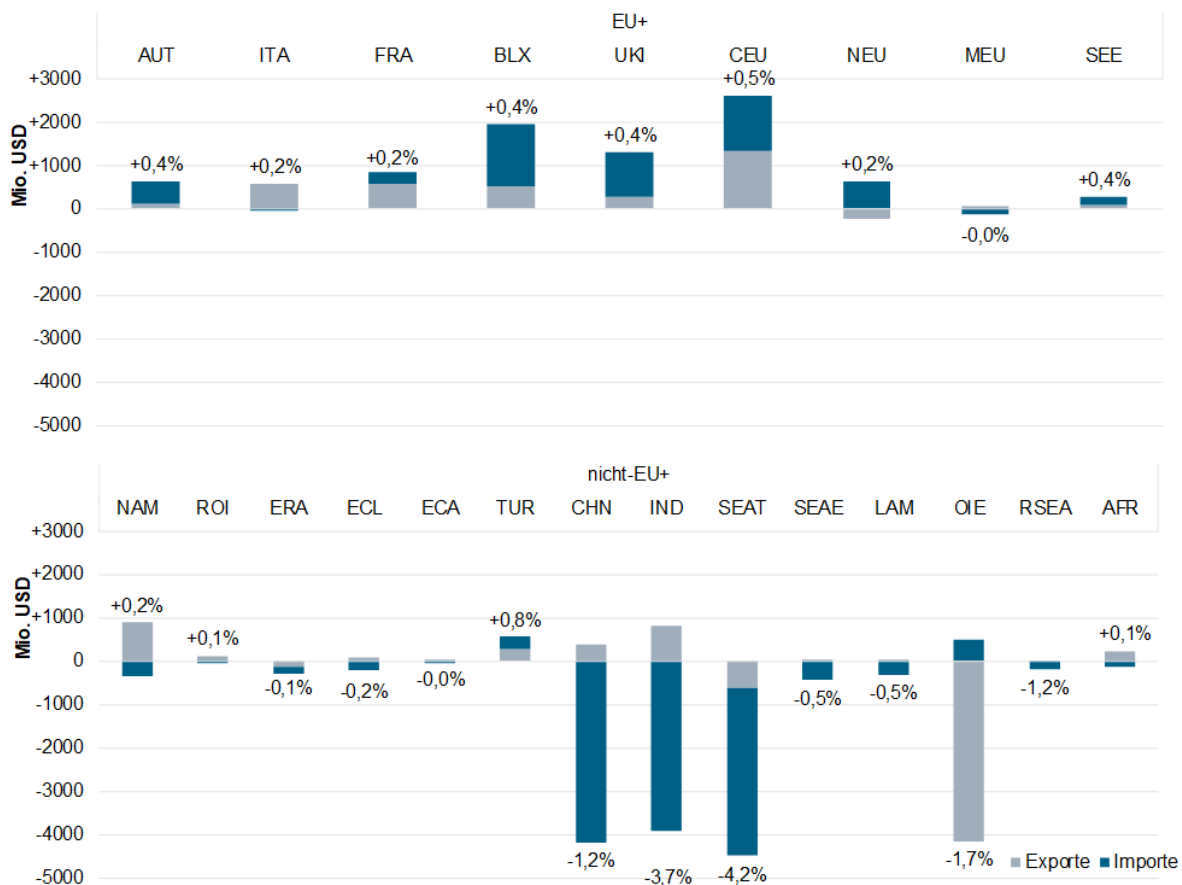
In Abbildung 23 werden die Veränderung der Importe den Veränderungen der Exporte gegenübergestellt (absolut in Mio. USD sowie relativ zum sektoralen Handelsvolumen). Importseitig ist eine Verlagerung von nicht-EU+ Regionen nach EU+ Regionen feststellbar; insbesondere für landwirtschaftliche Güter, Maschinen und elektronische Geräte sowie Produkte der Lebensmittel-, Textil und Holzindustrie. Exportseitig wird deutlich, dass Deutschland vor allem Exporte von landwirtschaftlichen Gütern sowie Maschinen und elektronischen Geräten steigert; mit leicht stärkeren Exporten in Richtung nicht-EU+. Da Produktionsfaktoren in Deutschland nur begrenzt verfügbar sind, und die inländische Nachfrage weiterhin bedient werden muss, werden gleichzeitig andere Exporte leicht reduziert.

Abbildung 23: Veränderung von Importen und Exporten Deutschlands in absoluten Größen (links) und relativen Größen (rechts) im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft



Veränderung von Importen (oben) und Exporten (unten) Deutschlands in absoluten Größen (links) und relativen Größen (rechts) im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft, jeweils für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 2 für genauere Zuteilung zu den Sektorgruppen
Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Abbildung 24 zeigt die Verlagerung des Handels, sowohl import- als auch exportseitig, von nicht-EU+ Regionen zu EU+ Regionen. Ähnlich wie bei der Wirkungskette der hitzebedingten Produktivitätsverluste, intensiviert Deutschland bis 2050 den Handel mit europäischen Ländern, vor allem Zentral-Europa und den Benelux-Ländern. Auf Seiten der nicht-EU+ Regionen sind vor allem China (CHN), Indien (IND), Südostasiatische Länder mit Fokus auf Textil (SEAT) und die Ölexportierenden Länder (OIE) stark von den klimawandelbedingten Reaktionen betroffen. Speziell die Importe aus nicht-EU+ Regionen verlieren an Bedeutung für den deutschen Außenhandel.

Abbildung 24: Absolute und relative Veränderung der Importe und Exporte Deutschlands im Jahr 2050

Absolute (in Mio. USD) und relative Veränderung der Importe und Exporte Deutschlands im Jahr 2050 je Handelspartner im Gesamtlauf für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

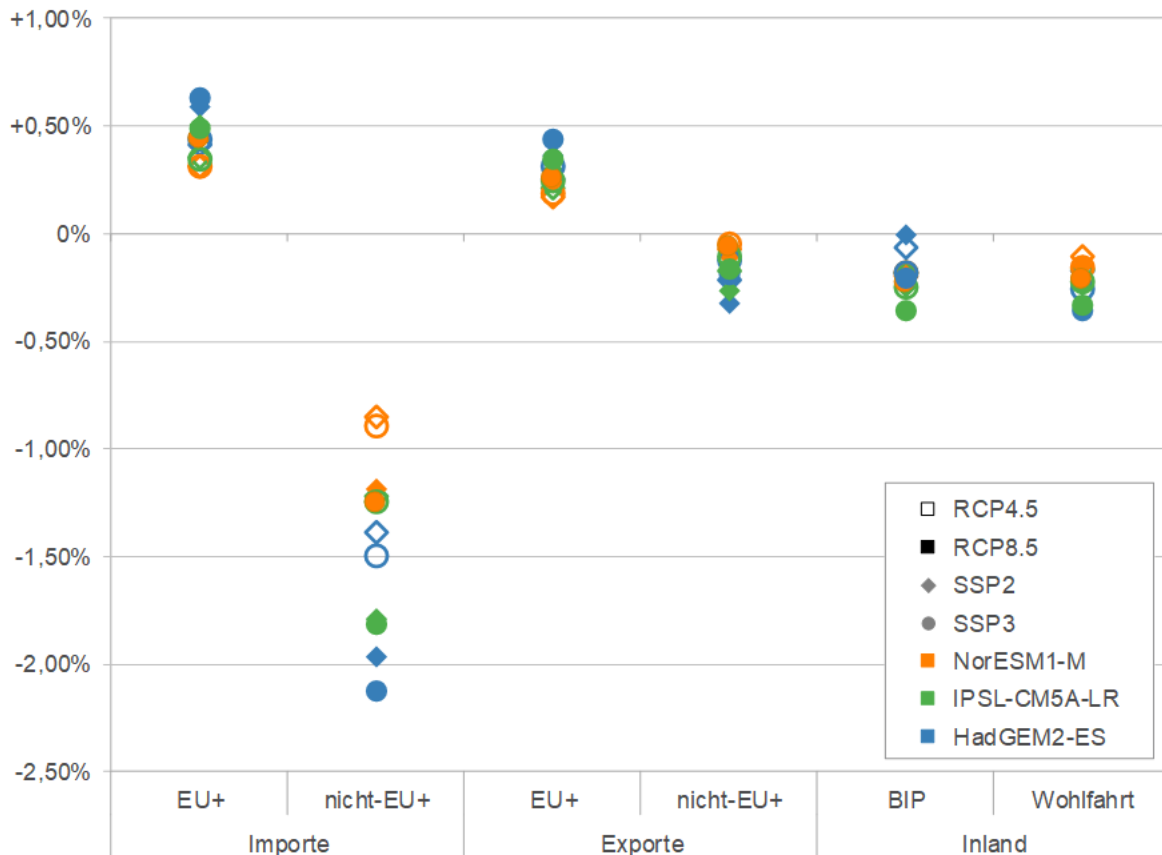
Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Unsicherheitsanalyse

Abbildung 25 zeigt die Effekte auf Importe, Exporte, BIP und Wohlfahrt unter verschiedenen Szenarien betreffend Emissionsszenario (RCP4.5 und RCP8.5), sozioökonomische Entwicklung (SSP2 und SSP3) sowie verwendetem globalen Klimamodell (NorESM1-M, IPSL-CM5A-LR und HadGEM2-ES). Auch wird erwartungsgemäß deutlich, dass die Effektstärke in einem stärkeren Emissionsszenario (RCP8.5) zunimmt. Bezüglich der sozioökonomischen Szenarien sind die Ergebnisse relativ robust (keine große Streuung über SSPs).

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die Abbildung 25 gezeigten Effekte stark von der Wirkungskette Arbeitsproduktivität getrieben sind und die Unsicherheiten für die einzelnen Wirkungsketten in Isolation betrachtet durchaus anders charakterisiert sind (siehe Abbildung 10, Abbildung 15 und Abbildung 20).

Abbildung 25: Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft



Veränderung von Importen, Exporten, BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg (Impact-Modell: DIVA), Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft (Impact-Modell: EPIC), im Vergleich zum Basisszenario (SSP2 oder SSP3); verwendete Klimamodelle: NorESM1-M, IPSL-CM5A-LR, HadGEM2-ES; jeweils für RCP4.5 und RCP8.5; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065)

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

4.6 Einordnung der Ergebnisgrößen

Um ein besseres Verständnis für die Größenordnung der im Modell berechneten Schäden zu bekommen, setzen wir die durchschnittlichen jährlichen Verluste absolut als auch prozentuell zum BIP in Relation zu anderen relevanten Schadensereignissen in Deutschland, die entweder in der kürzlichen Vergangenheit oder über eine längere vorangegangene Periode aufgetreten sind (siehe Tabelle 5). Zur besseren Vergleichbarkeit haben wir alle Schäden in Euro 2017 bzw. in % des BIP des jeweiligen Zeitraums ausgedrückt. Für unsere Ergebnisse nehmen wir einerseits den Mittelwert über alle Modellläufe des Gesamtlaufes (RCP4.5 und RCP8.5, als auch SSP2 und SSP3) und geben andererseits minimale und maximale Werte in eckigen Klammern an.

Im Vergleich zu den durchschnittlichen Überflutungsschäden von 1980 bis 2010 laut MunichRe (die anderen Ereignisse werden auf der Homepage für Deutschland leider nicht getrennt ausgewiesen) sind die im makroökonomischen Modell ermittelten Kosten für ein durchschnittliches Jahr um 2050 ein Vielfaches (konkret: Faktor 10 im absoluten Vergleich, eine Vervielfachung in % des BIP). Im Vergleich zum durchschnittlichen Climate Risk Index (CRI), der auch die Kosten von vergangenen Sturmereignissen, Hitze- und Kältewellen berücksichtigt (und ebenfalls auf MunichRe Daten aufbaut), sind die ermittelten Schäden in 2050 absolut

mindestens doppelt so hoch und relativ mindestens ebenso hoch wie die nationalen Kosten durch den CRI. Die Überflutungen in Bayern im Jahr 2016, die besonders prominent in den Medien waren, führten immerhin zu einer Auszahlung aus dem EU-Solidaritätsfonds von 31,5 Millionen. Diese Zahl ist aufgrund der lokalen Eingeschränktheit und der Ursache eines einzigen Indikators nur bedingt mit den Modellergebnissen in Relation zu setzen. Es liefert jedoch ein Verständnis dafür, welches Ausmaß eine einzelne lokale Katastrophe im Inland bereits heute erreichen kann. Die durchschnittlichen jährlichen Kosten in 2050, die durch Klimawandelfolgen in Ausland auf Deutschland wirken, übersteigen diese Summe selbstverständlich um ein Vielfaches. Da zudem der Robustheitscheck (siehe Abschnitt 6.2), in dem ein Szenario mit Effekten nur außerhalb Europas mit einem Szenario mit weltweiten Effekten verglichen wird, zeigt, dass faktisch alle berechneten Kosten für Deutschland außerhalb Europas entstehen, können folgende Schlussfolgerung gezogen werden: die transnationalen Wirkungsketten führen in Deutschland 2050 zu Schäden, die mindestens so hoch bzw. deutlich höher sind als die nationalen Kosten durch Extremereignisse in Deutschland heute.

Tabelle 5: Vergleich der Modellergebnisse mit anderen relevanten Schadensereignissen

Schadensereignisse (in EUR zu Preisen 2017)	Abdeckung	absolut	in % BIP	Quelle
Überflutungsschäden, ☐ 1981-2010	Überflutungen	664 Mio.	0,05%	MunichRe (2018)
Climate Risk Index, 1995-2010 (Kaufkraftparität)	Überflutungen, Sturm, Hitze- und Kältewellen	3,13 Mrd.	0,16%	German Watch (2016)
EU-Solidaritätsfonds Auszahlung, 2016	Überschwemmungen Bayern	31,5 Mio.	0,001%	Europäische Union (2018)
Modellergebnisse (in EUR zu Preisen 2017)	Abdeckung	absolut	in % BIP	Quelle
Gesamtlauf Ø 2036-2065, alle Ø Modellläufe	Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität, Veränderung Landwirtschaft	-7,18 Mrd. [-0,28 Mrd.; -11,92 Mrd.]	0,19% [-0,01%; -0,31%]	Impact CHAIN

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

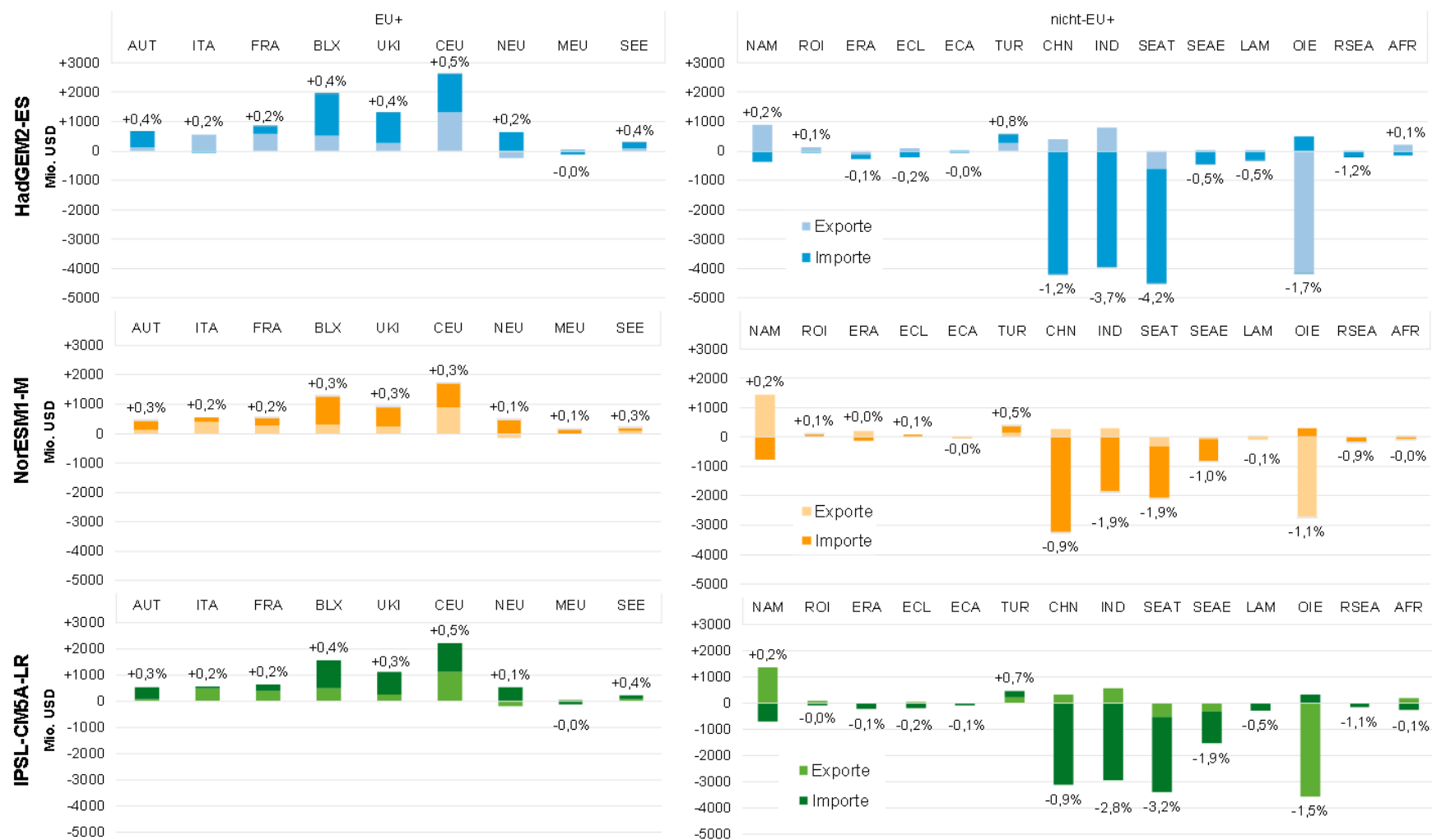
5 Unsicherheitsanalyse und Robustheitschecks

Ziel dieses Abschnitts ist es Aussagen, über die Robustheit der Ergebnisse sowie inhärenter Unsicherheiten zu treffen. Hier fokussieren wir speziell auf die regionalen Veränderungen von deutschen Import- und Exportströmen. In 5.1 wird der Einfluss unterschiedlicher Klimamodelle (GCMs) auf die Außenhandelsströme Deutschlands untersucht. In Abschnitt 5.2 isolieren wir den Effekt auf den Gesamtlauf, der aufgrund von Klimawandelfolgen in außereuropäischen Regionen entsteht um die Vulnerabilität Deutschlands bezüglich der außereuropäischen Handelspartner zu identifizieren. Abschnitt 5.3 geht der Frage nach, welchen Einfluss Anpassung in den beiden Wirkungsketten Anstieg des Meeresspiegels und Arbeitsproduktivität haben könnte. Abschnitt 5 beschreibt die möglichen biophysikalischen Auswirkungen je Wirkungskette bis Ende des Jahrhunderts.

5.1 Modellunsicherheiten des Gesamtlaufes

Abbildung 26 zeigt sowohl die Veränderung der Handelsvolumina für Importe und Exporte als auch die relative Änderung der Handelsbilanz je Modellregion für drei unterschiedliche Globale Zirkulationsmodelle (HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR und NorESM1-M). Die Ergebnisse zeigen analog zu Kapitel 4.5 die Veränderung aufgrund des kombinierten Effekts von Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivitätsrückgang sowie Veränderungen in der landwirtschaftlichen Produktivität und somit den Gesamtlauf. Obwohl die unterschiedlichen globalen Klimamodelle nicht zwingend die gleichen regionalen Veränderungen projizieren, sind die Ergebnisse der Handelsverschiebungen robust hinsichtlich ihrer Muster. Für alle drei Klimamodelle zeigt sich eine Zunahme der Handelsbeziehungen mit europäischen Regionen und eine Abnahme mit Regionen außerhalb Europas, abgesehen von den Regionen Nordamerika (NAM) und der Türkei (TUR). Je nach Wahl des Klimamodells unterscheidet sich die Richtung der Handelsbilanz mit dem Mittelmeeran EU 27 Ländern (MEU), den restlichen industrialisierten Ländern (ROI) und den afrikanischen Ländern (AFR), wobei die Änderungen zwischen +0,1% und -0,1% schwanken. Insgesamt ist die Ausprägung der Verschiebungen am stärksten im HadGEM2-ES Modell und am schwächsten im NorESM1-M Modell. Die Unterschiede werden vor allem bei den nicht-EU+ Regionen China (CHN), Indien (IND) und südostasiatischen Ländern mit Schwerpunkt Textilindustrie (SEAT) deutlich.

Abbildung 26: Absolute Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelsaldos Deutschlands im Jahr 2050



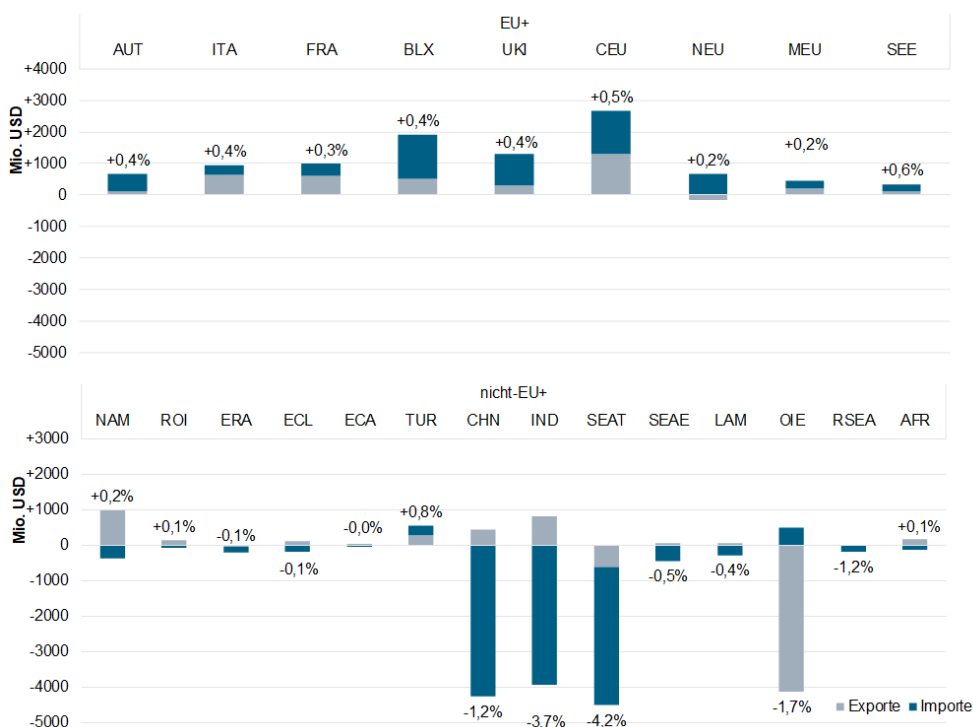
Absolute (in Mio. USD) Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelsaldos Deutschlands im Jahr 2050 je Handelspartner im Gesamtlauf für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendete Klimamodelle: HadGEM2-ES, NorESM1-M und IPSL-CM5A-LR; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen
 Quelle: Wegener Center, Universität Graz

5.2 Klimawandelfolgen treten nur außerhalb Europas auf

Um herauszufinden wie stark außereuropäische Auswirkungen des Klimawandels die Richtung und Größenordnung der Auswirkungen auf die Handelsbilanz Deutschlands beeinflussen, führen wir ein zusätzliches Szenario als Sensitivitätsanalyse durch. In diesem Szenario gehen wir davon aus, dass der Klimawandel nur außerhalb Europas stattfindet und die europäischen Länder unversehrt lassen würde. Es zeigt sich für die modellierten Wirkungsketten Anstieg des Meeresspiegels, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft, dass es keine wesentlichen Änderungen in den Ergebnissen gibt, ob der Klimawandelwirkungen weltweit oder nur in Regionen außerhalb der EU unterstellt wird. BIP-Unterschiede variieren um höchstens 0,26%-Punkte (für Italien) und sind größtenteils zu vernachlässigen. Während für europäische Regionen die negativen BIP-Effekte tendenziell schwächer ausfallen, wenn nur nicht-EU+ Regionen von Klimawandelwirkungen betroffen sind, sind die betroffenen Regionen außerhalb Europas von den Auswirkungen innerhalb der EU+ generell kaum betroffen und daher gibt es keinen Unterschied zwischen diesen beiden Szenarien. Diese Ergebnisse sind auch darauf zurückzuführen, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf betrachteten Folgen in Europa relativ geringer sind als außerhalb Europas.

Mit Blick auf die deutschen Handelsströme und Handelspartner sieht man eine leichte Tendenz in Richtung noch stärkere Intensivierung der Handelsbeziehungen mit europäischen Regionen, ansonsten sind auch hier kaum Unterschiede zum oben beschriebenen Gesamtlauf zu erkennen (siehe Appendix, Abbildung 27v.a. im Vergleich zu Abbildung 24).

Abbildung 27: Absolute und relative Veränderung der Importe und Exporte Deutschlands im Jahr 2050 je Handelspartner im Gesamtlauf unter der Annahme, dass Klimawandelfolgen nur außerhalb Europas auftreten



Absolute (in Mio. USD) und relative Veränderung der Importe und Exporte Deutschlands im Jahr 2050 je Handelspartner im Gesamtlauf unter der Annahme, dass Klimawandelfolgen nur außerhalb Europas auftreten, für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Wegener Centre, Universität Graz

Obwohl Deutschland also (derzeit) seine wichtigsten Handelspartner innerhalb Europas hat, ist die Handelsbilanz stark von den Spillover-Effekten betroffen, die von den Auswirkungen des Klimawandels auf den Meeresspiegelanstieg, die Arbeitsproduktivität und die landwirtschaftliche Produktion außerhalb Europas ausgelöst werden. Dieses Ergebnis stellt nicht nur die gängige Annahme in der bisherigen Literatur in Frage, die sich auf die nationalen oder europäischen Auswirkungen des Klimawandels konzentriert, und vernachlässigt, was außerhalb Europas geschieht. Es hat auch wichtige Implikationen für eine effektive Anpassung an den Klimawandel.

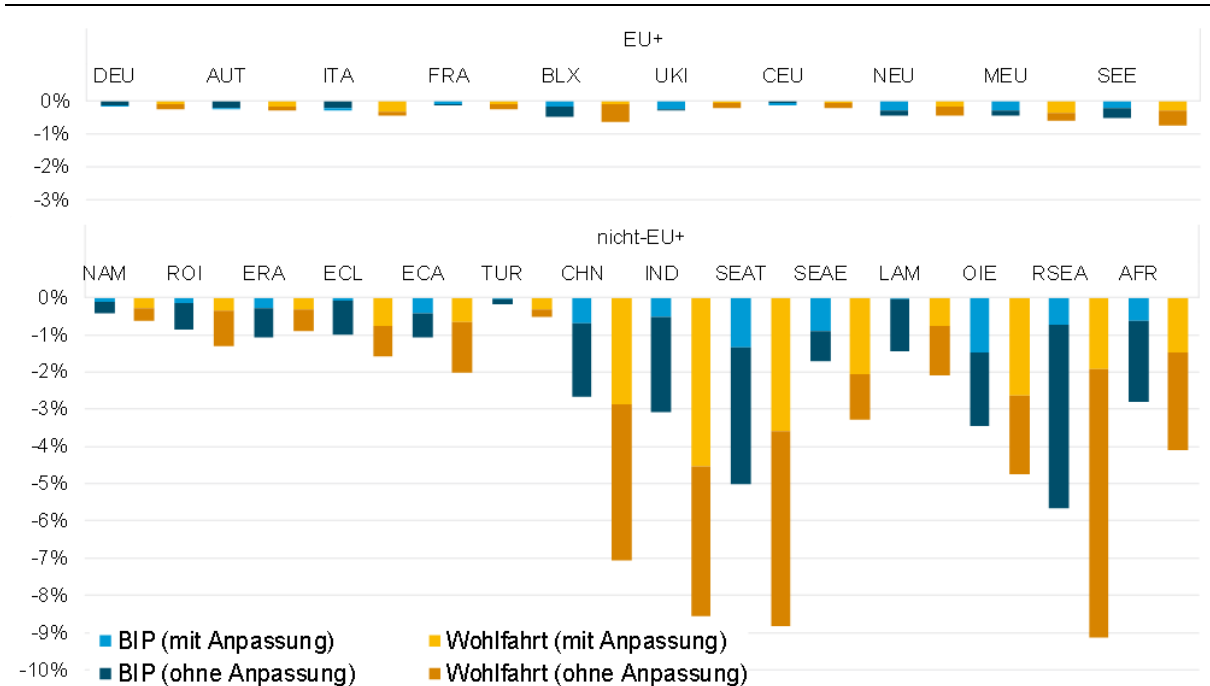
5.3 Ausschöpfung von Anpassungskapazitäten und deren Effekte

Im Folgenden betrachten wir, welche Auswirkung die getroffenen Annahmen bezüglich Klimawandelanpassung haben könnten. Während wir für die bisherigen Analysen in der Wirkungskette Meeresspiegelanstieg unterstellen, dass das Schutzniveau angepasst wird (aktive Anpassung), sind in der Wirkungskette Arbeitsproduktivität alle Sektoren von Änderungen der Temperatur und Feuchtigkeit betroffen. Bezüglich des Meeresspiegelanstieges gilt diese Annahme laut (Hinkel et al. 2014) als die realistischere Annahme, da die Höhe der Schäden suggeriert, dass diese nicht geduldet werden würden und somit zumindest das heutige Schutzniveau gesichert würde. Arbeitsproduktivitätsverlusten in geschlossenen Räumen kann man bis zu einem gewissen Grad mit Beschattung und diversen Kühlmethoden entgegenwirken, hier gilt jedoch, dass diese Maßnahmen einerseits mit Kosten verbunden sind und andererseits keine Garantie für gleichbleibende Arbeitsproduktivität bieten.

Wir vergleichen nun zwei Szenarien, die im völligen Gegensatz zueinanderstehen. In einem Szenario unterstellen wir volle Ausschöpfung der Anpassungskapazitäten während wir im anderen Szenario annehmen, dass keine zusätzlichen Anpassungsaktivitäten stattfinden. Dies bedeutet, dass im Fall des Anpassungsszenarios aktive Anpassung gegenüber dem Anstieg des Meeresspiegels durchgeführt wird und nur Aktivitäten im Freien von Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen von Arbeitsproduktivitätseinbußen betroffen sind. Keine zusätzliche Anpassung hingegen bedeutet, dass das Schutzniveau von Deichen nicht angepasst wird und alle Tätigkeiten sowohl im Freien als auch in geschlossenen Räumen von Klimawandel beeinflusst werden entsprechend der in Abschnitt 2 beschriebenen Wirkungsketten. Inkludiert in den beiden Szenarien sind auch die Effekte der landwirtschaftlichen Produktion, wobei hier keine unterschiedlichen Annahmen bezüglich der Anpassung getroffen werden.

Abbildung 28 zeigt die Rückgänge von BIP und Wohlfahrt für alle Modellregionen für das Szenario mit Anpassung (heller Balken) und das Szenario ohne Anpassung (Summe aus hellem und dunklen Balken) jeweils relativ zu einem Basisszenario in 2050. Es wird deutlich, dass der Verzicht auf Anpassung zu deutlich höheren Rückgängen in regionalem BIP und Wohlfahrt führt. In den meisten außereuropäischen Regionen ist der Effekt auf das BIP in einem Szenario ohne Anpassung um ein Dreifaches höher als in einem Szenario mit Anpassung und auf die Wohlfahrt mindestens doppelt so groß. Auch in vielen europäischen Regionen, beispielsweise in den Benelux-Ländern (BLX) oder in Südosteuropa (SEE), verstärkt sich der negative Effekt erheblich, wenn die Anpassungskapazitäten nicht ausgeschöpft werden.

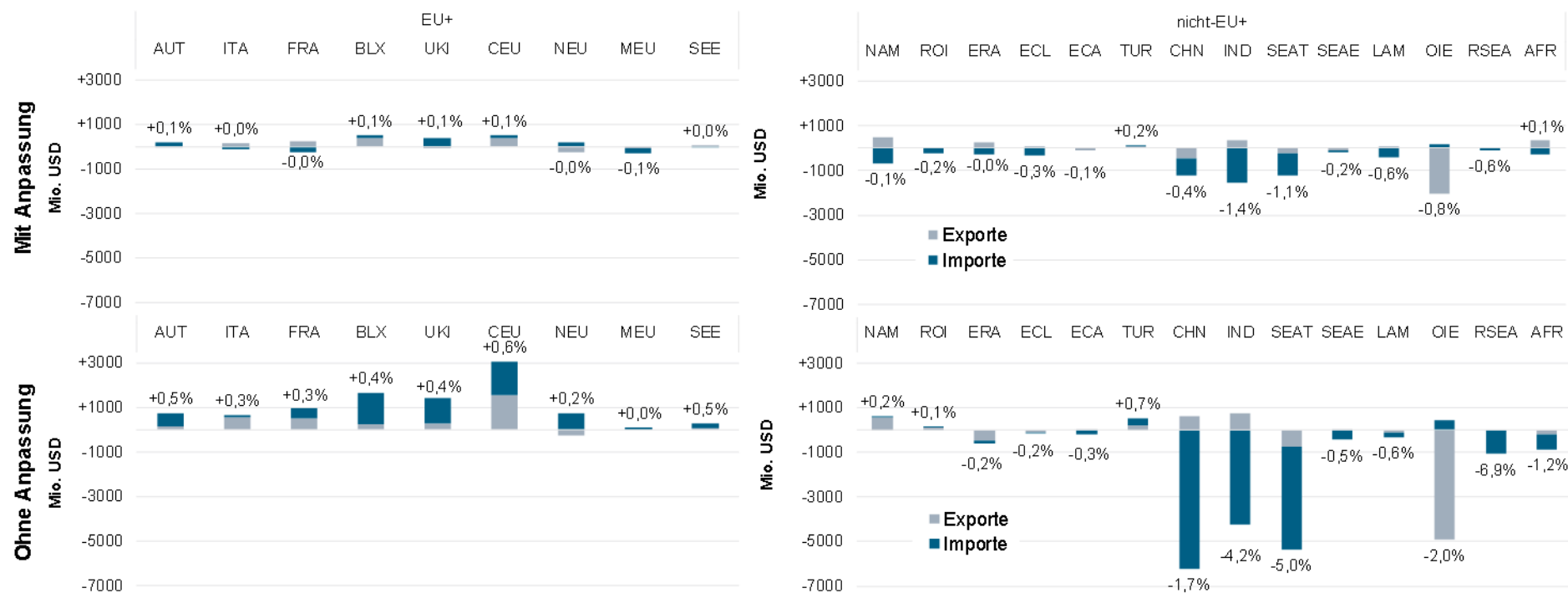
Abbildung 28: Veränderung von BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch den gesamten Effekt der Wirkungsketten unter Ausschöpfung der Anpassungskapazitäten und ohne Anpassung



Veränderung von BIP und Wohlfahrt Deutschlands im Jahr 2050 durch den gesamten Effekt der Wirkungsketten unter Ausschöpfung der Anpassungskapazitäten und ohne Anpassung für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen
Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Aufgrund der starken bzw. relativ stärkeren Effekte in nicht-EU+ Regionen, zeigen die deutschen Handelsströme im Szenario ohne Anpassung eine deutliche Reaktion: Handelsbeziehungen mit europäischen Partnern werden intensiviert, während vor allem Importe aus aber auch Exporte nach nicht-EU+ Regionen abnehmen (Abbildung 29, unteres Panel). Im Vergleich dazu sind die Effekte im Szenario mit Anpassung moderat, die Muster sind jedoch die gleichen wie im Anpassungsszenario (Abbildung 29, oberes Panel). Der zusätzliche Handel mit europäischen Regionen kann jedoch auch nicht die negativen Effekte auf BIP und Wohlfahrt innerhalb Europas umdrehen und erlaubt somit nicht den Schluss, dass Europa in einem Szenario mit Anpassung relativ zum Basisszenario ohne Klimawandel profitiere.

Abbildung 29: Absolute Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelssaldos Deutschlands im Jahr 2050 im Gesamtlauf und unter der Annahme mit und ohne Anpassung



Absolute (in Mio. USD) Veränderung der Importe und Exporte und relative Veränderung des Außenhandelssaldos Deutschlands im Jahr 2050 je Handelspartner im Gesamtlauf und unter der Annahme voller Ausschöpfung der Anpassungskapazitäten (oben) und ohne Anpassung (unten) für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Ein Szenario gänzlich ohne Anpassung ist laut Expertenmeinung zwar unter realistischen Annahmen nicht vorstellbar, die Ergebnisse zeigen aber auch, dass es auch aus ökonomischer Perspektive keinesfalls eine Option darstellt. Der Vergleich der zwei Szenarien legt nahe, dass Schäden im Sinne von BIP Verlusten durch Anpassung mindestens halbiert und in vielen Regionen auch darüber hinaus reduziert werden können. Es bleibt zu sagen, dass unsere Modelanalysen zwar Kosten für Investitionen zum Schutz vor Meeresspiegelanstieg beinhaltet, nicht aber die Kosten, die durch eventuelle Prävention von Arbeitsproduktivitätsverlusten verursacht werden.

5.4 Mögliche Auswirkungen bis 2100

Dieser Abschnitt bietet einen Ausblick potenzieller Auswirkungen des Klimawandels bis Ende des Jahrhunderts (Ø2070-2099) relativ zur Basisperiode. Die Ergebnisse werden im Vergleich zu Veränderungen bis Mitte des Jahrhunderts (Ø2036-2065) dargestellt, um sie in Relation zu den bereits beschriebenen Wirkungsketten setzen zu können.

Auswirkungen durch Meeresspiegelanstieg

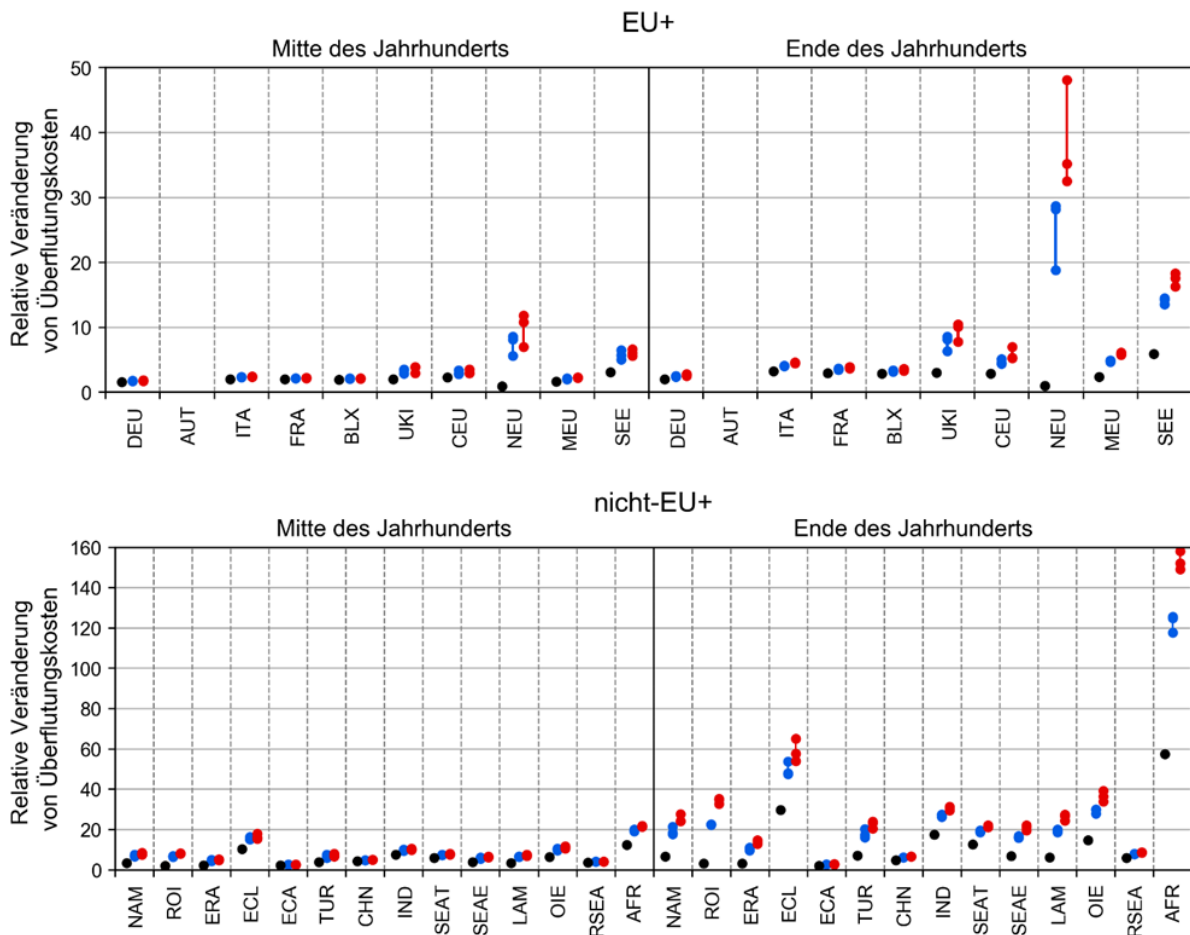
Auswirkungen des Meeresspiegelanstieges intensivieren sich bis zum Ende des Jahrhunderts deutlich. Dieser Sachverhalt ist auf die hohe Trägheit der Kryosphäre (der Eismassen der Erde) gegenüber Klimaerwärmungen zurückzuführen. In Übereinstimmung mit Abschnitt 4.2 wird für folgende Analyse eine mittlere sozioökonomische Entwicklung (SSP2) und aktive Anpassung unterstellt. Gezeigt werden Ergebnisse des DIVA Modells (Hinkel et al. 2014, siehe Abschnitt 4.2 für Details) angetrieben durch drei globale Klimamodelle (HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR und NorESM-M).

Die globale Entwicklung der Überflutungsschäden bis 2050 sind in Abbildung 6 (Abschnitt 4.2) dargestellt. Bis Ende des Jahrhunderts steigen die projizierten globalen Schäden auf rund 280 Milliarden USD unter RCP4.5 bzw. auf rund 340 Milliarden USD unter RCP8.5 an. Dies entspricht einer Zunahme im Vergleich zur Referenzperiode um das 16 bzw. 19-fache. Im Vergleich hierzu fallen projizierte Anstiege um das 6,5 bzw. 6,8-fache bis Mitte des Jahrhunderts deutlich geringer aus. Ohne Klimawandel projiziert DIVA einen geringeren Anstieg der Überflutungskosten um das 5-fache bis Mitte des Jahrhunderts sowie einen deutlich geringeren Anstieg um das 9,5-fache bis Ende des Jahrhunderts. Abbildung 30 zeigt Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf Überflutungsschäden bis Mitte und Ende des Jahrhunderts im Vergleich zur Referenzperiode für die unterschiedlichen Regionen.

Für alle EU+ Regionen nehmen die Schäden durch Überflutungen mit fortschreitendem Zeitverlauf und mit zusätzlichen Emissionen zu. Insbesondere nördliche und südost-europäische Länder (NEU und SEE) aber auch Großbritannien und Irland (UKI), die zentralen und mediterranen EU Staaten (CEU und MEU) sind hiervon betroffen. Bis 2050 steigen die Überflutungskosten innerhalb der EU+ Regionen unter RCP4.5 um das 3,4-fache und um das 4-fache unter RCP8.5. Bis Ende des Jahrhunderts projizieren die Modelle einen Anstieg um mehr als das 8,7-fache unter RCP4.5 und das 11,9-fache unter RCP8.5.

Für nicht-EU+ Regionen wird eine noch stärkere Zunahme der Überflutungskosten projiziert. Bereits ohne Klimawandel zeigt das DIVA Modell einen Anstieg um das 5-fache bis Mitte und das 10-fache bis Ende des Jahrhunderts. Für die beiden Zeiträume erhöht sich dieser Anstieg auf das 6,7 bzw. 16,7-fache unter RCP4.5 und das 7 bzw. 19,7-fache unter RCP8.5. Bis Ende des Jahrhunderts projiziert DIVA einen Anstieg der Überflutungskosten in nicht-EU+ Regionen auf 274 Milliarden USD unter RCP4.5 und 322 Milliarden USD unter RCP8.5.

Abbildung 30: Relative Änderungen von Überflutungskosten

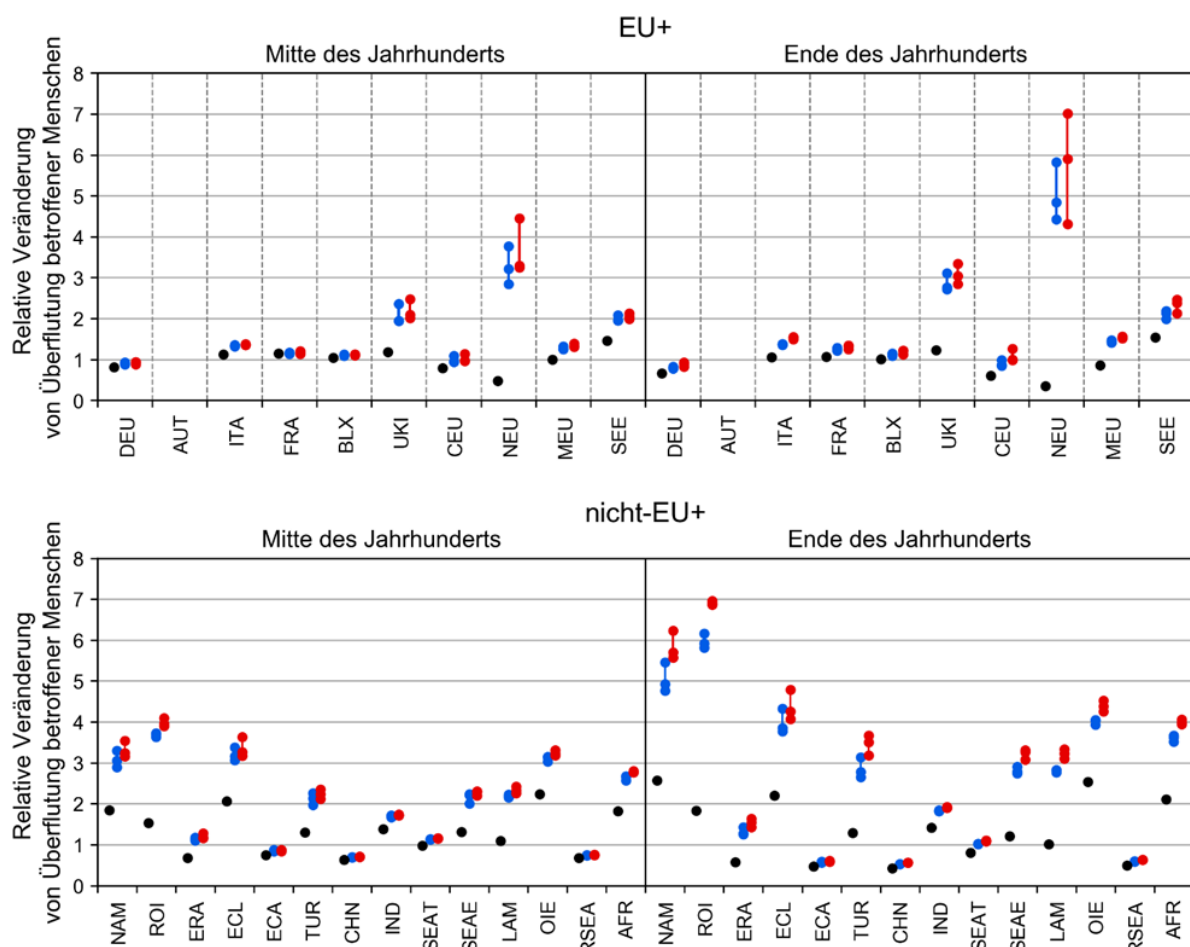


Relative Änderungen von Überflutungskosten (=historisches Mittel) für EU+ (oben) und nicht-EU+ (unten) Regionen bis Mitte (jeweils links) und Ende des Jahrhunderts (jeweils rechts) im Vergleich zur Referenzperiode. Farbige Punkte kennzeichnen einzelne DIVA Modellläufe für unterschiedliche Klimamodelle (HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR und NorESM-M) unter dem RCP4.5 (blau) und RCP8.5 (rot) Emissionsszenario. Der schwarze Punkt zeigt Änderungen innerhalb dieser Zeiträume ohne Klimawandel; siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis DIVA (Hinkel et al. 2014)

Abbildung 7 zeigt die globale Entwicklung der von Überflutung betroffenen Menschen bis 2050 (Abschnitt 4.2). Bis Ende des Jahrhunderts und weltweit steigt die Anzahl der von Überflutung betroffenen Menschen auf 5,2 Millionen unter RCP4.5 und 5,7 Millionen unter RCP 8.5, was einer Zunahme um 37% bzw. 50% entspricht. Relative Änderungen bis Mitte und Ende des Jahrhunderts der von Überflutung betroffenen Menschen sind in Abbildung 31 dargestellt.

Innerhalb der EU+ Regionen und ohne Klimawandel projiziert DIVA eine Abnahme der von Überflutung betroffenen Menschen (Referenzperiode: 37.000; Mitte des Jahrhunderts: 31.000; Ende des Jahrhunderts: 28.000). Berücksichtigung des Klimawandels führt zu einem Anstieg betroffener Menschen bis Mitte des Jahrhunderts (RCP4.5: 109.000; RCP8.5: 119.000), der sich bis Ende des Jahrhunderts verstärkt (RCP4.5: 154.000; RCP8.5: 173.000).

Abbildung 31: Relative Änderungen von Überflutung betroffener Menschen

Relative Änderungen von Überflutung betroffener Menschen (1=historisches Mittel) für EU+ (oben) und nicht-EU+ (unten) Regionen bis Mitte (jeweils links) und Ende des Jahrhunderts (jeweils rechts) im Vergleich zur Referenzperiode. Farbige Punkte kennzeichnen einzelne DIVA Modellläufe für unterschiedliche Klimamodelle (HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR und NorESM-M) unter dem RCP4.5 (blau) und RCP8.5 (rot) Emissionsszenario. Der schwarze Punkt zeigt Änderungen innerhalb dieser Zeiträume ohne Klimawandel; siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen]

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis DIVA (Hinkel et al. 2014)

Auch die Anzahl von Überflutung betroffenen Menschen nimmt innerhalb der nicht-EU+ Regionen stärker zu als in EU+ Regionen. Dies wiegt vor allem deshalb schwer, weil auch die absolute Anzahl betroffener Personen in nicht-EU+ Regionen um ein Vielfaches höher ist als in EU+ Regionen. Während ohne Klimawandel die Zahl der betroffenen Personen für die Gesamtheit der nicht-EU+ Regionen bis Mitte des Jahrhunderts nur leicht ansteigt und bis Ende des Jahrhunderts sogar leicht rückläufig ist, nimmt sie unter den Klimaszenarien deutlich zu. Bis Mitte des Jahrhunderts wird eine Zunahme von 3,6 Millionen auf 4,8 Millionen unter RCP4.5 und 5 Millionen unter RCP8.5 projiziert, bis Ende des Jahrhunderts jeweils auf 5,1 und 5,5 Millionen.

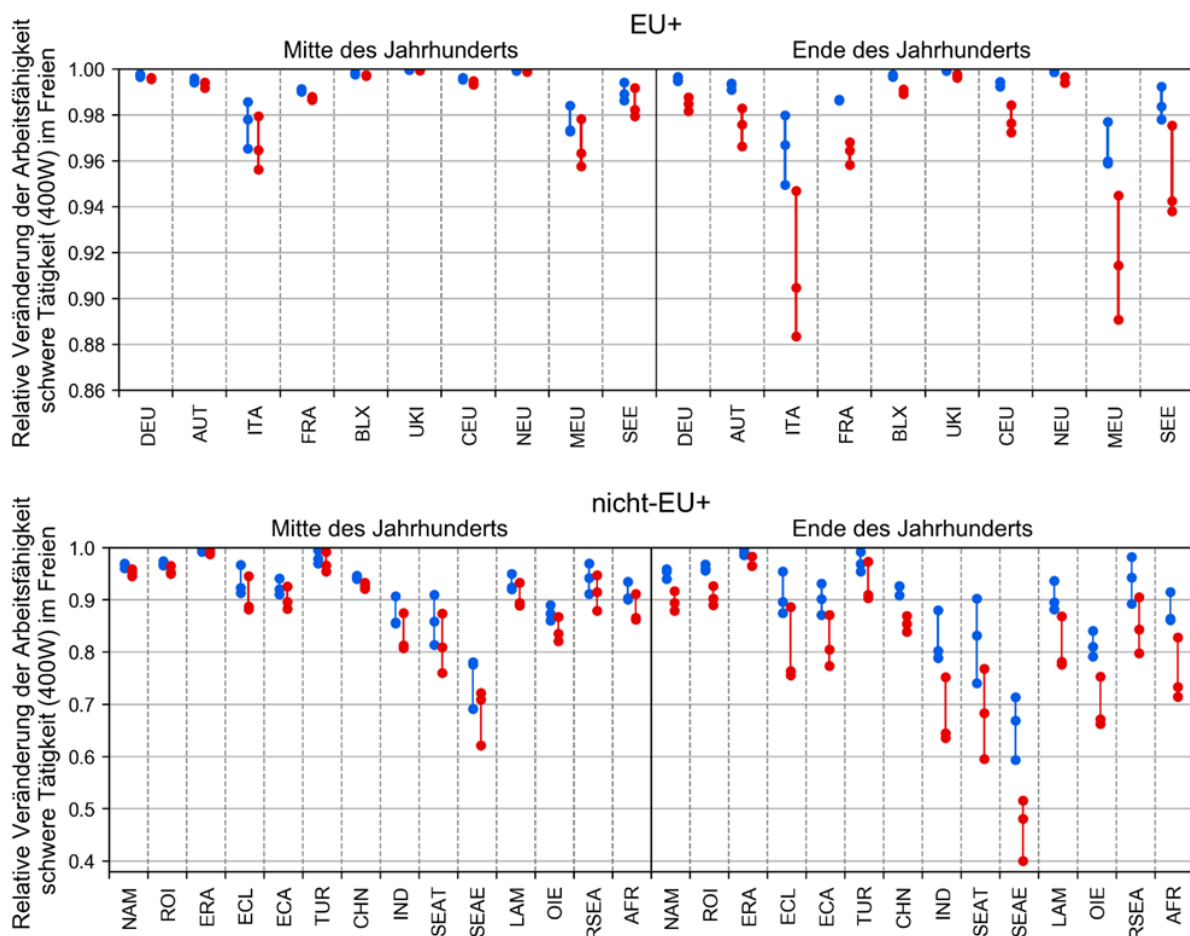
Veränderungen der Arbeitsproduktivität

Emittierte Treibhausgase führen mit einer gewissen Zeitverzögerung zu Temperaturzunahmen. Dieser Zusammenhang zeigt sich auch bei der maßgeblich von der Temperatur abhängigen Arbeitsproduktivität: projizierte Änderungen nehmen mit fortschreitendem Zeitverlauf zu, die Arbeitsproduktivität sinkt. Zusätzlich führt ab einem gewissen Schwellenwert jede weitere Temperaturzunahme zu einer zusätzlichen Abnahme der Arbeitsproduktivität, sind Regionen bereits warm, nehmen Temperaturzunahmen dort einen größeren Einfluss auf die

Arbeitsproduktivität (vgl. hierzu Abbildung 11 Abschnitt 4.3, größere Verringerungen der Arbeitsfähigkeit in äquatorialen Regionen). Diese Sachverhalte gelten für alle Arbeitsintensitäten und Arbeitsumgebungen (im Innenraum und im Freien) und sind am deutlichsten für schwere Tätigkeiten (400W) im Freien. Dargestellte Abschätzungen zukünftiger Arbeitsproduktivität basieren auf Bröde et al. (2017), die Datengrundlage stellen globale Klimamodelle aus ISIMIP (HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR und NorESM-M, Warszawski et al. 2014).

Für alle Regionen der Erde werden mit zunehmendem Zeitverlauf und höheren Emissionen zusätzliche Rückgänge der Arbeitsproduktivität projiziert. Im globalen Durchschnittlich nimmt die Arbeitsproduktivität für schwere Tätigkeiten im Freien bis Mitte des Jahrhunderts um 8% unter RCP4.5 und 10% unter RCP8.5 ab, bis Ende des Jahrhunderts werden weitere Abnahmen um 11% bzw. 20% im Vergleich zur Basisperiode projiziert. Relative Änderungen der Arbeitsproduktivität für schwere Tätigkeiten im Freien bis Mitte und Ende des Jahrhunderts und für einzelne Regionen sind in Abbildung 32 dargestellt.

Unter den EU+ Regionen sind vor allem die warmen Regionen Italien und die mediterranen Länder (ITA und MEU) von Rückgängen der Arbeitsproduktivität betroffen. Unter RCP8.5 wird für diese beiden Regionen bis Ende des Jahrhunderts eine weitere Abnahme der Arbeitsproduktivität für schwere Tätigkeiten im Freien um rund 9% projiziert (Mitte des Jahrhunderts liegt bei 3%). Ungemein stärkere Abnahmen zeigen sich für nicht-EU+ Regionen. Insbesondere für Regionen in Äquatornähe (bspw. Indien (IND), südostasiatische Länder mit Schwerpunkt Textilindustrie (SEAT) bzw. Elektronik (SEAE), ölexportierende Länder (OIE) oder Afrika (AFR)) sind starke Rückgänge in der Arbeitsproduktivität zu erwarten. Für Länder mit Schwerpunkt Elektronische Geräte in Südostasien (SEAE) und unter RCP8.5 reduziert sich die Arbeitsfähigkeit bis Ende des Jahrhunderts um 55% im Vergleich zu 33% bis Mitte des Jahrhunderts.

Abbildung 32: Relative Änderungen der Arbeitsfähigkeit schwerer Tätigkeiten im Freien

Relative Änderungen der Arbeitsfähigkeit schwerer Tätigkeiten (400W) im Freien (1=historisches Mittel) für EU+ (oben) und nicht-EU+ (unten) Regionen bis Mitte (jeweils links) und Ende des Jahrhunderts (jeweils rechts) im Vergleich zur Referenzperiode. Farbige Punkte kennzeichnen Ergebnisse für unterschiedliche Klimamodelle (HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR und NorESM-M) unter dem RCP4.5 (blau) und RCP8.5 (rot) Emissionsszenario; siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen
Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis Bröde et al. (2017) und ISIMIP (Warszawski et al. 2014)

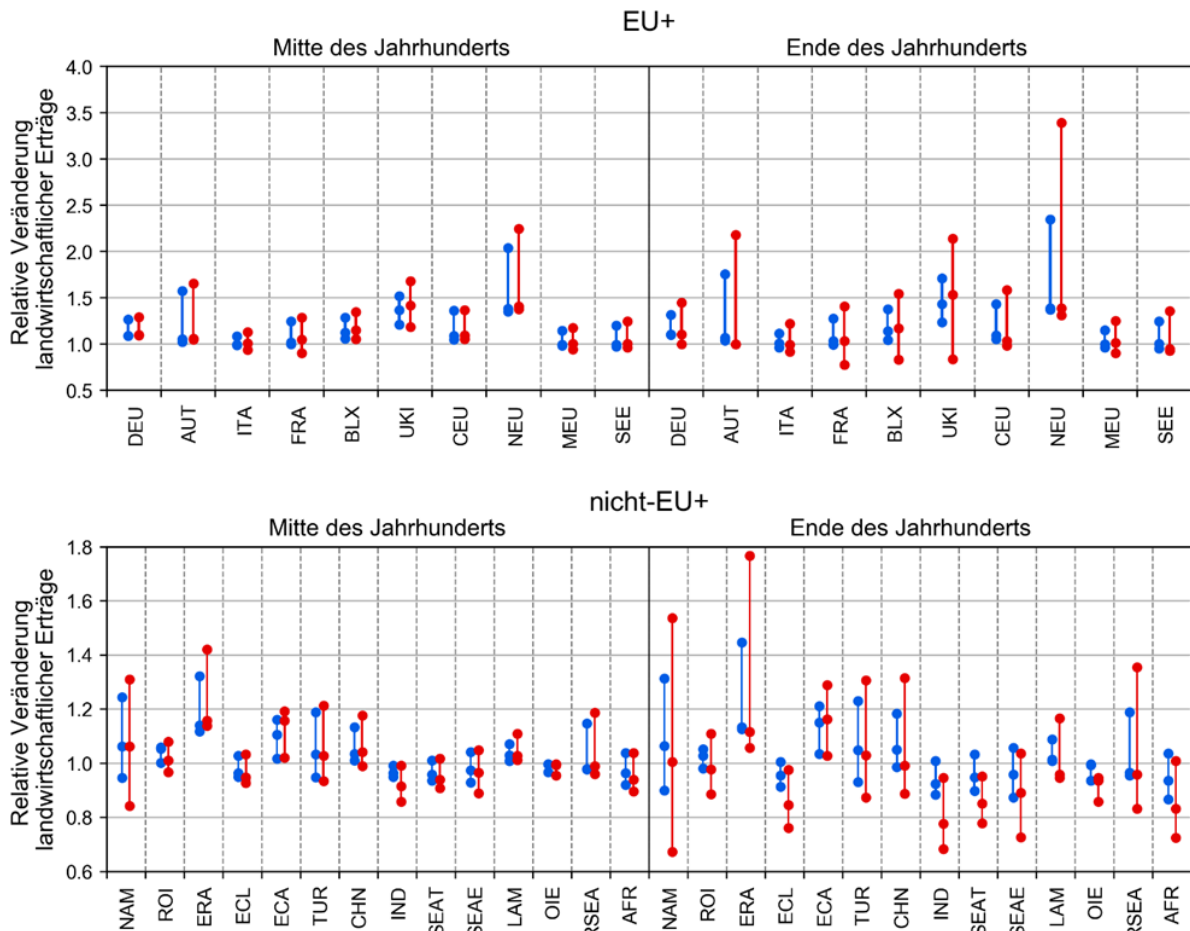
Veränderung landwirtschaftlicher Erträge

Projektionen der Arbeitsproduktivität werden aus globalen Klimamodellen direkt abgeleitet und Projektionen des Meeresspiegelanstiegs basieren lediglich auf einem Impactmodel. Im Gegensatz dazu basieren Abschätzungen potenzieller Ertragsänderungen auf mehreren globalen Landwirtschaftsmodellen, welche durch verschiedene Klimamodelldaten angetrieben wurden (folgende Kombinationen aus Klimamodell und Landwirtschaftsmodell: IPSL-CM5A-LR – GEPIC; HadGEM2-ES – EPIC und NorESM-M – pDSSAT). Im landwirtschaftlichen Modellierungsprozess werden nicht nur Temperaturdaten der Klimamodelle übernommen, sondern bspw. auch Niederschlags- oder Luftfeuchtedaten, deren Projektionen sich stärker unterscheiden als projizierte Temperaturänderungen. Diese längere Modellierungskette und Unterschiede in der Funktionsweise der Landwirtschaftsmodelle führt dazu, dass sich die Projektionen einzelner Modellkombinationen stärker unterscheiden als in den beiden anderen untersuchten Wirkungsketten.

Die globalen Änderungssignale variieren zwischen den einzelnen Modellläufen. Bis Mitte des Jahrhunderts werden Ertragsänderungen zwischen -2% und +9% unter RCP4.5 und -5% und +12% unter RCP8.5 projiziert. Auch hier verstärken sich projizierte Änderungen bis Ende des Jahrhunderts auf

-5% und +12% (RCP4.5) und -17% und +18% (RCP8.5). Zwar unterscheiden sich projizierte Ertragsänderungen regional, aber nahezu alle Modellläufe zeigen Steigerungen in höheren Breiten und in Höhenlagen (vgl. Abbildung 16 in Abschnitt 4.4). Abbildung 33 zeigt Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge bis Mitte und Ende des Jahrhunderts im Vergleich zur Referenzperiode für die einzelnen Regionen.

Abbildung 33: Relative Änderungen landwirtschaftlicher Erträge



Relative Änderungen landwirtschaftlicher Erträge (1=historisches Mittel) für EU+ (oben) und nicht-EU+ (unten) Regionen bis Mitte (jeweils links) und Ende des Jahrhunderts (jeweils rechts) im Vergleich zur Referenzperiode. Farbige Punkte kennzeichnen einzelne Modellläufe (IPSL-CM5A-LR – GEPIC; HadGEM2-ES – EPIC und NorESM-M – pDSSAT) unter dem RCP4.5 (blau) und RCP8.5 (rot) Emissionsszenario; siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis ISIMIP (Warszawski et al. 2014)

Bis Mitte des Jahrhunderts projizieren alle Modelle eine Ertragssteigerung für die EU+ Regionen. Diese Ertragssteigerung ist besonders ausgeprägt im Norden Europas (NEU), während Projektionen für südliche Regionen divergieren (ITA, FRA, MEU und SEE). Bis Ende des Jahrhunderts verstärken sich die projizierten Ertragsänderungen, die Bandbreite möglicher Entwicklungen wird größer. Ein ähnliches Modellverhalten lässt sich mit Blick auf die Emissionsszenarien feststellen, sowohl bis Mitte als auch Ende des Jahrhunderts intensivieren sich projizierte Ertragsänderungen mit höheren Treibhausgasemissionen (RCP8.5 gegenüber RCP4.5).

Dasselbe Verhalten zeigt sich auch für nicht-EU+ Regionen, projizierte Ertragsänderungen verstärken sich im höheren Emissionsszenario (RCP8.5) und auf längeren Zeitskalen (Ende des Jahrhunderts). Für Eurasische Länder und Schwellenländer in Lateinamerika (ERA und ECA)

werden Ertragssteigerungen erwartet, für Indien und Ölexportierende Länder (IND und OIE) Ertragsrückgänge. Für einige lateinamerikanische, südostasiatische und afrikanische Regionen (ECL, SEAT, SEAE und AFR) zeigen sich zunehmende Ertragsminderungen mit fortschreitendem Zeitverlauf und höheren Emissionen. Für die verbleibenden Regionen ist keine klare Richtung erwarteter Ertragsänderungen erkennbar und die einzelnen Projektionen für einzelne Regionen divergieren teilweise stark (bspw. NAM).

Zusammenfassende Bemerkungen

Für alle Wirkungsketten zeigt sich, dass die biophysikalischen Auswirkungen bis Ende des Jahrhunderts gegenüber Auswirkungen bis Mitte des Jahrhunderts zunehmen. Auch fallen biophysikalische Auswirkungen unter dem höheren Emissionsszenario (RCP8.5) deutlich stärker aus als unter RCP4.5.

Für die beiden biophysikalischen Auswirkungen Meeresspiegelanstieg und Arbeitsproduktivität stimmen die Klimaprojektionen hinsichtlich ihrer Richtung (i.e. Anstieg des Meeresspiegels und Abnahme der Arbeitsproduktivität) überein. Beide zeigen negative Klimafolgen, welche sich mit höheren Treibhausgasemissionen und auf längeren Zeitskalen verstärken. Projektionen zu landwirtschaftlichen Ertragsänderungen unterscheiden sich für einzelne Regionen je nach Klimamodell und landwirtschaftlichen Modellen stark und generelle Aussagen sind schwierig zu treffen. Wenngleich sich kein klarer Befund bezüglich projizierter globaler Änderungen feststellen lässt, so zeigt sich auch hier, dass Auswirkungen unter dem höheren Emissionsszenario und mit fortschreitendem Zeitverlauf zunehmen. Insbesondere höhere Breiten (bspw. NEU) könnten von potenziellen Ertragszunahmen profitieren.

6 Schlussfolgerungen aus der quantitativen Analyse

Auf Basis der untersuchten Wirkungsketten können folgende allgemeine Schlussfolgerungen gezogen werden:

- ▶ **Für die drei modellierten Wirkungsketten ‚Veränderung der Arbeitsproduktivität‘, ‚Veränderung landwirtschaftlicher Erträge‘ sowie ‚Anstieg des Meeresspiegels (inkl. Anpassung)‘ kommt es in allen Weltregionen zu negativen volkswirtschaftlichen Effekten.** Besonders stark betroffen sind die Regionen Südostasien, China, Indien, Afrika und die ölexportierenden Länder (BIP-Verluste von bis zu -4% in Südostasien; Wohlfahrtsverluste¹⁴ von bis zu -8% in Indien, jeweils in 2050 relativ zu einem Szenario ohne Klimawandel). Die Verluste sind vor allem auf die durch den Klimawandel bedingte weltweite Abnahme der Arbeitsproduktivität zurückzuführen. Veränderungen in den landwirtschaftlichen Erträgen verursachen entsprechend der zugrundeliegenden landwirtschaftlichen Modelle vergleichsweise kleinere Verluste; in manchen Regionen entstehen – je nach Klima- und biophysikalischen Modellen – hier auch positive Effekte. Durch den Anstieg des Meeresspiegels entstehen in allen Modellregionen negative Effekte, die jedoch aufgrund der unterstellten aktiven Anpassung (Verstärkung der Schutzbauten) relativ klein sind.
- ▶ **In den deutschen Außenhandelsströmen kommt es zu Verlagerungseffekten sowohl auf der Import- als auch auf der Exportseite.** Importseitig wird der Handel mit anderen EU-Regionen verstärkt, während der Handel mit Regionen außerhalb der EU reduziert wird. Diese Effekte sind darauf zurückzuführen, dass EU-Regionen im Vergleich zum Rest der Welt relativ weniger stark von den direkten Klimawandelfolgen betroffen sind. Verlagerungen bei der Güterstruktur der deutschen Importe sind vor allem in den Sektorengruppen „Maschinen und elektronische Geräte“, „Lebensmittel, Textil- und Holzindustrie“ sowie „Restliche Industrie (inkl. Chemische Industrie, raffinierte Erdölzeugnisse, Verarbeitung von Eisen und Stahl)“ zu beobachten, die 2050 mit Klimawandel vermehrt von anderen EU-Ländern (gesamt +0,4%) und in verringertem Ausmaß von Regionen außerhalb der EU bezogen werden (gesamt -1,4%). Insgesamt reduzieren sich die Importe Deutschlands um -0,4%. Exportseitig kann Deutschland sein Außenhandelsvolumen leicht steigern. Dies führt zu einer leichten Zunahme der Exportüberschüsse, da Deutschlands Wirtschaft im Vergleich zum Rest der Welt weniger stark negativ von den direkten Klimawandelfolgen betroffen ist und die strukturellen Wettbewerbsvorteile im Industriebereich halten kann. Bezüglich der Güterstruktur liegen Deutschlands Exporte in einem Szenario mit Klimawandel vor allem in den Sektorgruppen „Maschinen und elektronische Geräte“, „Lebensmittel, Textil- und Holzindustrie“ sowie „Restliche Industrie“ leicht über dem Niveau eines Szenarios ohne Klimawandel (insgesamt um +0,1%).
- ▶ **Insgesamt sind die Effekte auf die deutsche Volkswirtschaft negativ.** Allein wegen der Auswirkungen des weltweiten Klimawandels außerhalb Deutschlands ist mit BIP-Verlusten in der Größenordnung von 0,01% bis 0,35% p.a. und Wohlfahrtsverlusten von 0,11% bis 0,36% p.a. zu rechnen (in 2050, relativ zu einem Szenario ohne Klimawandel). Somit wird

¹⁴ Als Maß für die Wohlfahrt wird im Modell die Kaufkraft der Haushalte verwendet.

die deutsche Wirtschaft durch die Folgen des Klimawandels außerhalb Deutschlands beeinträchtigt, wenn auch weniger stark als viele andere Weltregionen. Die Kaufkraft der Haushalte (als Maß für die Wohlfahrt) nimmt tendenziell stärker als das Bruttoinlandsprodukt ab, da Defensivausgaben beispielsweise durch die Wiederinstandsetzung und Ertüchtigung von Dämmen sowie (reale) Preissteigerung positiv zum Bruttoinlandsprodukt beitragen, nicht aber die Wohlfahrt der Gesellschaft steigern (Reparaturaufwendungen).

- ▶ **Die volkswirtschaftlichen Kosten des globalen Klimawandels für Deutschland entstehen zu einem bedeutenden Anteil durch Effekte in Regionen außerhalb der EU, die sich über den internationalen Handel nach Deutschland fortpflanzen.** Geht man (in einem fiktiven Szenario) davon aus, dass Klimawandel nur in Regionen außerhalb der EU stattfindet und vergleicht man die Ergebnisse mit einem Szenario, in dem Klimawandel in allen Weltregionen stattfindet, sind die Unterschiede in den Auswirkungen auf Deutschlands BIP und Wohlfahrt nur marginal und bleiben insgesamt negativ. Daraus kann man schließen, dass die negativen indirekten Auswirkungen auf Deutschlands Volkswirtschaft zum Großteil durch Effekte außerhalb der EU getrieben sind. Der Einfluss des Klimawandels, der innerhalb der EU entsteht, auf die Wirtschaft Deutschlands ist also in den Modellierungen wesentlich geringer als der indirekte Effekt über Regionen außerhalb der EU.
- ▶ **Anpassung hat einen starken Einfluss auf volkswirtschaftliche Effekte.** Es zeigte sich ein sehr starker positiver Einfluss von Anpassung auf die Indikatoren BIP und Wohlfahrt. In den am stärksten betroffenen außereuropäischen Regionen sind im Szenario ohne Anpassung die negativen Effekte auf beide Indikatoren zwei bis drei Mal so stark wie im Szenario mit Anpassung. Deutschlands Außenhandel würde in diesem Fall mit einer noch stärkeren Verlagerung von außereuropäischen zu innereuropäischen Handelspartnern reagieren. Auch der Wohlfahrtseffekt für Deutschland ist ohne unterstellter Anpassung gegenüber dem Meeresspiegelanstieg deutlich höher als mit Anpassung (-0,3% gegenüber -0,1%).
- ▶ **Auswirkungen bis Ende des Jahrhunderts können um ein Vielfaches ansteigen.** Während die wirtschaftlichen Auswirkungen bis Ende des Jahrhunderts (2100) nicht quantifiziert wurden, lassen die biophysikalischen Auswirkungen bis Ende des Jahrhunderts für die drei Wirkungsketten eine Zunahme negativer Folgen erahnen. Für den Meeresspiegelanstieg sind für die zweite Hälfte des Jahrhunderts deutlich stärkere Effekte zu erwarten, gleiches gilt für die hitzebedingte Abnahme der Arbeitsproduktivität. Auch für die klimabedingten Veränderungen der landwirtschaftlichen Erträge sind die Effekte in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts stärker, wenngleich sich die unterschiedlichen Modelle in der Effektrichtung für manche Regionen unterscheiden. Dies ist u.a. auf Unsicherheiten, die bezüglich der regionalen Veränderung von Niederschlägen bestehen, zurückzuführen.

Mittels einer Szenarienanalyse für Deutschland konnte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens gezeigt werden, dass sich die Klimawandelfolgen, die außerhalb Europas entstehen, über den Welthandel deutlich stärker auf Deutschlands Volkswirtschaft auswirken als die Klimawandelfolgen, die innerhalb Europas entstehen. Dieser Effekt ist darauf zurückzuführen, dass EU-Regionen im Vergleich zum Rest der Welt weniger stark von den direkten Klimawandelfolgen betroffen sind. Ähnliche Untersuchungen für Großbritannien und die

Schweiz bestätigen die Schlussfolgerung der vorliegenden Studie für Deutschland, dass die Auswirkungen des Klimawandels allein über den Außenhandel mindestens gleichbedeutend sind wie die ökonomischen Folgen des Klimawandels innerhalb der Landesgrenzen.

7 Einbettung der Resultate

Die transnationalen Effekte des globalen Klimawandels sind Gegenstand einer aktuell stark wachsenden Literatur. Die folgende Tabelle 6: zeigt eine Auswahl verbreiteter Ansätze zum Überblick.

Tabelle 6: Überblick zur Literatur transnationaler Effekte des globalen Klimawandels

Studie	Bednar-Friedl et al. 2018	Schenker O. 2013a	Lühr O. et al. 2014	ASC 2016	Hedlund J. et al. 2018, Benzie M. et al. 2016 and 2018	Wenz, L. et al. 2016 and Willener et al. 2018
Institution	Wegener Center, INFRAS, EUV	ZEW	Prognos	UK-CCRA	SEI	PIK
Räumlicher Bezug	Global	Global	Betrieblich	National	Global	Global
Zeitskala	Langfrist (2050, 2100)	Langfrist (2050)	Extremerreignis-Trend	Kurzfrist (aktuell) & Langfrist (2050, 2100)	Beobachtungstrends (2008-2012)	Kurzfrist ("day level"), Extremerreignis-Trend (2050)
Klimawandeltyp	Meeresspiegelanstieg, Erwärmung und Arbeitsproduktivität, Landwirtschafts-Produktivität	Landwirtschafts-Produktivität	Wetterextreme (Hitzewellen, Hochwasser)	Ungewichteter Komposit-Index (Wirkungsketten: Ernährungssicherung und Handel, Migration und kriegerische Konflikte)	Ungewichteter Komposit-Index (<i>alle Wirkungsketten</i> : Biophysikalisch, Handels- und Finanzströme, Migration)	Wetterextreme (Hitzewellen, Hochwasser)
Methodik	CGE-Modell	CGE-Modell / SWOT-Analyse	Wertschöpfungsketten / SWOT-Analyse	Climate Risk Assessment / Foresight und Gap Analysis	Climate Risk Assessment (TCI)	Netzwerkanalyse, Agent-based model (Acclimate)
Gleichgewichtsannahme	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Produktionsstruktur	<i>Imperfekte Substitutionalität</i> ("Armington-Elastizitäten")	<i>Imperfekte Substitutionalität</i> ("Armington-Elastizitäten")	Limitationalität (<i>Imperfekte Komplementarität</i>)	Limitationalität (<i>kurzfristig</i>); Imperfekte Substitutionalität (<i>langfristig</i>)	Limitationalität (<i>Perfekte Komplementarität</i>)	Limitationalität (<i>Perfekte Komplementarität</i>)
Verletzlichkeitsmaß	ND-GAIN / ISI-MIP	ND-GAIN	Klimabedingte Länderrisiken (DARA Climate Vulnerability Monitor) ergänzt durch betriebliche Verflechtungsanalysen	<i>Nationale</i> Vulnerabilität (Exposition, Resilienz)	ND-GAIN	Supply Propagation Connectivity (SPC)
Anpassung	<i>Teilweise</i> (Küstenschutz)	<i>Ja</i> (durch Handel und Klimaanpassungsmaßnahmen)	<i>Ja</i> (Risikosteuerung)	<i>Ja</i> (Risikomonitoring, Förderung v.a. autonomer Anpassung sowie Entwicklungshilfe)	<i>Ja</i> (Internationale & grenzüberschreitende Anpassungsplanung)	<i>Grundlegend</i> nur Lagerhaltung ("very basic buffering")
Empfehlungen	Handelsdifferenzierung, Anpassungsförderung in Schwellenländern	Handelsdiversifizierung, Anpassungsförderung in Entwicklungsländern	KLIMACHECK (Risiko-Identifizierung-Bewertungs-Management)	Nationales Risikomonitoring; Handelsliberalisierung, zugleich Intensivierung der nationalen Produktion; <i>überseeische</i> Anpassungsförderung	Internationale Anpassungshilfen, <i>ad hoc</i> auch: Temporäre Abschottung von verletzlichen Märkten und Aussetzung von Welthandelsregeln	Verringerung der systemischen Konnektivität (" <i>Handelsminimierung</i> ")

Quelle: Eigene Darstellung

Die Befunde und Empfehlungen dieser Literatur fallen abhängig von den zugrunde gelegten Raum- und Zeitskalen sowie Wirkungsketten und der jeweiligen Methodik und getroffenen Annahmen sehr unterschiedlich aus. Sie reichen auf der Seite der empfohlenen Strategien und Politiken von Aufklärung und Beobachtung dieser Wirkungen (KLIMACHECK) bis hin zu Folgerungen, dass Handelsbeschränkungen mindestens temporär eine brauchbare Strategie darstellen können, um regionale Volkswirtschaften vor Wirkungen des Klimawandels zu schützen.

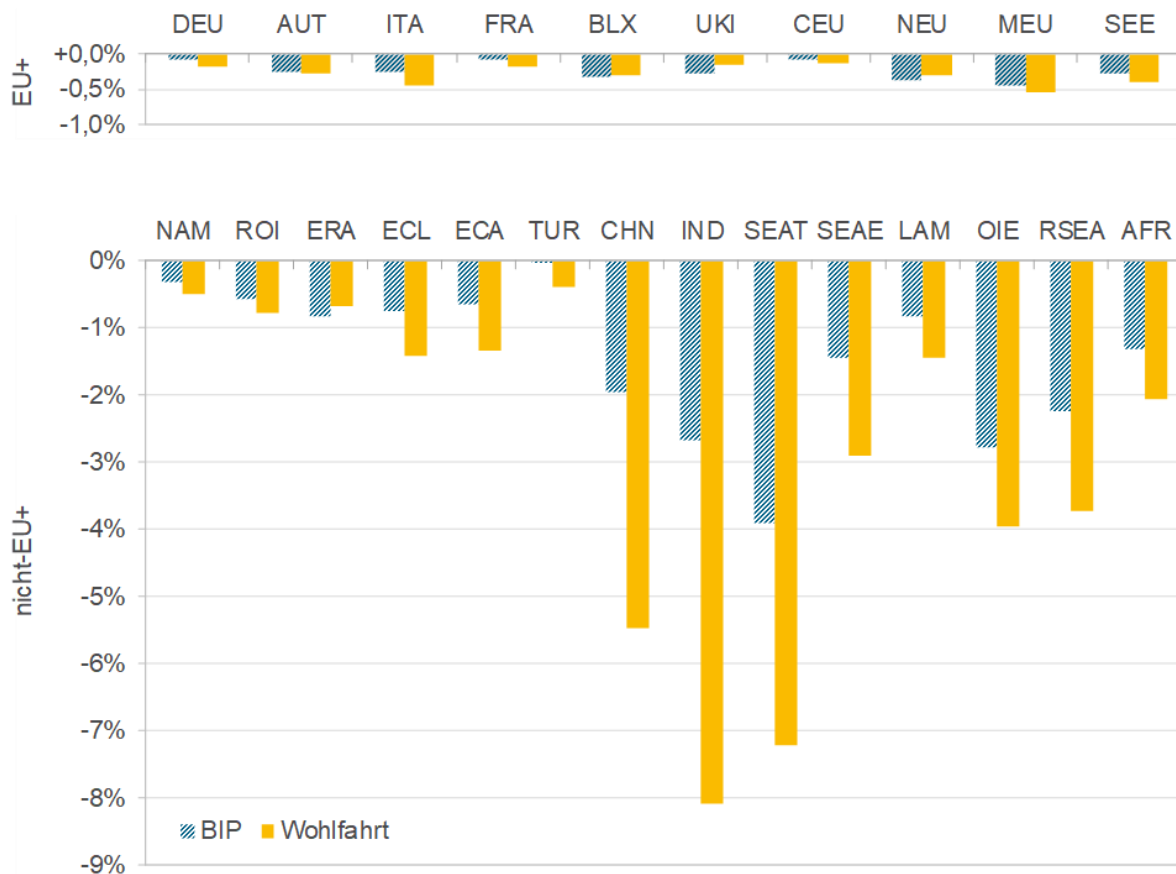
Die unterschiedlichen Empfehlungen der verschiedenen Studien müssen nicht im Widerspruch stehen, da sich diese zum Teil auf unterschiedliche Fristigkeiten und Politikkontexte beziehen. Auf der einen Seite stehen Ansätze, welche sich eher auf kurzfristige Auswirkungen von Extremereignissen und mögliche Notfallmaßnahmen beziehen (z.B. Hedlund et al. 2018, Benzie et al. 2016 und 2018, Wenz et al. 2016 und Willener et al. 2018, etc.). Auf der anderen Seite handelt es sich um Ansätze, welche die langfristigen Auswirkungen eines anhaltenden Klimawandel in den kommenden Jahrzehnten untersuchen und wirtschaftspolitische Orientierung zur Minderung der transnationalen Kosten des Klimawandels ableiten. Innerhalb der verschiedenen Modelltypen, Fristigkeiten der Betrachtungen und für die Synthetisierung der zentralen Annahmen (Länderabdeckung, Gleichgewichtsannahmen, Flexibilität der Produktions- und Handelsstrukturen, etc.) bedarf es eines weiteren wissenschaftlichen Diskurses in diesem jungen Forschungsfeld (systematischer Review vergleichbar mit dem IPCC; Modellvergleichsprojekte wie ISIMIP).

Aus Sicht der vorliegenden Studie geht es darum, mit einer längerfristigen Perspektive eine Kombination von handels- und klimapolitischen Maßnahmen zu identifizieren, welche die negativen Beschäftigungs- und Wohlfahrtswirkungen für Deutschland minimieren und gleichzeitig die Chancen geeignet nutzen lässt. Dies kann durch regionale und sektorale strategische Ausrichtungen in der integrierten Handels- und Klimapolitik erfolgen, wie im Folgenden beschrieben.

8 Regionale und sektorale strategische Ausrichtungen in der Handels- und Klimapolitik

Abbildung 34 zeigt die Einbußen bei Wohlfahrt und BIP in den verschiedenen Weltregionen im Jahr 2050 gegenüber der Referenzentwicklung ohne Klimawandel, wenn die wirtschaftlichen Folgen der in der betrachteten drei Wirkungsketten des weltweiten Klimawandels modellmäßig ermittelt werden.

Abbildung 34: Veränderung von BIP und Wohlfahrt im Jahr 2050



Veränderung von Wohlfahrt und BIP im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft, für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065); siehe Tabelle 1 für Regionsabkürzungen

Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Abbildung 34 zeigt, dass die wirtschaftlich negativen Effekte im EU-Raum wesentlich geringer ausfallen als in Regionen außerhalb der EU, welche starke Einbußen aufweisen. Dies verdeutlicht, dass eine Fokussierung der Handelsbeziehungen Deutschlands auf den EU-Raum ein Element einer Strategie darstellt, wie man die Resilienz gegenüber den indirekten Folgen des weltweiten Klimawandels erhöhen kann.

Für Regionen außerhalb der EU wird ersichtlich, dass die drei in die Modellanalyse einbezogenen Wirkungsketten des Klimawandels v.a. in den Weltregionen China, Indien, Süd- und Südostasien, dem mittleren Osten und Afrika inkl. Tunesien starke Einbußen in der Wohlfahrt im Bruttoinlandsprodukt (BIP) nach sich ziehen. Die Kaufkraft dieser Länder sinkt gegenüber der Referenzentwicklung erheblich mit beträchtlichen indirekten Folgen für Deutschland als Handelspartner.

Die transnationalen Auswirkungen des globalen Klimawandels lassen sich jedoch nicht durch eine generelle Reduktion der internationalen Handelsbeziehungen abfedern. Eine solche Strategie könnte auch in Deutschland zu wesentlichen Wohlstandseinbußen führen. Weltweiter Handel und Arbeitsteilung in der Produktion von Waren und Dienstleistungen bauen auf den relativen Stärken aller Länder auf. Zudem führen sie zu einer Vernetzung, welche für die soziale und politische Stabilität der Welt zentral ist.

Die Resilienz der deutschen Wirtschaft lässt sich jedoch durch eine stärkere Diversifizierung bzw. Restrukturierung der globalen Handelsbeziehungen verbessern. Diese muss mit einer gezielten Unterstützung von Anpassungsmaßnahmen in den stark betroffenen Weltregionen einhergehen, die für Deutschland bezüglich Zuliefer- und Absatzmärkten wichtig und schwer substituierbar sind. Dazu zählen besonders Schwellenländer in Süd- und Südostasien sowie China. Basierend auf diesen Überlegungen und den Analysen aller Wirkungsketten (unter Berücksichtigung der unterstellten Anpassungsmaßnahmen angesichts des Meeresspiegelanstiegs) folgt eine gezielte regionale Kombination von handels- und klimapolitischen Maßnahmen zur Minimierung der negativen transnationalen Effekte auf die Wohlfahrt und das BIP in Deutschland:

1a) eine strategische Stärkung des deutschen Handels mit Weltregionen, die geringe transnationale Übertragungseffekte bedingen (insbes. EU, Türkei, Nordamerika).

1b) eine breitere Diversifizierung der betrieblichen Wertschöpfungsketten, um weniger von einzelnen Ländern abhängig zu sein,

bei gleichzeitiger

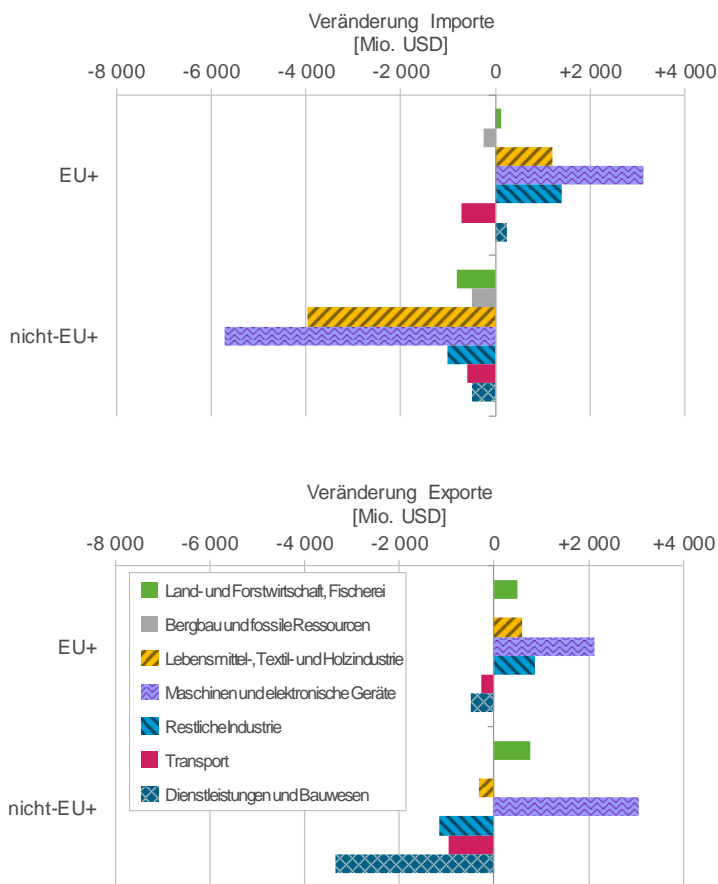
2) strategischer Unterstützung von Anpassungsmaßnahmen in Weltregionen, die besonders starke negative transnationale Handelseffekte im Klimawandel auslösen (insbes. China, Indien, Südostasien) im Rahmen einer deutschen „Klimaaußenpolitik“. Die Industrienationen haben zudem auch als Hauptverursacher des Klimawandels eine zentrale Verantwortung, Klimaschutz und Klimaanpassung in den stärker betroffenen Weltregionen stark zu unterstützen.

Fazit aus der Regionen-bezogenen Betrachtung

Anzustreben ist eine Kombination von Handelsstärkung mit ausgewählten Regionen – wir sprechen von „Strategischer Handelsdifferenzierung“ – und gezielter Förderung von Klimaanpassung in Schwellenländern.

Abbildung 35 zeigt unterteilt nach EU-Raum- und Regionen außerhalb der EU, wie sich die Güterstruktur der Importe und Exporte Deutschlands im Vergleich zur Referenzentwicklung ohne Klimawandel bis 2050 ändern, wenn die drei genannten Wirkungskanäle des weltweiten Klimawandels modelliert werden.

Abbildung 35: Veränderung von Importen und Exporten Deutschlands im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft



Veränderung von Importen (oben) und Exporten (unten) Deutschlands in Mio. USD₂₀₁₁ im Jahr 2050 durch das Zusammenspiel der Wirkungsketten Meeresspiegelanstieg, Arbeitsproduktivität und Landwirtschaft, jeweils für RCP4.5 im Vergleich zum Basisszenario (SSP2); verwendetes Klimamodell: HadGEM2-ES; klimatische Periode 2050 (Ø2036-2065)
Quelle: Wegener Center, Universität Graz

Die Importe Deutschlands weisen im Gesamtbild stärkere Einbußen auf als die Exporte. Dies kann die Produktionsketten deutscher Unternehmen je nach Branche verschieden stark beeinträchtigen. Bei den Importen ist erkennbar, dass Deutschland die Importgüter, welche wegen des weltweiten Klimawandels weniger aus Regionen außerhalb der EU kommen, vermehrt aus dem EU-Raum bezieht. Bei den Exporten zeigt sich, dass die „Dienstleistungen und Bauwesen“ deutlich weniger Nachfrage aus dem Ausland aufweisen, Deutschland dagegen bei Maschinen und elektronischen Geräten (Ingenieursleistungen) sowohl aus den EU und Nicht-EU-Ländern eine stärkere Nachfrage erfährt. In diesem Sektor gilt es die technologische Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, um die Wohlfahrts- und Produktionseinbußen in Deutschland zu minimieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass Deutschland gegenüber dem weltweiten Klimawandel spürbar exponiert ist. Dies betrifft deutsche Unternehmen einerseits in ihren internationalen Absatzmärkten (Exporte) und andererseits vor allem beim Import wichtiger Vorleistungsgüter für die Produktionsprozesse im Inland. Die Studienergebnisse können für Wirtschaftsakteure Anlass geben, ihre Strategien der Handelsverflechtungen zu überprüfen und nach Möglichkeiten zu suchen, die Risiken der klimaseitigen Exposition der Vorleistungsbezüge zu diversifizieren

sowie eine Minderung erheblicher Abhängigkeiten von Einzelstoffen aus stark klimaexponierten Ländern zu erreichen. Als Folge davon dürfte der Globalisierungsgrad der Produktion von Waren künftig eher etwas abnehmen.

In der Analyse aller Wirkungsketten folgt zugleich eine gezielte sektorale Kombination von handels- und klimapolitischen Maßnahmen zur Verringerung der negativen transnationalen Effekte auf die Wohlfahrt und das BIP in Deutschland:

1) Bei zu geringem betrieblichem Fokus auf langfristige Herausforderungen des Klimawandels in der Technologieentwicklung eine Förderung und strategische Stärkung der Rahmenbedingungen des Handels mit Maschinenbau- und Elektronikwaren, einer traditionellen Stärke der deutschen Außenwirtschaft (Strategie „Stärken stärken“),

bei gleichzeitiger

2) strategischer Unterstützung von Anpassungsmaßnahmen zur Stabilisierung der Nachfrage nach Dienstleistungs-, Bau- und sonstigen Industriewaren (außerhalb der Maschinen – und Elektronikbranche) in Nicht-EU-Ländern.

Fazit Sektor bezogene Betrachtung:

Anzustreben ist eine Kombination von „Stärken stärken“ (in der sektoralen Handelspolitik) und „Branchen-Absatzeinbußen dämpfen“ (durch Förderung von Klimawandelanpassung und der Anpassungskapazität in den Nicht-EU-Ländern).

9 Direkte Empfehlungen

Aus den Analysen und der Einbettung des Vorhabens Impact CHAIN in die Thematik der Herausforderungen des Klimawandels für Deutschland ergeben sich im Folgenden Empfehlungen für Anpassungsmaßnahmen. Die Analyse lässt erkennen, dass die internationalen Auswirkungen des Klimawandels für Deutschland über den Handel relevante Herausforderungen mit sich bringen. Das bedeutet zunächst, dass die Unternehmen, welche in den Handel mit Vorleistungs- und/oder Exportgütern involviert sind, vor Herausforderungen stehen. Ein Teil der Empfehlungen bezieht sich auf die Ebene der Unternehmen. Inwieweit sich aus den erkennbaren Herausforderungen ein Bedarf nach staatlichem Handeln ergibt, hängt davon ab, ob die Herausforderungen direkt als Marktversagen zu interpretieren sind oder ob die erforderliche Anpassungsgeschwindigkeit und der nötige Planungshorizont die betriebswirtschaftlich üblicherweise einbezogenen Zeitspannen übersteigen. Wenn mit staatlichem Handeln bei vorliegenden Marktversagen bessere Ergebnisse erwartbar sind als bei staatlichem Nicht-Handeln, dann ist staatliches Handeln (mit Fokus auf Ebene Bund) angezeigt und es werden im Folgenden Empfehlungen auch für die öffentliche Hand verfasst.

Gegliedert sind die Empfehlungen grundsätzlich in Maßnahmen, die vorwiegend die öffentliche Hand betreffen (a) und solche, die auf Unternehmen (b) abzielen. Bei Letzteren wird unterschieden zwischen Maßnahmen, die in Betrieben selbst getätigt werden sollten (b1) und solchen, die zwar auf Unternehmensebene abzielen, jedoch durch staatliche Unterstützung getätigt werden sollten (b2). Ergänzend werden Empfehlungen zur Entscheidungsunterstützung im Rahmen einer zielorientierten Finanzmittelbereitstellung aufgeführt (c) sowie Politikempfehlungen dargelegt, welche im internationalen Raum zu entwickeln sind, um die deutschen Beiträge in Verhandlungsprozessen zu informieren (d). Die Empfehlungen in Verbindung mit der DAS folgt in Kapitel 10.

a) Nationale Politik

- ▶ Aufgrund der Analysen im Kapitel 4 ist die Hauptempfehlung der vorliegenden Studie, **handels- und klimapolitische Maßnahmen miteinander** gezielt zu **verbinden**. Die transnationalen Auswirkungen des globalen Klimawandels lassen sich jedoch nicht durch eine generelle Reduktion der internationalen Handelsbeziehungen abfedern. Eine solche Strategie könnte auch in Deutschland zu wesentlichen Wohlstandseinbußen führen. Weltweiter Handel und Arbeitsteilung in der Produktion von Waren und Dienstleistungen bauen auf den relativen Stärken aller Länder auf. Zudem führen sie zu einer Vernetzung, welche für die soziale und politische Stabilität der Welt zentral ist. Aktive und **vielfältige Handelsbeziehungen** sind deshalb immer auch eine Art der Risikodiversifikation. deshalb wird empfohlen, den Handel nicht einfach zu verringern, sondern zu differenzieren, d.h. z.B. bestimmte Vorleistungen möglichst nicht aus nur einem Land zu beziehen und stetig darauf bedacht zu sein, mögliche substitutive Güter ebenfalls einzubeziehen. Dies erhöht die Reaktionsfähigkeit der deutschen Unternehmen beim Bezug von Vorleistungen aus dem Rest der Welt, wenn bedingt durch den Klimawandel ein Gut nicht mehr verfügbar und/oder eine Region als Lieferant ausfällt und Verzögerungen drohen.

Die im Folgenden beschriebenen Maßnahmenfelder sollten grundsätzlich auf Grundlage von gesamtgesellschaftlichen Wohlfahrtserwägungen getätigt werden und nicht primär auf Handelsbilanzeffekte fokussieren. Es geht nicht darum, den Welthandel bewusst zu verringern oder umgekehrt eine maximale Konnektivität mit anderen Ländern anzustreben, sondern es

geht um eine gesunde, resiliente Diversifizierung angesichts gradueller Klimaveränderungen und zunehmender Wetterextreme.

- ▶ Die quantitativen Analysen der wirtschaftlichen Folgen zeigen, dass Europa generell und Deutschland im Speziellen im Vergleich zu manchen außereuropäischen Regionen schwächer negativ betroffen sein wird. Dadurch kommt es zu einem Verlagerungseffekt des Handels von nicht-EU zu EU-Ländern und zu einer Verbesserung der deutschen Wettbewerbsfähigkeit (terms of trade). Es wird deshalb empfohlen, den Wirtschaftsraum EU+ auch in Zukunft weiter zu stärken und die **Wirtschaftsbeziehungen** mit der **EU+ auszubauen** (z.B. Zollabkommen mit der Türkei oder anderen relativ weniger vulnerablen Ländern in der Region). Optimal aus ökonomischer Sicht wäre es, diese Anstrengungen mit der Erreichung von Klimaschutzziele und Sustainable Development Goals (SDGs) zu verknüpfen.
- ▶ Nachdem die Risiken erkannt wurden, ist es zentral, die Bedeutung der Risiken auf die einzelnen Sektoren/Unternehmen herunterzubrechen. Dies wird als staatliche, nationale Politikaufgabe zur Standardisierung der Risikoabschätzung verstanden. Dies beinhaltet die Identifikation und **Offenlegung von finanziellen Klimarisiken**. Im Rahmen der FSB Task Force der G20¹⁵ wird die freiwillige Offenlegung von Klimarisiken von Firmen im ordentlichen Firmenreporting gefördert. Diese Offenlegung ist sowohl für Versicherungen, Investoren aber auch für andere Kapitalmarktakteure von wachsendem Interesse. Im März 2018 hat die EU-Kommission konkrete Vorschriften für „nachhaltige Finanzprodukte“ vorgelegt (DG FISMA 2018). Diese sind ein begleitend wichtiges politisches Instrument, um Regeln für eine erhöhte Transparenz und eine bessere Bewertbarkeit in diesem schnell wachsenden Segment des Kapitalmarkts zu schaffen.
- ▶ Weiter wird empfohlen, auf nationaler Ebene auch auf die sich ergebenden **Chancen** zu fokussieren und entstehende neue Handelsvorteile v.a. auf der Exportseite (terms of trade) positiv zu nutzen. Lühr et al. (2014, 42), identifizieren auf Basis von Firmenbefragungen folgende strategische betriebliche Pfade: 1) Klimaangepasste Produktentwicklung in Verbindung mit Forschungseinrichtungen und Universitäten, 2) neue und Anpassung bestehender technische Regelwerke und Standards zur Verbesserung der „Klimarobustheit“¹⁶ und 3) die Schaffung von Klimawandel-Bewusstsein bei den Kunden. Staatlich geförderte Klimainformationsplattformen bzw. die Verknüpfung mit bewährten EU- und anderen Plattformen (z.B. Climate-ADAPT, Climate-KIC) können hier einen wichtigen Beitrag liefern.
- ▶ Die Analysen zeigen, dass die Regionen Südasiens, China, Indien, Afrika und die öllexportierenden Länder besonders negativ durch Klimawandeleffekte betroffen sind. Deshalb ist gezielte **Anpassungsförderung in Schwellenländern** angebracht, um die Resilienz beim Import und Export zu stärken. Die Industrienationen haben zudem auch als Hauptverursacher des Klimawandels eine zentrale Verantwortung, Klimaschutz und

¹⁵ Die Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD) wurde 2015 vom Financial Stability Board (FSB) der G20 eingerichtet, um eine konsistente klimabezogene Offenlegungen zu finanziellen Risiken zu entwickeln, die von Unternehmen bei der Bereitstellung von Informationen für Investoren, Kreditgeber, Versicherer und andere Interessengruppen verwendet werden. Vgl. <https://www.fsb-tcfd.org/>.

¹⁶ Anknüpfungspunkte könnten hier die aktuellen ISO Standards 1409X zu Anpassungsmanagement sein, der ISO Guide 84 sowie weitere Arbeiten auf europäischer Ebene (CEN). Vgl. U.a. <https://www.iso.org/committee/546318.html>

Klimaanpassung in den stärker betroffenen Weltregionen stark zu unterstützen. Dabei können Umweltbestimmungen bzw. Klimabestimmungen geeignete Instrumente der Harmonisierung internationaler Klima- und Handelsverträge darstellen. (Vgl. Dröge und Schernuit 2018, Schloemann et al., 2016). Die heute bereits verbreiteten Klima- und Umweltbestimmungen bei der Vergabe von Finanzmitteln der Entwicklungsbanken (vgl. Di Leva, 2015) können dabei eine Orientierung geben. Wenn Deutschland die heutige Wettbewerbsfähigkeit bei wertschöpfungsintensiven Gütern (z.B. im High-Tech Bereich) halten kann, können negative internationale Auswirkungen des Klimawandels über Handelskanäle abgedeckt werden. Diese Wettbewerbsfähigkeit hängt zum Beispiel vom Umfang von Forschung und Entwicklung, unternehmerischen Rahmenbedingungen, der Qualität der Bildung und der Innovationskraft der Unternehmen ab. Wenn die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in diesem Bereich künftig abnimmt, so wären die Risiken des weltweiten Klimawandels für Deutschland wesentlich größer und die Chancen geringer.

- ▶ Auf nationaler Ebene wird empfohlen, bei der **Exportunterstützung** auf den bestehenden Stärken aufzubauen. Es sollten im Falle von vorliegenden Marktversagen (Informationsasymmetrien, zeitlich zu kurze Sicht der Unternehmen bei der Investitionsplanung, Systemrisiken) diejenigen Branchen im Export gestärkt werden, die sich bereits jetzt und auch in Zukunft behaupten werden, wie beispielsweise Maschinen und elektronische Geräte. Ob es dabei eine industriepolitische Förderung durch die öffentliche Hand braucht, ist zu diskutieren. Da aber die Zeithorizonte der absehbaren Herausforderungen die betriebswirtschaftlichen Planungshorizonte zum Teil übersteigen, kann vielmehr in einzelnen Technologiebereichen eine Sensibilisierung bis hin zu einer vorübergehenden F&E-Unterstützung und die Unterstützung der Vernetzung von angewandter Wissenschaft und Wirtschaft sinnvoll sein. Die staatlichen Initiativen zur Förderung von Klimadienleistungen („Climate Services“) sind fortzuentwickeln in Richtung auf mögliche Anpassungsstrategien für transnationale Effekte. Wichtig wäre, für Vorhaben, die nicht offensichtlich klimasensitiv sind, klimatische Risiken (z.B. Zunahme von Extremwetterereignissen, Temperaturanstieg, etc.) verstärkt miteinzubeziehen. Sinnvoll wäre weiter, gezielt Investitionen mit bspw. «Anpassungscharakter» zu fördern, analog wie bei den Exportkreditgarantien. Für alle Bereiche der Exportförderung gilt, dass es verbindliche Vorgaben braucht. Diese wiederum müssen als Resultat der politischen Diskussion in die Verwaltung getragen werden. Die Zusammenarbeit zwischen Umwelt- und Wirtschaftsressorts scheint dabei zentral. Auch könnte man im Rahmen der DAS die Anstrengungen aus Wirtschaftskreisen bezüglich des Einbezugs des Themas Klima in die Aussenhandelsförderung proaktiver kommunizieren
- ▶ Wir empfehlen, die Maßnahmen schrittweise auf der Grundlage zunehmend robusteren Ergebnissen zu formulieren. Dafür wäre ein regelmäßiges **Monitoring der Datenlage zur Entwicklung der importsensitiven und der exportstarken Unternehmen in vom Klimawandel potentiell besonders tangierte Weltregionen** zentral wichtig. Sehr wichtig ist es auch, dass die öffentliche Hand die weiteren **Erkenntnisgewinne** der noch **jungen Forschung** in dem relativ neuen Forschungsfeld **aktiv verfolgt** und die Strategie an neue Erkenntnisse anpassen kann.

b1) Betriebliche Empfehlungen

- ▶ Es wird empfohlen, das **strategische Risikomanagement** wie auch das **operationelle Risikomanagement** hinsichtlich der Thematik zu stärken. Das Thema muss auf strategischer Ebene präsent sein, das bedeutet auch, dass beispielsweise ein Risk Manager für das Thema sensibilisiert werden sollte. Es scheint nicht zielführend, nur die Nachhaltigkeitsabteilung zu sensibilisieren. Auf strategischer Ebene sollten auch Maßnahmen zur Offenlegung finanzieller Klimarisiken unterstützt und durch die Privatwirtschaft getragen werden (wie bspw. TCFD oder CDP). Eine themenbezogene, konkrete privatwirtschaftliche Initiative ist der CDP Supply Chain Report 2017, der die Offenlegung von Klimarisiken (in Bezug auf die internationale Verflechtung) fördert.
- ▶ Auf operationeller Ebene umfassen die empfohlenen Maßnahmen Aktivitäten, die im Rahmen des betrieblichen Risikomanagements erfasst werden sollen. Dies umfasst beispielsweise die systematische Analyse der Risiken und Risikomanagementsysteme, die **Diversifikation** von Absatz- und Beschaffungsmärkten oder die Förderung der **Substitution** von Vorleistungsgütern. Die **Diversifikation** der Zulieferketten oder Unternehmenszusammenarbeit bei der Beschaffung von Vorleistungsinputs aus dem Ausland sind weiterhin Instrumente, um die Resilienz zu erhöhen, und sollten weiter gefördert werden.
- ▶ Zusätzlich werden auch **Versicherungslösungen** (z.B. Klimaversicherungen, Fortentwicklung der Betriebsstörungsversicherung, Technologieversicherungen) an Bedeutung gewinnen und sollten weiter politisch rahmengebend gefördert und unterstützt werden. Das durch das BMU geförderte Netzwerk „Klimarisikomanagement 2050“¹⁷ und die (mittelstandbezogene) durch das BMWI geförderte Initiative „Klimacheck“¹⁸ stellen aktuelle Beispiele dar, die Unternehmen bei der Erarbeitung einer Risikostrategie zu unterstützen, die die gesamte nationale und internationale Wertschöpfungskette umfassen.
- ▶ Wie bei den nationalen Maßnahmen, sollten auch die betrieblichen Maßnahmen darauf ausgerichtet sein, die **Resilienz der Beschaffungsmärkte zu unterstützen**. Die Kaffeebranche kann hierbei als Vorreiter gelten. Durch ihre Brancheninitiative *coffee and climate* bezweckt sie, die Resilienz der Kaffeepflanzen gegen die Auswirkungen des Klimawandels zu erhöhen und dadurch die Produktion in Qualität und Menge zu erhalten bzw. zu erhöhen. Solche Initiativen könnten auch von anderen Branchen adaptiert werden.
- ▶ Wie bei den nationalen Maßnahmen, sollten auch Betriebe versuchen, Chancen durch sich ändernde Absatzbedingungen zu nutzen. Zahlreiche Beispiele aus den Bereichen (Spezial)Bau, Maschinenbau sowie chemische und pharmazeutische Industrie geben Lühr et al. (2014) dafür: Deichbau- und Küstenschutzmaßnahmen (z.B. die Installation von Hochwasser- und Spundwände, Bühnen und Schleusentoren) bieten ein attraktives Marktpotential für darauf spezialisierte Firmen in Deutschland ebenso wie zukunftsweisende Technologien der Abwasserreinigung und -aufbereitung.

¹⁷ <https://www.umweltbundesamt.de/service/termine/netzwerk-klimarisikomanagement-2050-umgang>

¹⁸ <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Downloads/klimacheck-tool.html>

Wassersparende landwirtschaftliche Maschinen (z.B. Tropfbewässerungssysteme) oder Transportfahrzeuge mit niedrigem Tiefgang bieten Marktchance für die Maschinenbauindustrie unter den Bedingungen zunehmender Wasserknappheit. Hitzebeständiges und trockenheitsresistentes Saatgut sowie neue Werkstoffe und Materialien für die Isolierung von Fassaden und Dächer eröffnen der chemischen Industrie neue weltweite Absatzchancen und verringern die hitze- und feuchtebedingten Einbußen bei der Arbeitsproduktivität.

b2) Staatlich unterstützte Maßnahmen mit Fokus Unternehmen

- ▶ Generell soll die **Sensibilisierung** für das Thema auf Unternehmensebene gefördert werden. Es gilt, die Betroffenheit aufzuzeigen. In vielen Branchen ist das Thema noch sehr wenig verortet. Dabei kann auf best practice Beispiele zurückgegriffen werden (z.B. aus dem Bereich der Kaffeeindustrie oder der Versicherungswirtschaft). Dazu braucht es jedoch voraussichtlich ein unterschiedliches Vorgehen für kleine und mittlere Unternehmen und für große Unternehmen.
- ▶ Empfohlen wird weiter, die wissenschaftlichen **Datengrundlagen** zum Thema weiter auszubauen und die globalen Risiken für Unternehmen besser zu identifizieren. Beispielsweise gibt es erste Computermodellierungen, welche die Anbaubedingungen für Kaffee in die Zukunft projizieren. Dies sind wertvolle erste Schritte zur Sensibilisierung verschiedener Stakeholder, die ausgebaut werden sollten. Auch in der Modellierung von betriebswirtschaftlichen Auswirkungen in deutschen Unternehmen besteht noch Handlungsbedarf. Zentral ist auch, dass Handelsdaten zu Lieferketten weiter untersucht werden. Das Aufzeigen von Risiken und Handlungsoptionen für Unternehmen wäre über Vergleichsanalysen denkbar (best in class Ansatz), damit sich Firmen bezüglich ihrer Praktiken einordnen könnten. Solche Analysen können beispielsweise über die EU-geförderten Initiative Climate-KIC (EIT, 2019) und die Verbände der Wirtschaft unterstützt werden.
- ▶ Grundsätzlich kann die **Identifikation und das Aufzeigen der Klimarisiken** von Privaten (Haushalten und Unternehmen) als überbetriebliches, systemisches Risiko und damit als staatliche Aufgabe aufgefasst werden (Renn, 2014). Private Unternehmen haben als Akteure wenig Anreize diese Informationen zu erstellen, da auf dem Markt Aspekte von Marktversagen bestehen: a) Unterschiede zwischen betriebswirtschaftlich relevanten Zeiträumen (am Markt überleben) und den klimarelevanten Zeitspannen von wirtschaftlichen Aktivitäten; b) Problematik meritokratischer Güter, private Akteure fragen von sich aus weniger nach als volkswirtschaftlich optimal wäre, c) Gefahr des Trittbrettfahrens, weshalb Unternehmen nicht Informationen erarbeiten, welche von anderen allenfalls anschließend kostenlos verwendet werden können. Wegen dieser Aspekte von Marktversagen ist staatliches Handeln angezeigt. Der Staat könnte dann diese Informationen den Unternehmen und Haushalte zur Verfügung stellen, Stichwort Klimaanpassungsdienste.
- ▶ **Sektorale Unternehmensanstrengungen** sollten vorangetrieben werden. Projekte, wie sie im Rahmen der *coffee&climate* Initiative durchgeführt werden, sollten ausgebaut werden. Der Staat ist bei solchen Aktivitäten ein ebenso wichtiger Stakeholder wie die

Privatwirtschaft und soll bei der Auseinandersetzung mit dem Thema als Partner agieren. Ein starkes Zusammenspiel von privaten und öffentlichen Akteuren sowie langfristige Verpflichtungen sind dabei zentral.

- ▶ Es sollte untersucht werden, wie **staatliche Exportrisikogarantien** aufbauend auf den „Common Approaches on Environment and Officially Supported Export Credits“ der OECD (TAD/ECG(2012)5) geeignet ausgestaltet werden können, um Aspekte der Exposition gegenüber Klimaänderungen einzubeziehen. Die staatliche Exportförderung basiert auf differenzierten Berichtspflichten der staatlichen Kreditgeber und Kreditversicherer (wie Hermes) zur Umwelt- und Sozialverträglichkeit der geförderten Projekte, beispielhaft aufgelistet in TAD/ECG(2015)15/FINAL. Diese beziehen sich bislang vor allem auf die Einhaltung von Standards der Empfängerländer (Paragraph 26 der Common Approaches), aber im Grundsatz auch auf die Einhaltung internationaler Standards der Weltbank, multilateraler Entwicklungsbanken (wie der DEG), aber auch weitergehender, international anerkannter Standards der EU (Paragraph 20, 21 und 24 der Common Approaches). Wenn diese Standards um die Berücksichtigung der weltweiten Wohlfahrtswirkungen aus transnationalen Effekten ausgebaut würden, wäre eine gezielte Exportförderung entsprechend möglich und verbindlich.
- ▶ Ein **übergeordnetes Monitoring** der transnationalen Risiken soll künftig über alle Einflusskanäle (nicht nur für Handelskanäle) erfolgen und den Unternehmen auf staatlicherseits bereitgestellten Klimainformationsplattformen zur Verfügung gestellt werden.
- ▶ **Grundsätzlich** sollte jede staatliche Strategie der Anpassung an den Klimawandel mit dem Ziel der Senkung der Verletzlichkeit von Wertschöpfungsketten gegenüber extremen Wetterereignissen **„bottom-up“, d.h. unter einer verantwortlichen Mitwirkung der Akteure aus der Privatwirtschaft** bestimmt werden. „Weiche“ Maßnahmen wie Information, Awareness, Erziehung, Einbettung in Berufsbilder und Ausbildungsgänge, Normen für das betriebliche Risikomanagement etc. sollte dabei vor „harten“ regulatorischen Eingriffen oder Risikoübernahmen seitens der öffentlichen Hand stehen. Die Anstrengungen von KOMPASS (UBA) und KLIMACHECK (BMWi) im Bereich der Supply Chain Managements von Unternehmen bieten hierfür erste Ansatzpunkte in Deutschland ebenso wie die vielfältigen Initiativen aus dem Bereich von Klimadienstleistungen privater Intermediäre wie z.B. Price-Waterhouse-Cooper 2015, M Global 2017 und HSBC Global Research 2018.

d) Politikansätze im internationalen Raum

Die Sicherung und der Erhalt von internationalen Wertschöpfungsketten ist ein anerkanntes Ziel der UN-Rahmenkonvention zum Klimawandel (UNFCCC). Wichtige Entscheidungen im Rahmen der UNFCCC dazu waren der Bali Aktionsplan und die Beschlüsse von Cancun zur Klimaanpassung (FCCC/CP/2010/7/Add.1). Letztere sind fast wortgleich in den Artikel 7 des Übereinkommens von Paris übernommen worden, in dem es heißt:

„Die Vertragsparteien erkennen an, dass die Anpassung für alle eine weltweite Herausforderung mit lokalen, subnationalen, nationalen, regionalen und internationalen Dimensionen ist“ (Hervorhebung, d. Verf.).

Aus dieser Bestimmung folgen Pflichten für alle Unterzeichnerstaaten des Pariser Übereinkommens, darunter die Europäische Union (EU) und ihre Mitgliedstaaten, Ziele und Zielerfüllungsberichte nach Art. 7.10 PA im Rahmen sog. „Anpassungsmitteilungen“ an die UN zu erstellen (Schwarze 2017). Das wiederum erfordert den Übergang zur einer gemeinschaftlichen Anpassungspolitik, darunter auch gemeinsame Strategien zur Verringerung von negativen transnationalen Klimafolgen für die Gemeinschaft. Die bisherige Enthaltensamkeit von Brüssel in diesen Fragen wird mit Pflicht zur Entwicklung einheitlicher Berichtssysteme für die Klimaresilienz nach 2020 zu Ende gehen. In abgestimmter Weise müssen die Mitgliedstaaten auch in der Umsetzung des Sendai-Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge der UN neu gefasst werden (Auswärtiges Amt 2015). Insofern stärken sich das Pariser Übereinkommens und das Sendai-Rahmenwerk gegenseitig im Vollzug auch einer Strategie zur Vermeidung transnationaler Effekte. Die Folgen des Klimawandels auf internationale Wertschöpfungsketten werden auch in anderen internationalen politischen Kontexten thematisiert. Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung mit ihren 17 Sustainable Development Goals (SDGs) verlangt z.B. explizit in SDG 13 den klimafreundlichen und -resilienten Umbau der Wirtschaftssysteme in Industrie- und Entwicklungsländern. Die G7 und die G20 haben auf Gipfeltreffen in Elmau (2015) und Hangzhou (2016) diese Ausrichtung politisch Rahmen gebend bekräftigt.

Alle genannten internationalen Abkommen sind sich darin einig, dass Anpassungspolitiken in den Industrieländern nicht zulasten der Entwicklungsländer gehen dürfen. Art 7.6 hebt die Prinzipien der Unterstützung der Entwicklungsländer und der internationalen Zusammenarbeit ausdrücklich hervor. Strategien gegen negative transnationale Effekte müssen daher aus dem Gesichtspunkt der internationalen Wohlfahrt gerechtfertigt sein und anderenfalls unter Berücksichtigung von Kompensationszahlungen an Entwicklungsländerzahlungen erfolgen; sie dürfen jedenfalls nicht aus allein nationalen Erwägungen geleitet sein. Dies schränkt den Raum zulässiger Maßnahmen im Rahmen einer integrierten klima- und handelspolitischen Strategie ggf. beträchtlich ein. In welcher Form wäre rechtlich und ökonomisch näher zu untersuchen.

Welche konkreten Maßnahmen die deutsche Bundesregierung in der engen wirtschaftlichen Verknüpfung mit den Entwicklungs- und Schwellenländern bereits getroffen hat, wird in der Antwort der Bundesregierung auf eine Anfrage der Partei „Die Grünen“ aus 2016 dargelegt (Drucksache 18/9282). Dort findet sich der Verweis auf über 100 sog. Technology Needs Assessments oder TNAs, die von 79 Staaten im Rahmen des UN-Technologiemechanismus unter Mitwirkung der Bundesrepublik Deutschland erarbeitet wurden. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie hat als dafür zuständige nationalen Behörde „Technologien und Dienstleistungen für Klimaschutz und Klimaanpassung in Deutschland“ untersucht, nach Bedarfsfeldern priorisiert und in Form von „Steckbriefen“ zusammengestellt (BMW 2014). Darunter findet sich kein „Steckbrief“ mit Maßnahmen, die dem Schutz oder der dynamischen Resilienz von Austauschbeziehungen und Wertschöpfungsketten dienen. Die dominanten Sektoren im Bereich Klimaanpassung sind Landwirtschaft sowie die Wasserwirtschaft, auf die in der Summe Zweidrittel (66%) aller artikulierten Bedarfe entfielen. In der Fortführung (NDE 2017) wird diese besondere Gewichtung von Land-, Forst und Wasserwirtschaft erneut bestätigt. Die vorherrschende Technologieorientierung der TNAs und die alleinige „Nicht-EU-Perspektive“ der Maßnahmenkataloge der UNFCCC und – in der Umsetzung der UN-Beschlüsse – auch in Deutschland lassen dafür bisher wenig Raum. Wenn aber die o.g., aus Artikel 7 des Übereinkommens von Paris sich ergebenden Pflichten der EU allerdings (an)erkannt werden, ist dieser Rahmen zu eng. Wir stehen damit vor neuen politischen Herausforderungen, die den Befunden dieser und der anderen o.g. Studien zu transnationalen Klimawirkungen ein neues Gewicht verleihen und die Notwendigkeit für ein eigenes Kapitel in der europäischen und deutschen Anpassungsstrategie (DAS) begründen kann.

Strategisch rücken in diesem Zusammenhang verstärkt die Gestaltungsmöglichkeiten internationaler Handelsverträge in den Vordergrund. Kapitel zur nachhaltigen Entwicklung gehören mittlerweile zum Standardrepertoire der von den EU-Mitgliedstaaten und der Europäischen Union geschlossenen bilaterale und multilateralen Freihandelsabkommen (FHA). Diese bilden einen konkreten Anknüpfungspunkt, um die Risiken von transnationalen Klimawirkungen miteinzubeziehen. Die Anwendung und Durchsetzbarkeit von umweltspezifischen Vorschriften in den Nachhaltigkeitskapiteln können zum Beispiel durch Verzahnung mit den Handelsvorschriften des jeweiligen Abkommens oder durch Effektivierung der in den Nachhaltigkeitskapiteln vorgesehenen Konsultations- und Beschwerdemechanismen gestärkt werden. Das Handelsabkommen mit Japan – am 1. Februar 2019 in Kraft getreten – ist das erste FHA, das sich zur Umsetzung des Übereinkommens von Paris bekennt (Art. 16.4) und gerade dem Übergang zu einer klimaresilienten Entwicklung Beachtung schenkt:¹⁹

„Die Vertragsparteien bekräftigen ihre Zusage, das UNFCCC und das am 12. Dezember 2015 von der Konferenz der UNFCCC-Vertragsparteien auf ihrer 21. Tagung in Paris unterzeichnete Übereinkommen von Paris wirksam umzusetzen. Die Vertragsparteien arbeiten gemeinsam darauf hin, den positiven Beitrag des Handels beim Übergang zu einer treibhausgasarmen und klimaresilienten Entwicklung stärker zum Tragen zu bringen. Die Vertragsparteien verpflichten sich, mit Blick auf die Verwirklichung des übergeordneten Ziels des UNFCCC sowie der Ziele des Übereinkommens von Paris gemeinsam Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels zu treffen.“

Es muss sich zeigen, wie das hier enthaltene Bekenntnis zur vertieften Zusammenarbeit bei Anpassungsthemen programmatisch umgesetzt werden kann. Das FHA gibt keine spezifische Richtung vor. Es wird entscheidend darauf ankommen, wie die verschiedenen Plattformen und Gremien, die das FHA geschaffen hat – darunter den Ausschuss „Handel und nachhaltige Entwicklung“ (Art. 16.13) – sich in der Zukunft positionieren. Möglich und sinnvoll erscheinen Arbeiten zur Entwicklung von Blaupausen einer handelspolitischen Anpassungsagenda. Bilaterale Kooperationen könnten etwa die Felder Wissenschaft, Technologien-Transfer und auch Dienstleistungen umfassen. Aus der Arbeit des Ausschusses „Handel und nachhaltige Entwicklung“ (Committee on Trade and Development der WTO²⁰) könnte so etwa ein Aktionsplan zur Liberalisierung von Anpassungstechnologien und entsprechenden Dienstleistungen hervorgehen. Einzelmaßnahmen könnten erleichterte Anerkennungsverfahren bei der technischen Zulassung von Geräten, automatische Lizenzierung von Fachkräften sowie Visavergaben für freie Ein- und Ausreise von Installations- und Trainingsteams einschließen. Deutschland kann und sollte – unmittelbar als Vertragsstaat einer Vielzahl von FHA sowie mittelbar über seine Lenkungsmöglichkeiten innerhalb der EU – darauf dringen, dass gemeinsam mit den jeweiligen Partnerstaaten anpassungsbezogene Handelsinstrumente innerhalb der FHA-Struktur erörtert, entworfen und schließlich umgesetzt werden.²¹

Es gibt darüber hinaus zahlreiche internationale Initiativen bzw. Institutionen aus dem Bereich der Privatwirtschaft, die sich mit den wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels für die Wirtschaft auseinandersetzen wie beispielsweise der World Business Council for Sustainable Development (WBCSD: <https://www.wbcsd.org/>) oder UN Global Compact (<https://www.unglobalcompact.org/>). Die Auswirkungen des Klimawandels werden auch in internationalen vielfältigen Foren zur Weiterentwicklung der Finanzmärkte diskutiert. Die

¹⁹ Beschluss des Rates über den Abschluss des Wirtschaftspartnerschaftsabkommens zwischen der Europäischen Union und Japan, Amtsblatt der Europäischen Union L 330/1 vom 27. Dezember 2018

²⁰ Hier wurde/wird das plurilaterale „Environmental Goods Agreement“ verhandelt und diskutiert mit dem Ziel von Handelserleichterungen inkl. Zollsensungen für grüne Technologien.

²¹ S. weitergehend Griffin et al., Climate change and trade agreements: Friends or foes? The Economist Intelligence Unit 2019; Conway/Schloemann/von Unger/Smith, Fostering Action Through Trade-Related Policy Instruments (Luxembourg 2016).

Green Finance Study Group der G20 z.B. analysiert, welche Auswirkungen die Zunahme extremer Wetterereignisse auf das Risiko von Finanzportfolios und Institutionen hat. Die UNEP Finance Initiative untersucht in ähnlicher Weise die Möglichkeiten zur Unterstützung eines betrieblichen Wertschöpfungsketten-Managements in vulnerablen Wirtschaftsnetzwerken (<http://www.unepfi.org/climate-change/climate-change/>). In beiden liegt der Fokus stärker als bei den UN-Technologiemechanismen auf den Industrie- und Schwellenländern der G20.

In diesen vielfältigen, gemischt politischen und privatwirtschaftlichen Initiativen liegen wichtige Ansatzpunkte zur internationalen Mobilisierung und Unterstützung für ein betriebliches Wertschöpfungsketten-Management in vulnerablen Wirtschaftszusammenhängen. Die Schaffung und Fortschreibung dieser Rahmenbedingungen durch die internationale Politik sind wichtige Voraussetzungen für die ansonsten autonomen Initiativen der internationalen Privatwirtschaft. Deren laufende Beobachtung durch die politischen Arbeitsstrukturen internationaler Organisationen wie z.B. die Green Finance Study Group der G20 ist wichtig, um die politischen Rahmenbedingungen weiterzuentwickeln.

10 Umsetzung und Verbindung mit der DAS

Die vom Bundeskabinett in 2008 beschlossene „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) skizziert mögliche Handlungsmaßnahmen zur Anpassung in Deutschland. Für 15 Handlungsfelder werden mögliche Klimafolgen und Klimaanpassungsoptionen vertieft betrachtet. Mit dem Aktionsplan Anpassung (APA) unterlegt der Bund die in der DAS genannten Ziele und Handlungsoptionen mit spezifischen Aktionen des Bundes und der Bund-Länder-Kooperationen. Im Jahr 2015 wurde der Fortschrittsbericht zur DAS mit einem zweiten Aktionsplan Anpassung (APA II) beschlossen. Der APA II stellt sowohl bereits laufende als auch zukünftige Maßnahmen zum Umgang mit dem Klimawandel und seinen Folgen dar.

Internationale Auswirkungen des Klimawandels auf den Rest der Welt und damit zusammenhängende indirekte Auswirkungen des Klimawandels über internationale Einflusskanäle auf Deutschland werden im Kapitel „Klimafolgen im Ausland, Rückwirkungen auf Deutschland“ beschrieben, aber in dem zugehörigen APA noch kaum beachtet. Internationale Einflüsse (Risiken und Chancen) kommen in der DAS kurz im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ zur Sprache, aber vor allem im Zusammenhang mit internationaler Verantwortung und internationaler Klimapolitik zur Reduktion von Treibhausgasemissionen (DAS 2015, 63) gesehen. Aus dem im gleichen Satz genannten Bezug (BMF 2009) zu einer nötigen globalen Interpretation der Anpassung werden allerdings keine weiteren Folgen gezogen.

Bei der in 2019/2020 anstehenden Fortschreibung der DAS sollten die grenzüberschreitenden Auswirkungen des weltweiten Klimawandels auf Deutschland aufgenommen werden, da sie auf Grundlage unserer Resultate von der Bedeutung mindestens gleich relevant sein dürften als alle nationalen Auswirkungen zusammengenommen. Dieses Kapitel gibt einige Hinweise, wie dies im Rahmen der DAS geschehen kann.

Die DAS unterscheidet - nach einem einführenden allgemeinen Teil - 15 Handlungsfelder, davon weisen aus Sicht der internationalen Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland mindestens folgende 7 Handlungsfelder strukturelle Anknüpfungspunkte auf:

- ▶ Bau,
- ▶ Energie,
- ▶ Finanzen (inkl. Versicherungen),
- ▶ Industrie und Gewerbe,
- ▶ Landwirtschaft,
- ▶ Tourismus und
- ▶ Verkehr und Verkehrsinfrastrukturen.

Grundsätzlich kann die Thematik der internationalen Einflüsse des Klimawandels über den Außenhandel auf zwei Arten erfolgen:

- ▶ Entweder werden die internationalen Einflusskanäle und Handlungsoptionen zur Anpassung als eigenes Kapitel eingeführt,
- ▶ oder die Handlungsfelder, welche davon betroffen sein können, erfahren jeweils eine Ergänzung um die internationale Perspektive.

Die erste Variante des eigenen Kapitels bietet den Vorteil, dass die zusammengehörende Thematik nicht künstlich auf die einzelnen Handlungsfelder „verzettelt“ werden und sektorübergreifende Strategien in den Blick genommen werden. Bei der Ermittlung von Handlungsoptionen und Anpassungsmaßnahmen böte die Variante eines eigenen Kapitels darüber hinaus den Vorteil, dass eine Konsistenz der Optionen und Maßnahmenelemente im Rahmen einer Gesamtstrategie für diesen Bereich einfacher möglich ist. Ein weiterer Vorteil eines zusätzlichen Kapitels läge darin, dass die davor nötige Diskussion, in welchen Bereichen die Unternehmen und Haushalte selbst gefordert sind zu handeln und in welchen Bereichen Marktversagen bestehen und deshalb staatliche Maßnahmen angezeigt sind, themenkompakt geführt werden kann. Der Nachteil besteht darin, dass bei einem solchen Zusatzkapitel die Zuständigkeiten und Anknüpfungspunkte der Ressorts unklar ist, weil die Thematik ein klassisches Querschnittsthema darstellt.

Die zweite Variante der Ergänzung der internationalen Perspektive über die Handelskanäle in den einzelnen Handlungsfeldern hätte den Vorteil, dass der wichtige zusätzliche Aspekt explizit gleich in allen relevanten Themen verankert und somit auch bezüglich Zuständigkeiten der Ministerien und Ressorts in die bisherige Logik verbindlich eingebettet ist. Der Nachteil läge darin, dass die Gesamtwirkung der Anpassungsmaßnahmen angesichts der Einflüsse über den Außenhandel aus einer Summe von Einzelthemensichten und nicht aus einer Gesamtsicht des Handels erfolgen würden. Dies kann zu einem wenig stringenten Umgang und einem erratischen Gesamtbild möglicher Maßnahmen führen, das dem Querschnittscharakter und herausragende Bedeutung dieses Einflusskanals des Klimawandels auf Deutschland nicht gerecht wird.

Wir schlagen daher vor, dass in Deutschland wie bereits in Großbritannien (ASC, 2016) zum einen ein eigenes Kapitel in der DAS verankert wird, das sich dem Themenbereich der Klimawirkungen über die Grenzen hinaus widmet und die Aufgabe aufnimmt vertieft zu untersuchen, wo in diesem Thema staatliches Handeln angezeigt ist. Zum anderen sollten in dem neuen Kapitel genannt werden, in welchen bestehenden Handlungsfeldern der DAS die grenzüberschreitende Komponente relevant sind. In den entsprechenden Handlungsfeldern sind in der DAS entsprechend die relevanten Wirkungsketten und mögliche Anknüpfungspunkte an bestehende Strategien oder Maßnahmenebenen zu nennen.

Folgende Punkte zeigen exemplarisch und nicht abschließend auf, wo es in den einzelnen Handlungsfeldern mögliche Verbindungen und Anknüpfungspunkte zu bisherigen Aktivitäten der Klimaanpassung gibt:

- ▶ Im **Bauwesen** gilt es, die Chancen und Risiken der Effekte über den Außenhandel zu konkretisieren. Die bisher im APA genannten Beispiele für Anpassungsmaßnahmen sind daraufhin zu überdenken, inwiefern deren Produktion von klimavulnerablen Vorleistungsimporten abhängt und wie eine allfällige Abhängigkeit zu mindern ist. Dabei gibt es Bezüge zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm ProgRess. Weil im Rest der Welt der Bedarf für Klimaschutz und Klimaanpassung steigt, gilt es zudem Exportchancen für die Baubranchen zu prüfen (und damit verbunden auch bei Industrie und Gewerbe, welche dafür Vorleister sein können), welche als mögliche Anpassungsmaßnahmen im Bauwesen im APA genannt sind. Das gilt nach Lühr et al. (2014, S. 35), insbesondere im Bereich des Spezialbaus (Küsten- und Hochwasserschutz, Wasser und Abwasserinfrastrukturen, Wiederaufbau nach Schäden).
- ▶ Im Handlungsfeld **Energie** dürfte es zusammen mit der in Zukunft nötigen Energie- und Verkehrswende speziell wichtig sein zu untersuchen, wie sich der weltweite Klimawandel auf

die Verfügbarkeit von Energieimporten, von Stoffen für die Herstellung alternativer Treibstoffe, Solarzellen, Batterien, andere Speichermedien, etc. wirken kann.

- ▶ Bei der **Finanzwirtschaft** (inkl. Versicherungen) sind die im APA genannten Folgen auf die Sicherheit bestehender und neuer Investitionen, Veränderung der versicherten Schäden etc. unter Einbezug der grenzüberschreitenden Aspekte thematisch ähnlich, aber in der Relevanz um ein Vielfaches bedeutsamer einzuschätzen auf der Grundlage unserer Resultate. Dies zeigt sich auch an der schnellen Entwicklung der TCFD, die als Ansatz zum Management dieser Risiken in Finanzportfolios herangezogen wird. Entscheidend ist hier die Frage, ob die Unternehmen die Herausforderungen durch zunehmende Liefer-, Produktions- und Absatzstörungen „auf dem Radar haben“ oder aber dazu staatlich geförderte Aufklärungsprogramme und Foren für den Erfahrungsaustausch nötig sind.
- ▶ Im Bereich **Industrie und Gewerbe** manifestieren sich die meisten der betrachteten Wirkungsketten internationaler Auswirkungen des Klimawandels auf die Ebene der Volkswirtschaft Deutschlands. Entsprechend dürfte hier ein künftiger Schwerpunkt der weiteren Diskussion der erweiterten Thematik der internationalen Klimaauswirkungen liegen. Weil Unternehmen (abgesehen z.B. von der Versicherungswirtschaft) mit ihren Produktzyklen und Entwicklungszeiträumen in kürzeren Zeiträumen strategisch planen als in Bezug auf den Klimawandel nötig wäre, kann sich hier wegen Informationsasymmetrien zum Teil ein staatlicher Handlungsbedarf ergeben, die konkreten Risiken breiter bekannt zu machen und die Wirtschaftsakteure frühzeitig genügend zu sensibilisieren.
- ▶ Im **Verkehr** ergibt sich erst unter Einbezug der grenzüberschreitenden Aspekte das Gesamtbild der Betroffenheit des Sektors. Je stärker der weltweite Klimawandel den Verkehr mit internationalen Waren, der die Globalisierung der Wertschöpfungsketten erst ermöglichte, beeinträchtigt, desto stärker sind die internationalen Wirkungen über diesen Einflusskanal national bedeutend. Weil der Verkehr eine Grundstruktur in öffentlicher Verantwortung darstellt, ist in diesem Handlungsfeld vielfach auch staatliches Handeln angezeigt. Das gilt allenfalls für die mittelfristigen (2030) und langfristigen (2050) Verkehrs-, Verkehrsverflechtungs- und Mobilitätsprognosen im Klimawandel.
- ▶ Bei der **Landwirtschaft** geht es vor allem um die Sicherung der Importströme und Aufrechterhaltung der Nahrungsmittelversorgung in der Summe aus Inlandproduktion und Import sowie die Schaffung einer nationalen oder europäischen Klima- bzw. Mehrgefahrenversicherung für die Landwirtschaft. Besonders kritisch zeigt sich beispielsweise der Handel mit Futtermitteln für die inländische Viehwirtschaft. Auch hier sind betriebliche Anpassungsstrategien durch Diversifizierung der Bezugsländer (mehr Futtermittel aus Osteuropa, weniger aus Übersee) möglich, die durch staatliche Aufklärungs- und Informationskampagnen angestoßen werden können.
- ▶ Im **Tourismus** geht es um die Effekte des weltweiten Klimawandels auf die Exporte (ausländische Touristen in Deutschland) und Importe (deutsche Touristen im Ausland). Der weltweite Klimawandel kann zum einen die Kaufkraft von Personen im Ausland mindern und damit dazu führen, dass weniger Touristen nach Deutschland kommen. Er kann aber auch für Deutsche ausländische Urlaubsziele weniger attraktiv machen und zu kürzeren

Reisen (z.B. innerhalb Europas) führen. Zusätzlich spielt der weltweite Klimawandel über seine Auswirkungen auf den Verkehr eine Rolle, indem Störungen zunehmen und somit das Reisen aufwändiger und weniger attraktiv werden kann. Die Herausforderungen sind in Tourismusstrategien aufzunehmen und beim Marketing und dem Dienstleistungsangebot (welche Ansprechgruppen, welche Angebote, welche Alleinstellungsmerkmale) unter Berücksichtigung klimapolitischer Herausforderungen wie Kühlung und Wasserversorgung zu berücksichtigen.

Ob und wo der Staat angesichts der möglichen Folgen des weltweiten Klimawandels auf Deutschland und die Wirtschaftssektoren zu staatlichen Maßnahmen greifen sollte, ist ausgehend vom aktuellen Stand der Forschung nicht eindeutig zu beantworten. Die vorliegende Studie hat für eine Auswahl von möglichen Wirkungsketten die Folgen für Deutschland modellmäßig quantifiziert. Bereits diese eingegengte Auswahl der internationalen Wirkungen über Handelsströme auf Deutschland hat in der Größenordnung relevantere wirtschaftliche Folgen aus der internationalen Betroffenheit Deutschlands gezeigt, insbesondere aus Regionen außerhalb der EU. Die Exposition Deutschlands gegenüber sämtlichen, darunter auch die nicht modellierten Wirkungsketten im Außenhandel wird entsprechend noch höher sein. Zudem bestehen neben den Außenhandelskanal noch weitere internationalen Einflusskanäle des Klimawandels auf Deutschland (über Migration, Gesundheit, kriegerische Konflikte, Devisen- und Kapitalmärkte, etc.). Das zeigt, dass die Relevanz der internationalen Einflusskanäle des Klimawandels auf Deutschland erheblich ist.

Das bedeutet aber nicht unbedingt, dass staatliches Handeln immer notwendig ist. In einigen Bereichen können die Wirtschaftsakteure, v.a. die Unternehmen, über eigenes Handeln und Entscheiden die Anpassungen vornehmen, welche für die Resilienz Deutschlands gegenüber den internationalen Auswirkungen nötig sind. Nur wenn ein Marktversagen vorliegt (z.B. Informationsasymmetrien), dann kann vorübergehendes und permanentes staatliches Handeln angezeigt sein. Die Forschung steht in dieser Frage noch am Anfang, der Wissensfortschritt auf der Grundlage dieser Studie besteht in der Erkenntnis, dass die internationalen Auswirkungen die Hauptherausforderung des weltweiten Klimawandels auf Deutschland darstellen.

In der Würdigung dieser Erkenntnis wurden für die einzelnen DAS-Handlungsfelder zunächst argumentativ erste Überlegungen angestellt, welche Handlungsfelder besonders stark betroffen sind und wo staatliches Handeln tendenziell eher angezeigt ist als bei anderen. Die internationalen Auswirkungen des Klimawandels über die Handelskanäle auf Deutschland dürften in den DAS-Handlungsfeldern Finanzwirtschaft sowie Industrie und Gewerbe von größter Relevanz sein. Bei der Versicherungswirtschaft scheint das Thema gewissermaßen „marktbedingt“ (Erfahrung im Umgang mit Risiken) von Unternehmensseite bereits geeignet einbezogen und durch Geschäftsinteresse vorangetrieben. Bei den Banken dürften die steigenden Risiken für die Kredit(-vergab-)e in klimavulnerablen Ländern und die Folgen für die Finanzmärkte noch zu wenig gewichtet sein. Sie werden im Zuge der Regulierung und Selbstregulierungen für nachhaltiges Finanzieren hinreichend an Gewicht gewinnen. Bei den Industrie- und Gewerbeunternehmen mit relevantem Außenhandel (wichtige Importe und/oder wichtige Absatzgebiete in klimavulnerablen Ländern) können ein Großteil der im Projekt dargestellten internationalen Wirkungsketten des Klimawandels auftreten. Weil mindestens die börsennotierten Unternehmen in Industrie und Gewerbe den primären Fokus auf die Erhaltung und Verbesserung ihrer Wettbewerbsfähigkeit in der kurzen Frist legen müssen, können längerfristige Herausforderungen dort strategisch (bezüglich Anpassungsmaßnahmen) zu kurz kommen. Andererseits dürften diese Firmen mittelfristig ihre Klimarisiken öffentlich berichten müssen (über die TCFD). In diesem Handlungsfeld scheinen deshalb wegen Informationsasymmetrien am ehesten staatliche Maßnahmen nötig, um die Anpassung an die

anstehenden Herausforderungen in der Branche zu verbessern. Die Europäische Kommission hat im Januar 2018 eine Expertenrunde zum nachhaltigen Finanzwesen ins Leben gerufen, damit Vorschläge auf diesem Gebiet (neben anderen Gesichtspunkten) ausgearbeitet werden.²² Für kleine und mittlere Unternehmen ergibt sich ein Informations- und Awareness-Defizit eher durch Transaktionskosten (Informationsaufwand). Allerdings gibt es in diesem Handlungsfeld (KMUs) z.B. über Beschaffungspools von Importleistungen bereits erste Ansätze zu einem Risiko diversifizierteren Verhalten, die auch aus Sicht der Anpassung an den weltweiten Klimawandel nützlich sind. Im Handlungsfeld Energie kann eine staatliche Sensibilisierung der möglichen künftigen Herausforderungen auch die Achtsamkeit für das Thema erhöhen. Dies umfasst eher weiche Informations- und Sensibilisierungselemente als weitergehende staatliche Eingriffe. Im Verkehrsbereich dürften die absehbare Zunahme von Friktionen weltweit zu einer Redimensionierung der sehr intensiven Globalisierung der Wertschöpfungsketten resultieren und Veränderungen in den mittel- und langfristigen Verkehrsprognosen hervorrufen. Bei der Landwirtschaft sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den erwartbaren Folgen noch wenig gesichert, Risiken aber mittlerweile erkennbar. Hierfür bieten sich zunächst Diversifizierungsstrategien an, die Risiken verteilen. In zweiter Linie können in beschränktem Ausmaß (kommerzielle) Versicherungslösungen herangezogen werden. Im Bausektor ist die unmittelbare Betroffenheit in Deutschland über den internationalen Einfluss geringer, eher Chancen für spezielle Segmente im Export erkennbar. Deshalb ist in den beiden Handlungsfeldern sowie im Tourismus, in dem das Thema systemimmanent ist (Origin und Destination von Tourismusströmen) aktuell aus unserer Sicht kein starker Bedarf nach staatlichem Handeln in diesem Thema erkennbar.

Tabelle 7: Handlungsbedarf in Bezug zur DAS

DAS Handlungsfelder	Staatlicher Handlungsbedarf	Bezug zu bestehenden Initiativen/Programmen
Bau	Nicht vordringend, Unternehmen sind zunächst gefordert. Über Einkaufsgemeinschaften von importierten Vorleistungen etc. sind Risiken breiter abstützbar. Eher Chancen im Export beim (Spezial)Bau erkennbar.	•Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) 2012
Energie	Im Energiebereich ist die Perspektive noch häufig eine nationale. Grenzüberschreitend wird von erheblichen Importmöglichkeiten ausgegangen. Hier sind eventuell die internationalen Wirkungen des Klimawandels auf Deutschland nicht genügend im Fokus. Staatliches Handeln zunächst über weiche Maßnahmen. Staat soll Thema bei eigenen Themen (Energieperspektiven, Diskussion Energiewende, Verkehrswende) einbringen.	•Energiekonzept der Bundesregierung 2010 •Energiepaket zur Energiewende 2011

²² EU Technical Expert Group on Sustainable Finance, Report on Climate-related Disclosures (January 2019), at https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/190110-sustainable-finance-eg-report-climate-related-disclosures_en.pdf.

DAS Handlungsfelder	Staatlicher Handlungsbedarf	Bezug zu bestehenden Initiativen/Programmen
Finanzen (inkl. Versicherungen)	Trotz der stark internationalen Ausrichtung des Sektors sind längerfristige Herausforderungen des internationalen Klimawandels wegen hohem Wettbewerbsdruck eher weniger im Fokus bei den Banken. Sensibilisierung über Staat kann angezeigt sein. Sollte auf dem Radar der staatlichen Stellen in dem Thema sein. Bei Versicherern ist Thematik insgesamt besser verankert.	<ul style="list-style-type: none"> •Green Finance, Sustainable Finance Angebote •Nationale Nachhaltigkeitsstrategie (internationale Verantwortung)
Industrie und Gewerbe	Der Sektor weist Exposition gegenüber einer Vielzahl der untersuchten Wirkungsketten auf. Betriebswirtschaftliche Perspektive blendet diese Risiken bisher eher aus, weil die kürzerfristig ist. Vermutlich wichtigstes Handlungsfeld, falls der Staat Maßnahmen (weiche) anstrebt. Monitoring des Themas ist wichtig.	<ul style="list-style-type: none"> •Verantwortung internationale Produktionsketten z.B. über CSR-Anstrengungen •Pooling Beschaffung •Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) 2012
Landwirtschaft	Mit der zunehmenden Evidenz zu den krisenhaften Folgen für wichtige Bereiche der deutschen Landwirtschaft (z.B. Futtermittelversorgung, ökologischer Landbau) ein wichtiges Thema für staatliche Förderaktivitäten und Risiko-Monitoring.	<ul style="list-style-type: none"> •Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU •Europäische und nationale Anstrengungen für Klimaversicherungen/ Mehrgefahrenversicherungen
Tourismus	Thema der internationalen Ströme ist Kern im Tourismus. Aktuell eher kein staatlicher Handlungsbedarf, auch da eher auch Chancen und nicht nur Risiken.	<ul style="list-style-type: none"> •Vorhaben des UBA zu Klimawandel und Tourismus
Verkehr und Verkehrsinfrastrukturen	Es geht um die Verkehrsverbindungen vom Ausland nach Deutschland und umgekehrt. Diese sind zunächst unabhängig von deutschem Handeln. Folgen sind v.a. in Industrie und Gewerbe und der Energie zu erwarten und auch zu adressieren.	<ul style="list-style-type: none"> •Mittelfristige (2030) und langfristige (2050) Verkehrs-, Verkehrsverflechtungs- und Mobilitätsprognosen (BMVI)

Eigene Darstellung

Mit Bezug auf den Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel sehen wir deshalb v.a. in den Säulen/Aktivitäten Handlungsbedarf:

- ▶ „Wissen erweitern – Verbesserung Klimafolgenabschätzung“ (DAS Kapitel B.1.1.2.),
- ▶ „Informationen bereitstellen und aktiv vermitteln“ (DAS Kapitel B1.2.1/2; auf europäischer Ebene ist erste Anlaufstelle das Wissensnetzwerk „Climate ADAPT“-Plattform),
- ▶ „Stärken stärken“ (Technologievorsprung in den Sektoren Bau-/Maschinenbau und Elektrotechnik, aber auch Pharma und Chemie langfristig halten, Beispiel: Hightech Strategie des BMBF) (potenziell neues DAS Kapitel)

- ▶ „Internationale Zusammenarbeit – Ausgewogene Förderung von Anpassung in Entwicklungsländern und Schwellenländern“ (DAS Kapitel B.4.1.1)

11 Europäische Finanzierungsmöglichkeiten

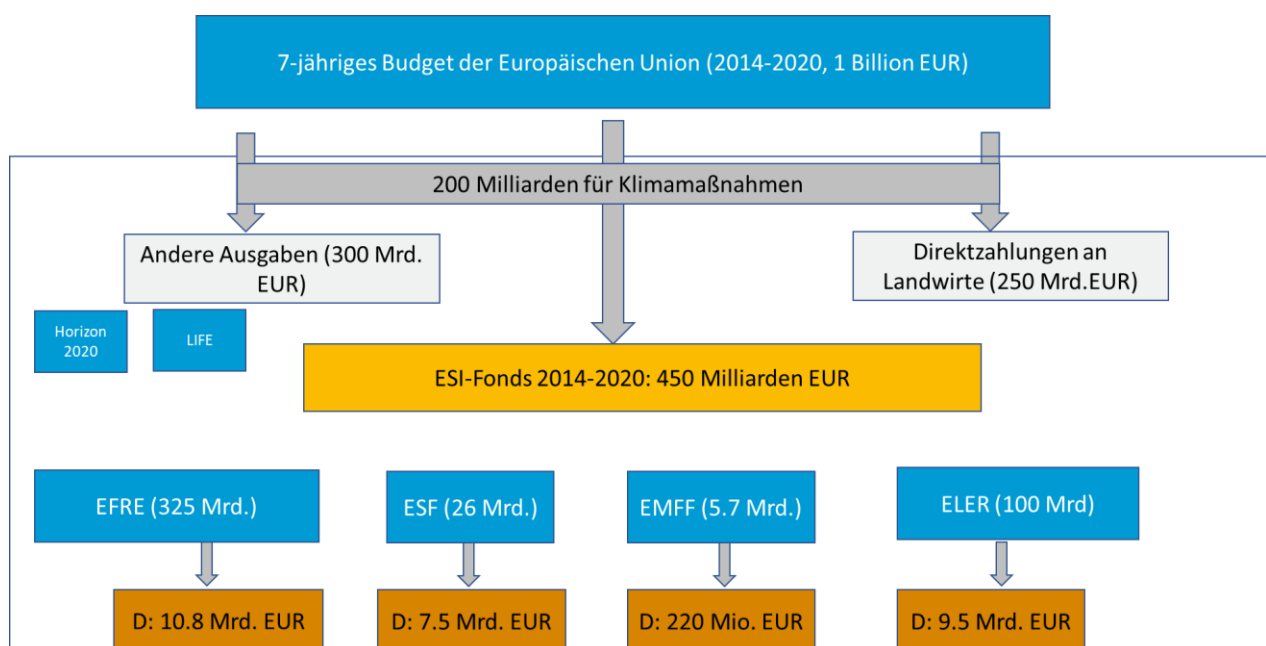
Die Europäischen Struktur- und Investitionsfonds der Union („ESIs“) stehen bereit, um die wirtschaftliche Entwicklung der Mitgliedstaaten zu unterstützen. Mit einer Ausstattung von gegenwärtig 450 Milliarden EUR für sieben Jahre (2014-2020) stellen die ESIs wichtige Finanzquellen dar, die im Wesentlichen den europäischen Regionen zugutekommen – in Deutschland den Ländern – und zweckgebunden zu vergeben sind.

Mindestens 20% des EU-Budgets, also gut 200 Milliarden EUR bis 2020, müssen für klimabezogene Maßnahmen aufgewendet werden (Europäischer Rat 2013; Europäisches Parlament 2013), wobei es keine Einzelfestlegung gibt, wieviel davon auf Minderung und wieviel auf Anpassungsmaßnahmen entfallen. Den Großteil tragen die ESI-Fonds, wobei die jeweiligen Fonds zum Teil spezifische Vorgaben machen; Die Vorschriften zum **Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)** etwa sieht eine Mindestquote von 20% allein für Minderungsmaßnahmen vor. Eine bestimmte Quote für Anpassungsmaßnahmen gibt es dagegen nicht.

Die Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, zur Risikoprävention und -management stellt allerdings eines von 11 thematischen Zielen (Schwerpunkthemen) dar, wie sie die den verschiedenen ESI-Fonds gemeinsame („Dach-“)Verordnung 1303/2013 benennt.

Die ESI-Fonds setzen sich zusammen aus dem bereits erwähnten **Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)**, dem Europäischen Sozialfonds (ESF), dem aus deutscher Sicht hier nicht weiter interessierenden eigentlichen Kohäsionsfond, der speziell die ärmeren Mitgliedstaaten unterstützt, sowie dem **Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)** und dem **Europäischen Meeres- und Fischereifonds (EMFF)**. Aufbau und finanzielle Ausstattung für Deutschland sind in der Abbildung 36 dargestellt.

Abbildung 36: Budgetplanung der EU mit ESI-Fonds und für Deutschland („D“) vorgesehene Mittel. Zahlen sind gerundet



Quelle: Eigene Darstellung

Wie viele Mittel tatsächlich in die Anpassung fließen, ist nicht ohne weiteres ermittelbar. Das EU-weite Klima-Tracking für Ausgaben der Union unterscheidet nicht zwischen Minderungs-

und Anpassungsmaßnahmen. Die separat erfassten Zuweisungen von Mitteln entlang den 11 ESI-Zielen wiederum sind ungenau, insofern Anpassungsmaßnahmen unter mehreren Zielen erfassbar sind, nicht nur unter dem eigentlichen Anpassungsziel (Ziel Nr. 5), sondern auch unter den Zielen „Schutz der Ressourceneffizienz“ (Ziel Nr. 6) und etwa Nachhaltigkeit im Verkehr (Ziel Nr. 7).

Allerdings zeigt sich unabhängig von der Gesamthöhe der Finanzierung in der thematischen Auswertung der jeweils finanzierten Programme und Projekte eine Verengung des Anpassungsbegriffs auf die unmittelbaren örtlichen Auswirkungen steigender Temperaturen und Wetterextremereignissen. Insgesamt fällt das Spektrum der tatsächlich finanzierten Anpassungsmaßnahmen jedenfalls relativ eng aus: Es geht vor allem um Katastrophenschutz und Risikomanagement (Hochwasserschutz, Infrastrukturmaßnahmen gegen Waldbrände und Risikomanagementsysteme etc.), einschließlich Versicherungssysteme gegen Ernteaufälle (Europäische Kommission 2015c). Ausgerechnet echte Vorsorge- und Nachhaltigkeitsthemen – Verbesserung der Bodenqualität, Schadstoffsenkung des Wasserhaushalts usw. – obzwar in der ELER-Verordnung angelegt, werden in der Praxis weniger berücksichtigt. Indirekte Auswirkungen des Klimawandels – auf Wertschöpfungsketten, Handelswege, Finanzdienstleistungen, Energiegewinnung, Gesundheit usw. – werden kaum in den Blick genommen.

Das dürfte auch daran liegen, dass etliche Mitgliedstaaten – darunter Deutschlands südlicher Nachbar Österreich²³, aber auch Mitgliedstaaten mit exponierten Küstenflächen, etwa Finnland²⁴ und die Niederlande²⁵ – die Mittelvergabe für Anpassungszwecke komplett auf ELER (und teilweise EMFF) beschränken und insofern nur landwirtschaftliche Themen berücksichtigt werden. Für EFRE – obgleich mit fast 200 Milliarden EUR der größte der ESI-Fonds – spielen Anpassungsthemen kaum eine Rolle (5.47 Milliarden EUR insgesamt).

Es bleibt abzuwarten, ob die Mitgliedstaaten – bzw. letztlich die europäischen Regionen – für die Mittelvergabe unter dem neuen mehrjährigen Finanzrahmen (2021-2027) die Anpassung in breiterer Perspektive in den Blick nehmen. Eine Akzentverschiebung bietet sich jedenfalls unter Zugrundelegung der neuen europäischen Vorgaben – die noch von den Legislativorganen der Union verabschiedet werden müssen (bisher gibt es nur den Vorschlag der Europäischen Kommission) an (Stand der Aussage August 2019). Die bisherige Klimaquote – wonach 20% der Budgetausgaben auf Klimamaßnahmen entfallen müssen – wird danach auf 25% erhöht.

Die neue Dachverordnung – die nurmehr für EFRE, ESF und EMFF gelten wird, nicht ELER – formuliert fünf spezifische „Politikziele“ („policy objectives“ oder „POs“), eines davon ein „grüneres, kohlenstoffarmes Europa“, das auf die Energiewende setzt, „grüne und blaue Investitionen“, die zirkuläre Wirtschaft sowie auf die „Anpassung an den Klimawandel, Risikoprävention und -management“ (PO 2). In diesem neuen Ziel enthalten ist ein spürbarer Paradigmenwechsel weg von einer Insel-Betrachtung (hier Minderung, dort Vorsorge gegen extreme Wetterereignisse usw.) hin zu einer integrierten Betrachtungsweise, die nicht zuletzt als gemeinsamen Schwerpunkt den nachhaltigen Investitions- und Wirtschaftskreislauf setzt.

²³ Europäische Kommission, Steckbrief: Partnerschaftsvereinbarung mit Österreich (Summary of Partnership Agreement, 7. Oktober 2014), einsehbar über https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/partnership-agreement-austria-summary-oct2014_en.pdf (zuletzt eingesehen am 29. Mai 2018).

²⁴ Europäische Kommission, Steckbrief: Partnerschaftsvereinbarung mit Finnland (Summary of Partnership Agreement, 7. Oktober 2014), einsehbar über https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/partnership-agreement-finland-summary-oct2014_en.pdf (zuletzt eingesehen am 29. Mai 2018).

²⁵ Europäische Kommission, Steckbrief: Partnerschaftsvereinbarung mit den Niederlanden (Summary of Partnership Agreement, 7. Oktober 2014), einsehbar über https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/partnership-agreement-netherlands-summary-sept2014_en.pdf.

Die oben erörterten Maßnahmen für die verschiedenen Wirtschaftsfelder stellen jedenfalls prima facie passende Beispiele für die Ausgestaltung des PO2 dar. Darüber hinaus sind sie auch gut integrierbar in die übrigen POs der künftigen Dachverordnung, nämlich PO 1: Smartes Europa mit seinen Unterthemen neue Technologien, Digitalisierung, Engagement der kleinen und mittleren Unternehmen und industrielle Fortentwicklung; PO 3: Mobilität und Interkonnektivität mit den Unterthemen der Schaffung eines „klimaresilienten“ Mehrebenen-Transportverbunds in Europa und der Gewährleistung „klimaresilienter“ Transportwege, einschließlich urbaner Mobilitätsverbesserung; PO 4: Ein Sozialeres Europa mit seinen Unterthemen Arbeitsmarkt, Bildung, Integration und Gesundheit; sowie PO 5: Europa der Bürger mit seinen Unterthemen sozio-ökonomische und -ökologische sowie kulturelle Entwicklung in Städten, auf dem Land und an den Küsten.

Je nach Fonds bieten sich verschiedene Förderschwerpunkte an:

Tabelle 8: Übersicht zu Förderschwerpunkten

Fonds	Fokus	Quote	Mögliche Initiativen
EFRE	PO2: „Grüneres, kohlenstoffarmes Europa“, das auf die Energiewende setzt, „grüne und blaue Investitionen“, die zirkuläre Wirtschaft sowie auf die „Anpassung an den Klimawandel, Risikoprävention und -management“	30% für PO2-Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Plattform für resiliente Wertschöpfungsketten mit Wissensthemen zu anpassungssicheren Erzeugerpfaden, Diversifizierungsoptionen, Länder- und Technikstudien usf. • Gezielte Förderung von Anpassungstechnologien • Gezielte Förderung von innovativen Dienstleistungen im Bereich Anpassung (mit Schwerpunkt auf KMU)
ESF	Beitrag zu einem „grüneren und kohlenstoffarmen Europa“ beitragen sollen, u.a. durch die „Weiterqualifizierung von allen einschließlich der Arbeitskräfte sowie durch die Schaffung neuer Arbeitsplätze in den Sektoren Umwelt, Klima und Energie sowie Bioökonomie“	Nicht explizit; wiederholt aber die globale 25%-Quote	<ul style="list-style-type: none"> • Berufsbildung im Bereich Anpassung an den Klimawandel mit Schwerpunktthemen auf Extremwetter-Modellierung und -Prognosen, Versicherungsschutz, Bewässerungssysteme, resilientes Saatgut usf. • Erweiterung der bestehenden 18 Verbundprojekte zur Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung (BBNE) um gezielte Anpassungsbereiche (s. soeben) • Gesundheitsvorsorge im Zeichen des Klimawandels (Neue-Alte Erreger, Stabile Produktionsketten, Neue Technologien)
EMF	Verfolgt die „nachhaltige blaue Wirtschaft“ sowie die Schaffung „sicherer, geschützter, sauberer und nachhaltig bewirtschafteter“ Meere	Keine	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz natürlicher, anpassungsresilienter Küstenhabitate • Fischfang in wärmeren Gewässern und Möglichkeiten risikoarmer Aquakulturen

Fonds	Fokus	Quote	Mögliche Initiativen
ELER	Finanzierung von „Agri-Umwelt-Klima-Maßnahmen“ (AUKM), d.h. in den Bereichen Minderung, Anpassung oder nachhaltiger Energieversorgung, zum Zweck nachhaltigen Ressourcenmanagement für Wasser, Boden und Luft oder zur Förderung der Biodiversität, zur Stärkung von Ökosystemleistungen und zum Schutz von Habitat und Landschaft	30%	<ul style="list-style-type: none"> • Klima-Smartere Landwirtschaft als Mainstreaming-Modell (nicht nur praktiziert als Teil des ökologischen Landbaus) • Aufhebung von Entwässerungssystemen in natürlichen Moorlandschaften • Erprobung von Paludikulturen, also Anbautechniken auf feuchten oder halb-feuchten Flächen • Entwicklung von anpassungsresilientem Saatgut • CO₂-Sequestrierungsprogramme in der Landwirtschaft

Quelle: Eigene Darstellung

12 Quellenverzeichnis

- Aguiar, Angel, Badri Narayanan, and Robert McDougall. 2016. 'An Overview of the GTAP 9 Data Base'. *Journal of Global Economic Analysis* 1 (1): 181–208.
- ASC (2016): UK Climate Change Risk Assessment 2017 Synthesis Report: priorities for the next five years, Adaptation Sub-Committee of the Committee on Climate Change, London.
- Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Bärbel Höhn, Annalena Baerbock, Sylvia Kotting-Uhl, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN - Druck-sache 18/9282: Verletzbarkeit der deutschen Wirtschaft und ihrer Lieferketten gegenüber dem Klimawandel. Deutscher Bundestag – 18. Wahlperiode – 28.7.2016.
- Auswärtiges Amt (2015): Internationaler Rahmen zur Reduzierung von Katastrophenrisiken verabschiedet, Artikel vom 23.3.15.
- Barbieri, Alisson F., Edson Domingues, Bernardo L. Queiroz, Ricardo M. Ruiz, José I. Rigotti, José A. M. Carvalho, and Marco F. Resende. 2010. 'Climate Change and Population Migration in Brazil's Northeast: Scenarios for 2025-2050'. *Population and Environment* 31 (5): 344–70.
- Benzie, M., Hedlund, J., and Carlsen, H. (2016): Introducing the Transnational Climate Impacts Index, Indicators of country-level exposure – methodology report. SEI Working Paper No. 2016-07. Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- Benzie, M., u.a. (2018): Meeting the global challenge of adaptation by addressing transboundary climate risk. SEI Discussion Brief April 2018, Stockholm
- Berry Pam, Betts Richards, Harrison Paula, Sanchez-Arcilla Agustin (2017): High-End Climate Change in Europe, Impacts, Vulnerability and Adaption.
- Bräuer Ingo, Peter Martin (2009): Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen.
- Bröde, Peter, Dusan Fiala, Bruno Lemke, and Tord Kjellstrom. 2017. 'Estimated Work Ability in Warm Outdoor Environments Depends on the Chosen Heat Stress Assessment Metric'. *International Journal of Biometeorology*, April. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1346-9>.
- Chen, C, I Noble, J Hellmann, J Coffee, M Murillo, and N Chawla. 2015. 'Country Index Technical Report'. Notre Dame Global Adaptation Index. University of Notre Dame.
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner. 2013. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Dell Melissa, Benjamin F. Jones, and Benjamin A. Olken. (2008): *Climate Change and Economic Growth: Evidence from the Last*.
- DG FISMA (2018): European Commission – Legislative Proposals on Sustainable Finance, Financial Stability, Financial Services and Capital Markets Union, May 2018.
- Di Leva, Charles E. (2015): Climate-Related Standards and Multilateral Finance for Development. *Laws* 2015 (4): 674–690; doi:10.3390/laws4040674.

Dröge Susanne und Schernuit Felix 2018: Handels- und Klimapolitik der EU strategisch zusammenführen – Potenziale in Zeiten der Neuorientierung, Stiftung Wissenschaft und Politik, Deutsches Institut für Internationale Politik und Sicherheit.

Europäisches Parlament 2013: Beschluss vom 13. März 2013, TA(2013)0078.

Europäischer Rat 2013: Schlussfolgerungen des Europäischen Rates vom 8. Februar 2013.

Europäisches Innovations- und Technologieinstitut (EIT) - Climate KIC, 2019: Developing A Global Market for Climate Risk Information. <https://www.climate-kic.org/projects/cri/>.

FM Global (2017): How climate change effects your global supply chain, November 29, 2017, in: Explore Risk, Feature, Natural Catastrophe, Risk Management, Supply Chain.

Fricko, Oliver, Petr Havlik, Joeri Rogelj, Zbigniew Klimont, Mykola Gusti, Nils Johnson, Peter Kolp, et al. 2017. 'The Marker Quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A Middle-of-the-Road Scenario for the 21st Century'. *Global Environmental Change* 42 (January): 251–67. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004>.

Hedlund, J. Pick, S.; Carlsen, H.; Benzie, M. (2018): Quantifying transnational climate impact exposure: New perspectives on the global distribution of climate risk. *Global Environmental Change* 52: 75-85.

Hertel, Thomas, David Hummels, Maros Ivanic, and Roman Keeney. 2007. 'How Confident Can We Be of CGE-Based Assessments of Free Trade Agreements?' *Economic Modelling* 24 (4): 611–35. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2006.12.002>.

Hinkel, Jochen, Daniel Lincke, Athanasios T. Vafeidis, Mahé Perrette, Robert James Nicholls, Richard S. J. Tol, Ben Marzeion, Xavier Fettweis, Cezar Ionescu, and Anders Levermann. 2014. 'Coastal Flood Damage and Adaptation Costs under 21st Century Sea-Level Rise'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (9): 3292–97. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222469111>.

HSBC Global Research (2018): Fragile Planet - Scoring climate risks around the world. In *Climate Change Global*, March 2018, edited by: Ashim Paun, Lucy Acton and Wai-Shin Chan.

Kohli A., Steinemann M., Guyer M., Pérus M., Füssler J. 2019: Auswirkungen des Klimawandels im Ausland – Risiken und Chancen für die Schweiz.

Kjellstrom, Tord, Ingvar Holmer, and Bruno Lemke. 2009. 'Workplace Heat Stress, Health and Productivity – an Increasing Challenge for Low and Middle-Income Countries during Climate Change'. *Global Health Action* 2 (1): 2047. <https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2047>.

Kjellstrom, Tord, R. Sari Kovats, Simon J. Lloyd, Tom Holt, and Richard S. J. Tol. 2009. 'The Direct Impact of Climate Change on Regional Labor Productivity'. *Archives of Environmental & Occupational Health* 64 (4): 217–27. <https://doi.org/10.1080/19338240903352776>.

Knittel, N., M. Jury, B. Bednar-Friedl, G. Bachner, and A. Steiner. 2019: A global analysis of heat-related labour productivity losses under climate change - implications for Germany's foreign trade, unveröffentlichtes Arbeitspapier.

Lühr, O; Kramer, J.P.; Lambert, J.; Kind, C. und J. Savelsberg. (2014): Analyse spezifischer Risiken des Klimawandels und Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für exponierte industrielle Produktion in Deutschland (KLIMACHECK). Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin.

NDE Germany Implementing Office (2017): Identified technology needs in TNAs and (i)NDCs An introduction to the Technology Needs Database (TND) and analysis of technology needs identified by developing countries. https://newclimateinstitute.files.wordpress.com/2017/10/nde-germany_tnd-briefing-paper_final.pdf.

OECD. 2015. 'The Economic Consequences of Climate Change'. Paris: OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264235410-en>.

OECD/IEA. 2016. 'World Energy Outlook 2016'. International Energy Agency.

O'Neill, B.C., E. Kriegler, K. Riahi, K.L. Ebi, S. Hallegatte, T.R. Carter, R. Mathur, and Vuuren van. 2014. 'A New Scenario Framework for Climate Change Research: The Concept of Shared Socioeconomic Pathways'. *Climatic Change* 122 (3): 387–400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>.

Peter Martin, Guyer Madeleine, Füssler Jürg 2019: Folgen des globalen Klimawandels für Deutschland, Erster Teilbericht: Die Wirkungsketten in der Übersicht, *Climate Change 20/2019*, <https://www.umweltbundesamt.de/globale-klimafolgen-die-deutsche-wirtschaft-0>

Peter Martin, Guyer Madeleine, Füssler Jürg 2018: Wie der Klimawandel den deutschen Aussenhandel trifft, Umweltbundesamt Deutschland, November 2018, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190513_uba_fb_klimawan-del_aussenhandel_bf.pdf

Parsons, Ken. 2014. *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance*. CRC press.

Porter, J. R., L. Xie, A. J. Challinor, K. Cochrane, S. M. Howden, M. M. Iqbal, D. B. Lobell, and M. I. Travasso. 2014. 'Food Security and Food Production Systems'. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*, edited by C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, et al., 485–533. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Price-Waterhouse-Cooper (2015): *Resilience - A journal of strategy and risk*.

Renn, O. (2014): *Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten*. Herausgegeben von Klaus Wiegandt und Ortwin Renn, Fischer Verlag.

Riahi, Keywan, Detlef P. van Vuuren, Elmar Kriegler, Jae Edmonds, Brian C. O'Neill, Shinichiro Fujimori, Nico Bauer, et al. 2017. 'The Shared Socioeconomic Pathways and Their Energy, Land Use, and Greenhouse Gas Emissions Implications: An Overview'. *Global Environmental Change* 42 (January): 153–68.

Schenker, O. (2013b): *Exchanging Goods and Damages: The Role of Trade on the Distribution of Climate Change Costs.*, *Environmental and Resource Economics* 54 (2), 261-282.

Schenker, O. (2013a): *Auswirkungen internationaler Klimafolgen auf den deutschen Außenhandel*. Umweltbundesamt.

Schenker, O. und G. Stephan (2011): *Buying Greenhouse Gas Insurance: International Trade and the Adaptation to Climate Change and Variability*, NCCR Trade Working Paper No. 2011/14.

Schloemann, H.; Smith, M.; Unger, M. von; Conway, D. (2016): *Fostering climate action through trade-related policy instruments . Delivery strategies and support tools : final report*. doi:10.2834/200574.

Schwank O., Peter M. et al (2007): *Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (Internationale Einflüsse)*.

Schwarze, R. (2017): *Global climate adaptation will only succeed by dovetailing Paris & Sendai*. <https://www.placard-network.eu/global-climate-adaptation-will-only-succeed-by-dovetailing-paris-sendai/>.

Sherbinin, A. de, M. Castro, F. Gemenne, M. M. Cernea, S. Adamo, P. M. Fearnside, G. Krieger, et al. 2011. 'Preparing for Resettlement Associated with Climate Change'. *Science* 334 (6055): 456–57.

Statistisches Bundesamt. 2009. 'Gueterverzeichnis Für Produktionsstatistiken'.

Steinemann, M., Simonett, O., Stuhlberger, C., Diallo-Sahli, Y., Etter, B., Maselli, D., and Sigrist P. (2016) Migration. Climate Change & Environment Nexus Brief. Swiss Agency for Development and Cooperation: Bern, Switzerland.

TAD/ECG(2012)5: Recommendation on the council on common approaches for officially supported export credits and environmental and social due diligence (the “common Approaches”), Trade and Agriculture Directorate, Trade Committee, Working Party on Export Credits and Credit Guarantees.

TAD/ECG(2015)15/Final: Working Party on Export Credits and Credit Guarantees, Trade and Agriculture Directorate, Trade Committee.

UNDP. 2016. ‘Climate Change and Labour : Impacts of Heat in the Workplace’.

Warszawski, Lila, Katja Frieler, Veronika Huber, Franziska Piontek, Olivia Serdeczny, and Jacob Schewe. 2014. ‘The Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISI-MIP): Project Framework’. Proceedings of the National Academy of Sciences 111 (9): 3228–32. <https://doi.org/10.1073/pnas.1312330110>.

Wenz, L. und A. Levermann (2016): Enhanced economic connectivity to foster heat stress–related losses. Science Advances Vol. 2 (6).

Willner, Sven Norman, Christian Otto, and Anders Levermann. 2018. ‘Global Economic Response to River Floods’. Nature Climate Change 8 (7): 594–98. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0173-2>.

13 Anhang

Tabelle 9: Detaillierte Zuordnung von Ländern zu Modellregionen

Modellregion	Regionen (entsprechend der GTAP-Datenbasis)
Deutschland	Germany
Österreich	Austria
Italien	Italy
Frankreich	France
Benelux	Belgium, Netherlands, Luxemburg
Großbritannien und Irland	UK, Ireland
Zentral EU 27 und Schweiz	Czech Republic, Hungary, Poland, Slovenia, Slovakia, Switzerland
Nord EU 27+ Liechtenstein, Norwegen und Island	Denmark, Sweden, Finland, Norway, Estonia, Latvia, Lithuania, Rest of EFTA (<i>Liechtenstein, Iceland</i>), Rest of the world (<i>Antarctica, French Southern Territories, Bouvet Island, British Indian Ocean Territory</i>)
Mediterrane EU 27	Cyprus, Greece, Malta, Portugal, Spain
Südost EU 27 + Rest von Europa	Bulgaria, Croatia, Romania, Albania, Rest of Europe (<i>Bosnia and Herzegovina, Macedonia, Serbia and Montenegro, Faroe Islands, Gibraltar, Monaco, San Marino</i>)
Nordamerika	USA, Canada, Rest of North America (<i>Bermuda, Greenland, Saint Pierre and Miquelon</i>)
Restliche industrialisierte Länder	Australia, New Zealand, Japan
Eurasische Länder	Russian Federation, Kazakhstan, Belarus, Ukraine, Armenia, Georgia, Kyrgyzstan, Rest of former Soviet Union (<i>Tajikistan, Turkmenistan, Uzbekistan</i>), Rest of Eastern Europe (<i>Moldova</i>)
Schwellenländer in Lateinamerika	Brazil, Mexico
Schwellenländer in Asien und Israel	Hong Kong, Singapore, South Korea, Israel
Türkei	Turkey
China	China
Indien	India
Schwerpunkt Textilindustrie in Südostasien, Tunesien	Bangladesh, Thailand, Indonesia, Vietnam, Pakistan, Tunisia
Schwerpunkt Elektronische Geräte in Südostasien	Malaysia, Taiwan, Philippines
Restliches Lateinamerika	Argentina, Bolivia, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Peru, Rest of South America, Chile, Colombia, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, Paraguay, Uruguay, Costa Rica, Panama, Rest of Central America, Trinidad and Tobago, Caribbean (<i>Anguilla, Antigua and Barbuda, Aruba, Bahamas, Barbados, British Virgin Islands, Cayman Islands, Cuba, Dominica, Grenada, Haiti, Montserrat, Netherlands Antilles, Saint Kitts and Nevis, Saint Lucia, Saint Vincent and Grenadines, Turks and Caicos Islands, Virgin Islands (US)</i>), Jamaica, Puerto Rico
Ölexportierende Länder im Mittleren Osten, Afrika und Venezuela	Saudi Arabia, United Arab Emirates, Egypt, Nigeria, Venezuela, Rest of North Africa (<i>Algeria, Lybia</i>), Rest of Western Asia (<i>Iraq, Lebanon, Palestinian Territory, Occupied, Syrian Arab Republic (Syria), Yemen</i>), Azerbaijan, Iran, Bahrain, Kuwait, Oman, Qatar, Morocco, Rest of South Central Africa, Jordan
Restliches Süd- und Südostasien (Wenig entwickelte Länder)	Cambodia, Lao People's Democratic Republic, Rest of South-East Asia (<i>Myanmar, Timor-Leste</i>), Sri Lanka, Rest of South Asia (<i>Afghanistan, Bhutan, Maldives</i>), Rest of East Asia (<i>Korea, Mongolia, Macau</i>), Rest of Oceania, Nepal, Brunei Darussalam
Afrika	South Africa, Benin, Burkina Faso, Cameroon, Cote d'Ivoire, Ghana, Guinea, Senegal, Togo, Rest of West Africa, Central Africa, Ethiopia, Kenya, Madagascar, Malawi, Mauritius, Mozambique, Namibia, Rwanda,

Tanzania, Uganda, Zambia, Zimbabwe, Rest of Eastern Africa, Botswana,
Rest of South African Customs Union

Quelle: GTAP Datenbasis v9 (Aguiar et al. 2016); Länder in kursiv sind bereits in der GTAP-Datenbank aggregiert

Tabelle 10: Detaillierte Zuordnung von Sektoren zu Sektorgruppen

Modellsektor	Sektoren entsprechend der GTAP Datenbasis (Sektornummer)
Landwirtschaftliche Erzeugnisse: pflanzlich	Paddy rice (1), wheat (2), cereal grains n.e.c., (3), vegetables, fruits, nuts (4), oil seeds (5), sugar cane, sugar beet (6), plant-based fibres (7), crops n.e.c.
Landwirtschaftliche Erzeugnisse: tierisch	Bovine cattle, sheep and goats, horses (10), animal products n.e.c., (11), raw milk (11), wool, silk-worm cocoons (12)
Forstwirtschaft und Fischerei	Forestry (13) and fishing (14)
Kohle	Coal mining (15)
Rohöl und Erdgas	Oil extraction (16), Natural Gas extraction (17), manufacture of gas, distribution, steam and hot water supply (44)
Restlicher Bergbau	Other mining (18)
Nahrungs- und Futtermittel, Getränke und Tabakprodukte	All food processing sectors (19-25), beverages and tobacco products (26)
Textilindustrie	Textiles (27), Wearing apparel (28), Leather products (29)
Holz- und Papierindustrie, Druckereien	Wood products (30), Manufacture of paper products and publishing (31)
Erzeugung von Maschinen, Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Produkten	Other Machinery & Equipment: electrical machinery and apparatus n.e.c., medical, precision and optical instruments, watches and clocks (41)
Elektronische Geräte	Electronic Equipment: office, accounting and computing machinery, radio, television and communication equipment and apparatus (40)
Motor, Kraftfahrzeuge und -teile sowie andere Transportmittel	Motor, Motor vehicles and parts: cars, lorries, trailers and semi-trailers (38), Other Transport Equipment: Manufacture of other transport equipment (39)
Elektrizität	Production, collection and distribution of electricity (43)
Sonstige Produktion	Other Manufacturing: includes recycling (42)
Raffinierte Ölprodukte	Petroleum, coal products (32)
Chemische Industrie	Chemical, rubber, plastic products (33)
Erzeugung von anderen nichtmetallischen	Manufacture of other non-metallic mineral products (34), precious and non-ferrous metals (36)

Modellsektor	Sektoren entsprechend der GTAP Datenbasis (Sektornummer)
Mineralprodukten, Edelmetalle und Nichteisenmetalle	
Erzeugung von Eisen und Stahl sowie Gießen und Verarbeitung von Metallerzeugnissen	Manufacture of basic iron and steel and casting (35), fabricated metal products (37)
Wasserverkehr	Water (49)
Luftverkehr	Air (50)
Landverkehr	Other Transport (including road and rail transport) (48)
Andere private und öffentliche Dienstleistungen	Water (45), Trade: all retail sales; wholesale trade and commission trade; hotels and restaurants; repairs of motor vehicles and personal and household goods; retail sale of automotive fuel (47), post and telecom (51), financial services (52), insurance (53), Recreational & service activities (55), public administration (56), dwellings (57) real estate & other business (54)
Bauwirtschaft	Construction (46)

Quelle: GTAP Datenbasis v9 (Aguiar et al. 2016)