



“Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen?“

Endbericht

September 2009

Dr. Ingo Bräuer, Katharina Umpfenbach, Daniel Blobel, Max Grünig und Aaron Best (Ecologic)

Martin Peter, Helen Lückge und Florian Kasser (INFRAS)

Ecologic Institut

Pfalzburger Str. 43-44, D-10717 Berlin, Tel. +49 30 86 88 00, Fax +49 30 86 88 0100

E-Mail: katharina.umpfenbach@ecologic.eu

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Definition der Szenarien | 4 |
| 2.1 | IPCC-Szenarien – Globale Entwicklung | 4 |
| 2.2 | Sozio-ökonomisches Referenzszenario für Deutschland | 7 |
| 2.2.1 | Demographischer Wandel in Deutschland | 7 |
| 2.2.2 | BIP-Wachstum für Deutschland | 9 |
| 2.3 | Prognosen zur Klimaveränderung in Deutschland..... | 12 |
| 2.3.1 | Temperatur | 13 |
| 2.3.2 | Niederschlag..... | 14 |
| 2.3.3 | Extremwerte und Extremereignisse..... | 15 |
| 2.3.4 | Abschätzungen zum Meeresspiegelanstieg..... | 18 |
| 2.4 | Die Szenariendaten im Überblick..... | 20 |
| 3 | Qualitative und quantitative Analyse der Wirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Haushalte..... | 21 |
| 3.1 | Methodische Vorgehensweise | 21 |
| 3.1.1 | Qualitative Bewertung – Struktur der Kausalketten..... | 21 |
| 3.1.2 | Quantifizierung der Wirkungen – Vorgehensweise | 27 |
| 3.2 | Sektorale Fallstudien Inland..... | 30 |
| | Fallstudie 1: Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten..... | 30 |
| | Fallstudie 2: Schäden an Gebäuden und Wirkungen auf die Bauwirtschaft | 35 |
| | Fallstudie 3: Land- und Forstwirtschaft | 45 |
| | Fallstudie 4: Energiesektor | 51 |
| | Fallstudie 5: Wasserwirtschaft..... | 58 |
| | Fallstudie 6: Tourismus | 66 |
| | Fallstudie 7: Verkehr..... | 73 |
| | Fallstudie 8: Versicherungswirtschaft..... | 82 |
| | Fallstudie 9: Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit | 90 |
| 3.3 | Fallstudie Internationale Einflusskanäle..... | 95 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 4 | Gesamtbetrachtung | 106 |
| 4.1 | Übersicht zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Hand | 106 |
| 4.2 | Ermittlung der Gesamtbetroffenheit der öffentlichen Finanzen durch den Klimawandel mittels Monte-Carlo-Simulation | 109 |
| 4.3 | Demographische Entwicklung und Klimawandel | 116 |
| 5 | Schlussfolgerungen und Einordnung der Ergebnisse | 119 |
| 6 | Literatur..... | 124 |
| | Anhang: Erläuterungen zum Meeresspiegelanstieg | 133 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabelle 1: | Szenarienfamilien des IPCC..... | 5 |
| Tabelle 2: | Entwicklung zentraler Parameter in den Marker-Szenarien..... | 6 |
| Tabelle 3: | Basisinformationen der Modelle REMO und WETTREG | 12 |
| Tabelle 4: | Jahresänderung der Tagesmitteltemperatur gegenüber 1961-1990 nach WETTREG. | 13 |
| Tabelle 5: | Jahreszeitliche Änderungen der Tagesmitteltemperatur nach WETTREG..... | 14 |
| Tabelle 6: | Änderung des Niederschlags gegenüber 1961-1990 nach WETTREG..... | 15 |
| Tabelle 7: | Jahreszeitliche Niederschlagsänderungen nach WETTREG..... | 15 |
| Tabelle 8: | Prognosen für ausgewählte Extremwertindizes nach dem REMO-Modell..... | 16 |
| Tabelle 9: | Die Szenariendaten im Überblick | 20 |
| Tabelle 10: | Annahmen zur Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen | 20 |
| Tabelle 11: | Merkmale der deutschen Nord- und Ostseeküste..... | 30 |
| Tabelle 12: | Schadensschätzungen nach Elsner et al. 2005 und Bigano et al. 2008..... | 32 |
| Tabelle 13: | Quantifizierung der Sturmschäden im Bereich Gebäude..... | 37 |
| Tabelle 14: | Quantifizierung der Hochwasserschäden in PESETA..... | 38 |
| Tabelle 15: | Quantifizierung der Hochwasserschäden im Bereich Gebäude..... | 39 |
| Tabelle 16: | Kosten im Gebäudebereich durch Bodenabsenkung..... | 40 |
| Tabelle 17: | Übersicht: Anstieg der öffentlichen Ausgaben durch Schäden an Gebäuden | 42 |
| Tabelle 18: | BIP-Veränderung durch Schäden an Gebäuden und Verlängerung der Bausaison. | 43 |
| Tabelle 19: | Regionale Simulationen der zukünftigen landwirtschaftlichen Erträge | 46 |
| Tabelle 20: | Auswirkungen von Extremereignissen auf die Landwirtschaft..... | 46 |
| Tabelle 21: | Kennzahlen des internationalen Tourismus in Europa 2007..... | 66 |
| Tabelle 22: | Wasser- und Stromverbrauch für Kunstschnee in den Alpen | 70 |
| Tabelle 23: | Klimabedingter Anstieg der Urlaubsreisen nach Tol und Hamilton 2007..... | 71 |
| Tabelle 24: | Anpassungsfaktoren für Schadenstransfer von GB nach Deutschland | 74 |
| Tabelle 25: | Schadensbilanzen im Bereich Verkehrsinfrastruktur..... | 75 |
| Tabelle 26: | Reduktion der Kosten für den Straßen-Winterdienst..... | 76 |
| Tabelle 27: | Verspätungen, Behinderungen, Transportengpässe..... | 77 |
| Tabelle 28: | Schäden an Straßen- und Schieneninfrastruktur durch Sturmfluten..... | 79 |
| Tabelle 29: | Klimawirkungen auf die Ausgaben der öffentliche Hand im Bereich Verkehr | 80 |
| Tabelle 30: | Klimawirkungen auf die Einnahmen der öffentlichen Hand im Bereich Verkehr..... | 80 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 31: | Versicherungsschäden bisheriger Extremereignisse | 83 |
| Tabelle 32: | Direkte Kosten und BIP-Verluste durch die Auswirkung des Klimawandels auf die Gesundheit | 93 |
| Tabelle 33: | Wertschöpfungsänderung je Weltregion wegen Klimawandel 2050 | 102 |
| Tabelle 34: | Übersicht Auswirkungen Klimawandel auf öffentliche Hand – Direkte Wirkungen auf der Ausgabenseite | 106 |
| Tabelle 35: | Übersicht Auswirkungen Klimawandel auf öffentliche Hand – Indirekte ... Wirkungen auf der Einnahmenseite über BIP-Veränderungen | 107 |
| Tabelle 36: | Unsicherheit und Wahrscheinlichkeitsverteilung der Temperaturerhöhung..... | 110 |
| Tabelle 37: | Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Hand, 2050..... | 113 |
| Tabelle 38: | Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Hand, 2100..... | 116 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 1: | Aufbau der Analyse | 4 |
| Abbildung 2: | Treibhausgasemissionen in den verschiedenen IPCC-Szenarien | 5 |
| Abbildung 3: | Prognose Bevölkerungsentwicklung Deutschland | 7 |
| Abbildung 4: | Altersaufbau der Bevölkerung | 8 |
| Abbildung 5: | Entwicklung der jungen und alten Bevölkerung | 8 |
| Abbildung 6: | Verjüngende Wirkung der Immigration | 9 |
| Abbildung 7: | BIP Deutschland 1999 – 2008..... | 10 |
| Abbildung 8: | Temperaturverlauf 1955–2095 im Vergleich zu 1961–1990 | 14 |
| Abbildung 9: | Schema der kausalen Wirkungszusammenhänge | 22 |
| Abbildung 10: | Wirtschaftsbereiche und Fallstudien im Überblick..... | 26 |
| Abbildung 11: | Wirkungspfade Meeresspiegel und Sturmfluten..... | 34 |
| Abbildung 12: | Wirkungspfade Gebäude..... | 44 |
| Abbildung 13: | Wirkungspfade Land- und Forstwirtschaft..... | 50 |
| Abbildung 14: | Wirkungspfade Energiewirtschaft..... | 57 |
| Abbildung 15: | Wirkungspfade Wasserwirtschaft | 65 |
| Abbildung 16: | Wirkungspfade Tourismus..... | 72 |
| Abbildung 17: | Ursachen von Straßenverkehrsunfällen: Unwetter..... | 78 |
| Abbildung 18: | Ursachen von Straßenverkehrsunfällen: Schnee und Eis..... | 80 |
| Abbildung 19: | Wirkungspfade Verkehr | 81 |
| Abbildung 20: | Naturkatastrophen 1950-2007, Globale Gesamt- und versicherte Schäden | 83 |
| Abbildung 21: | Wirkungspfade Versicherungswirtschaft | 89 |
| Abbildung 22: | Wirkungspfade Gesundheit | 94 |
| Abbildung 23: | Prognostizierte Änderungen der Niederschläge..... | 95 |
| Abbildung 24: | Der Klimawandel als Risikofaktor der internationalen Sicherheit..... | 100 |
| Abbildung 25: | Exporte Deutschland 2007 nach Weltregionen, absolut | 99 |
| Abbildung 26: | Exporte Deutschland 2007 und Schätzung für 2050 nach Weltregionen..... | 101 |
| Abbildung 27: | Abnahme der Exporte Deutschlands 2050 wegen Klimawandel | 103 |
| Abbildung 28: | Abnahme der Nachfrage nach Exporten aus Deutschland je Weltregion 2050..... | 104 |
| Abbildung 29: | Gefährdetes BIP über Exposition der Exporte 2050 | 104 |
| Abbildung 30: | Kostenfunktion in Abhängigkeit der Temperaturerhöhung – Beispiel Gesundheit.. | 110 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Abbildung 31: | Wirkungen 2050 nach Wirkungspfaden, Mittelwert | 112 |
| Abbildung 32: | Kosten für die öffentlichen Hand 2050: Wahrscheinlichkeitsverteilung..... | 113 |
| Abbildung 33: | Wirkungen 2100 nach Wirkungspfaden, Mittelwert | 115 |
| Abbildung 34: | Kosten für die öffentliche Hand 2100: Wahrscheinlichkeitsverteilung..... | 115 |
| Abbildung 35: | Altersaufbau der Bevölkerung 2000, 2030, 2050 | 117 |
| Abbildung 36: | Relevanz von Demographie und Klimawandel für die öffentliche Hand | 118 |

1 Einleitung

Die Existenz einer anthropogen hervorgerufenen weltweiten Veränderung des Klimas ist mittlerweile eine allgemein akzeptierte Tatsache. Der 2007 erschienene vierte Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) dokumentiert den weitgehenden Konsens darüber, dass sich das Weltklima erwärmt. Jüngste Erkenntnisse auf Basis aktueller Klimabeobachtungen legen zudem nahe, dass die Erwärmung schneller voranschreitet und größere Auswirkungen zeitigen wird als bislang vermutet (Richardson et al. 2009, Schellnhuber 2008). Zu den bereits heute sichtbaren Auswirkungen gehören beispielsweise der Rekordrückgang des arktischen Seees im Jahr 2007, auftauende Permafrostböden und anhaltende Dürren im Westen der USA, in Australien und Argentinien. Aber auch in Europa mehren sich die Anzeichen des voranschreitenden Klimawandels und den damit einhergehenden Schäden. So verschiebt sich der Frühlingsanfang kontinuierlich nach vorne (UBA 2008), die steigende Schneefallgrenze in den Alpen führt bei den betroffenen Skigebieten zu wirtschaftlichen Schwierigkeiten (OECD 2007) und die Höchsttemperaturen im Sommer erreichen bisher unbekannte neue Maxima.

Nach Jahren der wissenschaftlichen Debatte über das „ob“ einer weltweiten Erwärmung steht mittlerweile die Analyse der möglichen Folgen dieser globalen Veränderungen und den damit verbundenen Kosten sowie notwendigen Handlungsoptionen im Mittelpunkt. Prominentestes Beispiel ist der Stern-Report aus dem Jahr 2006, der die wirtschaftlichen Folgen der Erwärmung auf globalem Niveau berechnet. Zusätzlich existieren einige nationale Studien, wobei hauptsächlich die Betroffenheit bestimmter, besonders exponierter Sektoren untersucht wird. Integrierte gesamtwirtschaftliche Betrachtungen für Deutschland sind bisher rar, eine Ausnahme ist Kemfert (2002).

Der in dieser Studie verfolgte Ansatz einer qualitativen und quantitativen Analyse der ökonomischen Folgen des Klimawandels für den öffentlichen Haushalt findet sich in der Literatur bisher nicht. Dies ist insofern erstaunlich, da der Staat und die öffentlichen Haushalte in vielfältiger Form von den Folgen des Klimawandels betroffen sein können. So stellen die durch wetterbedingte Extremereignisse hervorgerufenen Katastrophen klassische Fälle für staatliches Eingreifen dar. Gleiches gilt für die Katastrophenprophylaxe, wie z.B. notwendige Verbesserungen im Hochwasserschutz oder Anpassungen der Infrastruktur an die neuen Belastungen. Zusätzlich gibt es aber auch einige, weniger offensichtliche Einflusskanäle auf der Seite der staatlichen Einnahmen. So können sich erhöhte Krankenstände oder wegbrechende Exportmärkte negativ auf die Steuereinnahmen auswirken und damit den Haushalt belasten. Von besonderem Interesse für politische Entscheidungsträger ist darüber hinaus die Frage, inwieweit die Wirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen mit den Belastungen durch den demographischen Wandel zusammentreffen.

Neben zahlreichen negativen Folgen kann der Klimawandel in Deutschland auch zu einigen Verbesserungen führen. Hierunter fallen potentiell höhere Erträge in der Landwirtschaft durch längere Wachstumsperioden, zunehmender Sommertourismus sowie Einsparungen durch verminderten Heizbedarf. Ziel dieser Untersuchung ist es, die Bandbreite der

Auswirkungen zu berücksichtigen und abschließend die wichtigsten positiven und negativen Wirkungen zu aggregieren, um die Wirkung auf die öffentlichen Haushalte abzuschätzen.

Ziel dieser Studie ist es entsprechend:

- Potentielle Be- aber auch Entlastungen der öffentlichen Hand, die sich aus den Folgen des Klimawandels ergeben, aufzuzeigen und nach Möglichkeit zu quantifizieren;
- Abzuschätzen, inwieweit diese Be- oder Entlastungen mit den aus dem demographischen Wandel hervorgegangenen Belastungen zusammenfallen und welchen Handlungsspielraum die öffentlichen Haushalte in Zukunft haben werden.

Grundlage der Analyse sind Szenarien zur zukünftigen sozio-ökonomischen und klimatischen Entwicklung, die aufbauend auf den SRES Szenarien des IPCC (2000) und der Klimamodellierung für Deutschland mit Hilfe der Modelle WETTREG (Spekat et al. 2007) und REMO (Jacob et al. 2008) entwickelt werden. Für die Annahmen zur sozio-ökonomischen Entwicklung stützt sich die Studie auf den zweiten Tragfähigkeitsbericht des BMF (2008).

Zentrale Aufgabe bei der vorliegenden Fragestellung ist die Reduktion der Komplexität der Wirkungszusammenhänge und der mit den jeweiligen Wirkungen verbundenen Unsicherheit. Daher wird ein zweigliedriges Verfahren angewandt, das in einem ersten Schritt die kausalen Wirkungspfade in qualitativer und soweit möglich auch quantitativer Form anhand der vorliegenden Literatur nachzeichnet. Belastungen aufgrund von Anpassungsmaßnahmen werden dabei nur dann berücksichtigt, wenn es sich um die Fortführung bestehender Schutzmaßnahmen handelt, etwa die Erhöhung von Deichen.

In einem zweiten Schritt werden alle gewonnenen quantitativen Informationen unter Berücksichtigung der Annahmen zu Extremereignissen und Temperaturentwicklung in einer Monte-Carlo-Analyse für die Jahre 2050 und 2100 zusammengefasst. Im Endergebnis steht jedoch nicht nur ein Wert, der die potentielle Zusatzbelastung der öffentlichen Hand im jeweiligen Jahr beschreibt. Vielmehr vermitteln die gefundenen Werte einen Eindruck von den zu erwartenden Größenordnungen der Wirkungen, deren Wahrscheinlichkeiten und Abhängigkeiten. Die den Prognosen innewohnenden Unsicherheiten sind klar herausgestellt und fanden in die Monte-Carlo-Analyse Einzug.

Der Bericht ist folgendermaßen strukturiert:

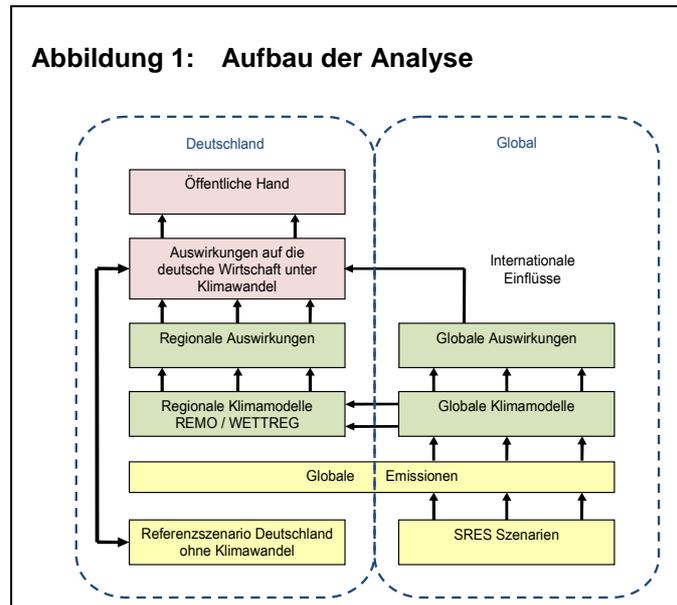
Teil 1 diskutiert die Ergebnisse der vorhandenen Klimamodelle und erarbeitet ein Referenzszenario ohne Klimawandel für die folgenden Betrachtungen.

Im Teil 2 werden zehn Fallstudien präsentiert, welche die Datenbasis für die weiteren Berechnungen bilden. Acht Fallstudien decken die am stärksten betroffenen Sektoren ab: Gebäude, Land- und Forstwirtschaft, Energieversorgung, Wasserversorgung, Tourismus, Verkehr, Versicherungen und Gesundheit. Zusätzlich werden zwei sektorübergreifende Fallstudien zu den Folgen des Meeresspiegelanstieges und der Bedeutung der internationalen Einflüsse durchgeführt. Allen Sektor-Fallstudien ist gemein, dass sie mit dem Konzept der Wirkungspfade arbeiten. So wird zum einen sichergestellt, dass Effekte, für die keine quantitativen Daten vorliegen, nicht unberücksichtigt bleiben, zum anderen geben die Pfade Auskunft über Wirkungszusammenhänge und damit über potentielle Handlungsoptionen.

Teil 3 des Berichtes führt die Ergebnisse der Fallstudien zusammen und zeigt so den Gesamteffekt auf die öffentlichen Haushalte Deutschlands. Mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation werden die zugrundeliegenden Unsicherheiten betrachtet, um die Bandbreite der

möglichen zukünftigen Betroffenheit der öffentlichen Haushalte zu ermitteln. Der Bericht schließt mit einer Zusammenfassung und der Einordnung der Ergebnisse.

2 Definition der Szenarien



Sollen Prognosen über lange Zeiträume erstellt werden, ist das Arbeiten mit Szenarien von zentraler Bedeutung, um konsistente Annahmen für die Analyse festzulegen. Im Kontext des Klimawandels sind die Annahmen zur sozio-ökonomischen Entwicklung in zweierlei Hinsicht relevant: Zum einen bestimmen sie das zukünftige Niveau der Treibhausgasemissionen (und damit auch den Grad der Auswirkungen des Klimawandels), und zum anderen hängt die Höhe der potentiellen Schäden von der wirtschaftlichen Entwicklung ab. Wie Abbildung 1 zeigt, werden für die Annahmen zur globalen

Entwicklung die Szenarien des International Panel on Climate Change (IPCC) herangezogen. Ziel dieses Kapitels ist es, diese Szenarien vorzustellen und realistische Annahmen für Deutschland abzuleiten.

2.1 IPCC-Szenarien – Globale Entwicklung

Um den Möglichkeitsraum der zukünftigen globalen Klimaveränderung zu strukturieren, hat der IPCC im Jahr 2000 insgesamt 40 sozio-ökonomische Szenarien entwickelt, die sogenannten SRES-Szenarien (IPCC 2000).¹ Es handelt sich um die möglichst konsistente Darstellung von potentiellen Pfaden, die die Welt bis 2100 beschreiten könnte. Die Szenarien enthalten jeweils aggregierte Annahmen zur Entwicklung der Weltbevölkerung, des globalen Bruttoinlandprodukts (BIP) und zum technologischen Fortschritt. Darüber hinaus gibt die „Storyline“ des Szenarios Auskunft über die Konvergenz der Weltregionen und das Ausmaß der internationalen Kooperation. Da es sich um aggregierte Betrachtungen handelt, sind keine Annahmen zur Entwicklung in Deutschland enthalten. Explizite Annahmen über den Fortschritt der internationalen oder regionalen Klimaschutzbemühungen gibt es ebenfalls nicht; Aussagen dazu sind jedoch indirekt in den Annahmen zur Technologieentwicklung und zur internationalen Zusammenarbeit enthalten. Es werden keine Aussagen zur Wahrscheinlichkeit der einzelnen Szenarien gemacht.

Klimaforscher benutzen die Annahmen der SRES-Szenarien – insbesondere die Emissionsprofile (vgl. Abbildung 2) – als exogenen Input für die Klimamodelle, die dann den Temperaturanstieg und die Veränderung der anderen Klimaparameter berechnen. Aus der Vielzahl an Szenarien können vier Szenarienfamilien mit einer gemeinsamen „Storyline“ isoliert werden (vgl. Tabelle 1), die jeweils durch ein sogenanntes „Marker Scenario“ repräsentiert werden. Die „Marker“-Szenarien sind weder wahrscheinlicher als andere Szenarien

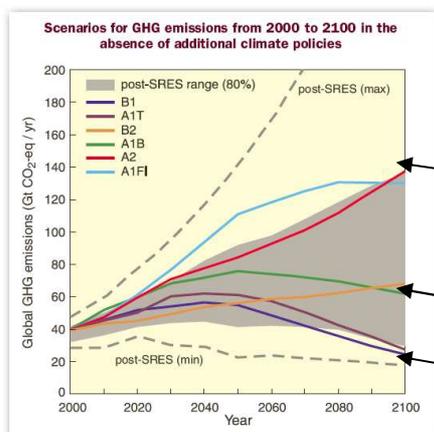
¹ Die Abkürzung SRES steht für „Special Report on Emission Scenarios“.

derselben Familie noch stellen sie Mittelwerte dar. Ihre Bedeutung resultiert allein daraus, dass sie im weiteren Forschungsprozess die meiste Aufmerksamkeit erhalten haben. Sie werden bevorzugt als Input für Modellierungen und darauf aufbauende Analysen benutzt und sind daher mittlerweile die am besten erforschten Szenarien.

Tabelle 1: Szenarienfamilien des IPCC

- A1 Schnelles Wirtschaftswachstum; Zunahme der Weltbevölkerung bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts, danach Abnahme; schnelle Einführung effizienterer Technologien, kulturelle und soziale Integration. Regionale Einkommensunterschiede nehmen ab. Der Strang gliedert sich in drei Unterfamilien:
 - A1FI Hauptsächliche Verwendung fossiler Energieträger
 - A1T Hauptsächliche Verwendung nicht-fossiler Energieträger
 - A1B Eine Mischung aus A1FI und A1T
- A2 Hochgradig heterogene Welt; Bewahrung der lokalen Identität; Eigenständigkeit. Bevölkerung, Wirtschaft und Technologie entwickeln sich regional sehr unterschiedlich.
- B1 Wie A1 eine konvergierende Welt, jedoch mit drastischen Veränderungen der Wirtschaft hin zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft. Materialintensität sinkt; Einführung ressourceneffizienter Technologien; Schwerpunkt auf Nachhaltigkeit u. Gleichheit.
- B2 Im Vordergrund stehen lokale Initiativen für wirtschaftliche, soziale und ökologische Nachhaltigkeit. Die Weltbevölkerung nimmt kontinuierlich zu. Die Wirtschaft wächst moderat und technologischer Fortschritt ist regional diversifiziert.

Abbildung 2: Treibhausgasemissionen in den verschiedenen IPCC-Szenarien



Quelle: IPCC 2007b

Auch in den einschlägigen deutschen Klimastudien werden hauptsächlich drei „Marker“-Szenarien benutzt: das Negativszenario A2 mit den höchsten CO₂-Emissionen, das optimistische Szenario B1 mit stark rückläufigen Emissionen und das mittlere Szenario A1B. Tabelle 2 fasst die Parameter dieser SRES-Szenarien zusammen, während Abbildung 2 die Emissionsprofile zeigt. Der IPCC hat die SRES-Szenarien nicht nach Trendfortschreibungen (Business-as-usual) und Interventionsszenarien unterschieden, wie dies bei früheren Szenarienfamilien des IPCC noch der Fall war.

Vergleicht man die in den Szenarien enthaltenen Annahmen, so kann B1 klar als Interventionsszenario bezeichnet werden, da nur durch massive Forschungsinvestitionen die Emissionen derart reduziert werden können. A1B entspricht in etwa der Trendfortschreibung und A2 ist ein pessimistisches Szenario.²

² Girod und Mieq (2008).

Tabelle 2: Entwicklung zentraler Parameter in den Marker-Szenarien

| Prognose³ | |
|-----------------------------|--|
| A1B | <p>Bevölkerungswachstum vergleichsweise gering: Zunahme der Weltbevölkerung auf 8,7 Mrd. bis 2050, danach Abnahme auf 7,1 Mrd. Menschen (2100).</p> <p>Starkes Wirtschaftswachstum von ca. 3% p.a. Um 2100 wird ein globales BIP von 530 Billionen US\$ erreicht. Regionale Unterschiede im Pro-Kopf-Einkommen nehmen ab.</p> <p>Ein rascher technischer Fortschritt führt zu Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch (Abnahme der Endenergieintensität um ca. 1,3 % p.a.). Mineralische und Energierohstoffe sind daher ausreichend vorhanden. Der Kohleanteil an der Primärerzeugung sinkt von 24 % (1990) auf 4 % (2100), während der Anteil CO₂-freier Energiequellen auf 65 % steigt (2100).</p> <p>Die Treibhausgasemissionen steigen zunächst steil und dann allmählich verlangsamt an. Nach einem Maximum um 2050 fallen sie stetig bis 2100.</p> <p>Temperaturanstieg bis 2100: 1,7 °C – 4,4 °C (best estimate: 2,8 °C) ;</p> <p>Meeresspiegelanstieg bis 2100: 0,21 m– 0,48 m (ohne beschleunigten Eisfluss).</p> |
| A2 | <p>Die Fortpflanzungsraten konvergieren nur sehr langsam, was zu fortgesetztem Bevölkerungswachstum führt (15 Mrd. Menschen im Jahre 2100). Die Wirtschaftsentwicklung (Ø 2% p.a. – globales BIP 243 Billionen US\$ in 2100) hat einen regionalen Fokus; technologischer Fortschritt und Pro-Kopf-Einkommen entwickeln sich regional sehr unterschiedlich.</p> <p>Entsprechend der erheblichen regionalen Unterschiede in Ressourcenausstattung und technischem Fortschritt entwickelt sich auch die Energieeffizienz regional sehr unterschiedlich, im globalen Mittel wesentlich schlechter als in den anderen Szenarien (Abnahme der Endenergieintensität um 0,5 bis 0,7 % p.a.).</p> <p>Globale Treibhausgasemissionen steigen stetig und erreichen 2100 mehr als das Dreifache des Wertes von 2000.</p> <p>Temperaturanstieg bis 2100: 2,0 °C– 5,4 °C (best estimate: 3,4) ;</p> <p>Meeresspiegelanstieg bis 2100: 0,23 m- 0,51 m (ohne beschleunigten Eisfluss).</p> |
| B1 | <p>Bevölkerungsmaximum um 2050 bei ca. 8,7 Mrd., danach Abnahme auf 7 Mrd. bis 2100. Das Wirtschaftswachstum fällt mit 2,5 % p.a. deutlich geringer aus als im A1B-Szenario, jedoch höher als unter A2. Um 2100 ist ein globales BIP von 328 Billionen US\$ erreicht. Die Konvergenz des Pro-Kopf-Einkommens von Industrie- und Entwicklungsländern ist etwas schwächer als in A1B.</p> <p>Die technologische Entwicklung ist insgesamt langsamer als in A1B. Jedoch werden größere Fortschritte bei der Ressourceneffizienz erreicht, da sie ein Schwerpunkt der Forschung ist. Bis 2100 nimmt Endenergieintensität um 1,7 bis 2,3 % p.a. ab, der Gesamtbedarf an Primärenergie liegt Ende des Jahrhunderts bei weniger als einem Viertel des A1B-Szenario-Wertes.</p> <p>Die Verfügbarkeit fossiler Rohstoffe ist gering. Der Anteil CO₂-freier Energien wächst zunächst rascher als im A1B-Szenario, fällt aber langfristig leicht hinter diesem zurück (2100: 52 %).</p> <p>Die Treibhausgasemissionen steigen bis etwa 2040 mäßig an und fallen danach rapide ab. Die Emissionen im Jahre 2100 liegen weit unter dem Wert von 2000.</p> <p>Temperaturanstieg bis 2100: 1,1 °C– 2,9 °C (best estimate: 1,8) ;</p> <p>Meeresspiegelanstieg bis 2100: 0,18 m– 0,38 m (ohne beschleunigten Eisfluss).</p> |
| Baseline-Szenarien | <p>Es wird kein Klimawandel angenommen. Die Baseline-Szenarien nutzen die demographischen und ökonomischen „driving forces“ der entsprechenden Szenarien.</p> |

³ Zahlenangaben zu sozio-ökonomischen und Energiedaten beziehen sich jeweils auf das "Marker Scenario" einer Gruppe in IPCC (2000). Die Vorhersagen zur Bandbreite des zu erwartenden Temperatur- und Meeresspiegelanstiegs stammen aus dem letzten IPCC-Bericht (IPCC 2007).

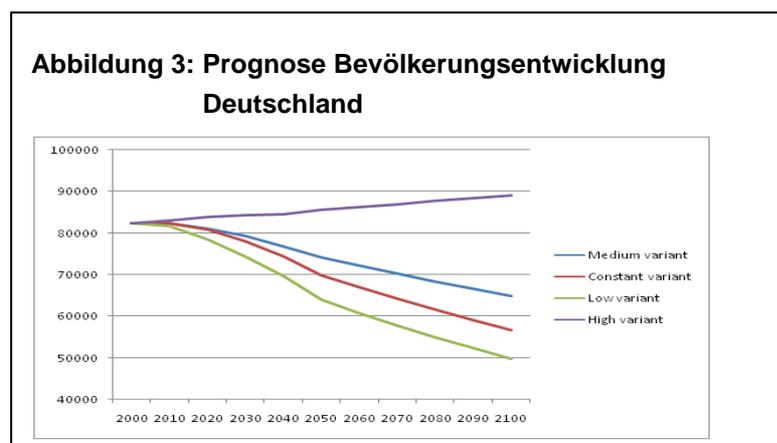
2.2 Sozio-ökonomisches Referenzszenario für Deutschland

Die SRES-Szenarien des IPCC liefern das globale aggregierte Gerüst für unsere Analyse. Dazu gehören sowohl die Annahmen zur sozio-ökonomischen Entwicklung als auch zu den globalen Treibhausgasemissionen, die den Klimawandel antreiben. In den IPCC-Szenarien gibt es keine Annahmen zu Deutschland, sondern nur aggregierte Werte für die Industrieländer allgemein (OECD-90⁴). Für die Abschätzung der Folgen des Klimawandels in Deutschland wird daher neben einem deutschen Klimaszenario auch ein nationales Referenzszenario benötigt, das die sozio-ökonomische Entwicklung Deutschlands bis 2100 in einer Welt ohne Klimawandel beschreibt. Das Referenzszenario erlaubt es, klimawandelbedingte Kosten und BIP-Verluste sowie positive Effekte als Differenz zum Baseline-Szenario auszudrücken. Darüber hinaus baut auch die Fallstudie zum Thema Gesundheit auf den Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung auf. Schließlich erlauben diese Eckdaten, aus der zeitlichen Verteilung der Kosten und Nutzen zu folgern, ob sich die Belastungen des Klimawandels mit dem demographischen Wandel überlappen (vgl. Kap. 5).

Die demographische und ökonomische Entwicklung im Referenzszenario kann bis 2050 relativ gut prognostiziert werden. Ab 2050 werden die Stützpunkte deutlich schwächer, was die Prognosesicherheit einschränkt. Hier stützen wir uns auf Aussagen des Bundesinstituts für Bevölkerungsforschung (BiB) (Scharein 2008).

2.2.1 Demographischer Wandel in Deutschland

Die Vereinten Nationen (UN) haben vier Szenarien für den Wandel der Bevölkerung in den einzelnen UN-Ländern entwickelt. Diese basieren auf den Annahmen einer geringen, mittleren, hohen und konstanten Geburtenrate.⁵ Abbildung 3 zeigt die Szenarien für den demographischen Wandel in Deutschland bis zum Jahr 2100. Die mittlere Variante (Medium Variant) wird von der UN als die wahrscheinlichste betrachtet. Dies bedeutet eine konstante Verringerung der Bevölkerungszahl auf 65 Mio. Einwohner im Jahr 2100. Ursache dieser Entwicklung sind eine sehr niedrige Geburtenrate und geringe Immigration bei gleichzeitig leicht steigender Sterberate.



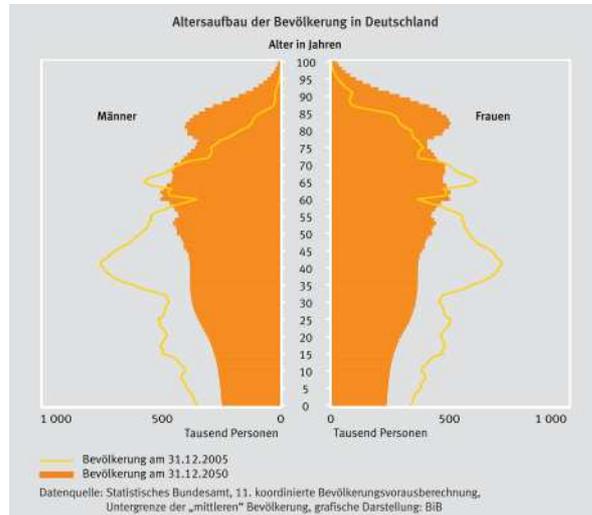
Relevant für eine Abschätzung der Belastung der öffentlichen Haushalte, insbesondere über die Sozialsysteme, ist neben der Entwicklung der Gesamtbevölkerung vor allem die Veränderung des Altersaufbaus in Deutschland. Auch hier gilt wieder, dass langfristige Prognosen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind, da beispielsweise die Entwicklung

⁴ http://sres.ciesin.org/final_data.html.

⁵ World Population Prospects (2006).

der Immigration sehr stark von den politischen Rahmenbedingungen abhängt und daher nicht linear verlaufen muss.

Abbildung 4: Altersaufbau der Bevölkerung



Quelle: BiB 2008

In Deutschland liegen zur Entwicklung des Altersaufbaus Modellierungen des Bundesinstituts für Bevölkerungsforschung (BiB) vor.⁶ Das BiB stützt sich auf die 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2006): für das Jahr 2050 schätzt das Institut die Bevölkerung in Deutschland auf zwischen 69 und 74 Millionen Einwohner. Zusätzlich hat das Bundesministerium der Finanzen in seinen Berichten zur Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen⁷ die Wirkungen des demographischen Wandels auf die öffentlichen Haushalte untersucht. Diese Untersuchungen betrachten den Zeitraum bis 2050. Der 2. Tragfähigkeitsbericht prognostiziert eine Abnahme der

Bevölkerung in Deutschland auf 70,7 Millionen Einwohner (Variante T-) bzw. 77,5 Millionen Einwohner (T+).

Abbildung 5: Entwicklung der jungen und alten Bevölkerung



Quelle: BiB 2008

Während der Anteil der über 65-Jährigen von heute etwa 16 Millionen auf gut 23 Millionen im Jahr 2050 steigen wird, was einem Anteil von ca. 33% an der Gesamtbevölkerung entspricht, ist davon auszugehen, dass der Anteil der unter 20-Jährigen an der Gesamtbevölkerung nur etwa halb so hoch sein wird (15%).

Diese Entwicklung lässt sich einerseits in einer Betrachtung der Alterskohorten (vgl. Abbildung 4), andererseits auch in einer

konkreten Gegenüberstellung der beiden Bevölkerungsgruppen (Abbildung 5) erkennen. Die bedeutende Rolle der Migration, maßgeblich aufgrund der jüngeren Altersstruktur in der immigrierenden Bevölkerung, kann auch heute schon deutlich erkannt werden (Abbildung 6). Es ist sehr wahrscheinlich, dass dieser verjüngende Einfluss sich zukünftig noch stärker bemerkbar machen wird. Theoretisch bestünde also die Möglichkeit, die demographische Entwicklung über Migrationsströme beliebig zu steuern, was jedoch als politisch nicht

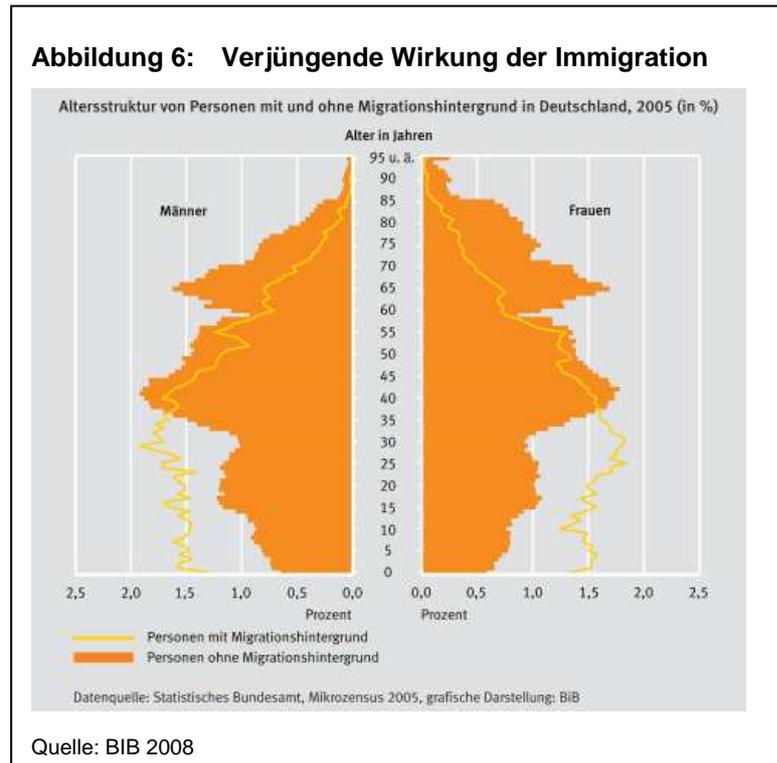
⁶ BiB (2008).

⁷ BMF (2008).

durchführbar angesehen wird. Daher wird auch längerfristig davon ausgegangen, dass Immigration die Alterung der Bevölkerung abschwächen, nicht jedoch aufhalten kann.

Das BiB geht davon aus, dass sich das Verhältnis der Beitragszahler und Leistungsempfänger von Renten stark verändern wird. Heute stehen 100 Personen im erwerbsfähigen Alter (20 bis 64 Jahre) 33 Personen im Alter von über 65 Jahren gegenüber. Im Jahr 2050 werden es zwischen 60 und 64 Leistungsempfänger je 100 Beitragszahler sein.

Fortschreibung der Entwicklung nach 2050



Das BIB rechnet auch nach 2050 mit einer weiteren Abnahme der Bevölkerung in Deutschland (Scharein 2009). Dies bedeutet, dass die Sterberate weiterhin über der Summe aus Einwanderung und Geburtenrate liegen wird. Allerdings ist es möglich, dass sich der Altersquotient stabilisiert.

Die sinkende Leistungsfähigkeit der Erwerbsbevölkerung beeinflusst einerseits die wirtschaftliche Produktivität, d.h. das BIP, andererseits werden hier auch direkt öffentliche Ausgaben verursacht, während auf der Einnahmenseite Abstriche zu erwarten sind.

Das Forschungszentrum Generationenverträge der Universität Freiburg hat im Rahmen seiner Arbeiten mit einem eigenen Modell bereits Berechnungen für die Zeit nach 2050 durchgeführt und kommt zu dem Schluss, dass der Altenquotient nach 2050 weitgehend konstant bleibt.⁸ Dieses Ergebnis ist nach Aussagen des BiB realistisch, da der Bevölkerungsaufbau im Zeitablauf immer mehr einer so genannten stabilen Bevölkerung entsprechen wird. In einer stabilen Bevölkerung bleiben sowohl Wachstumsrate als auch die Anteile der verschiedenen Altersklassen konstant.⁹

2.2.2 BIP-Wachstum für Deutschland

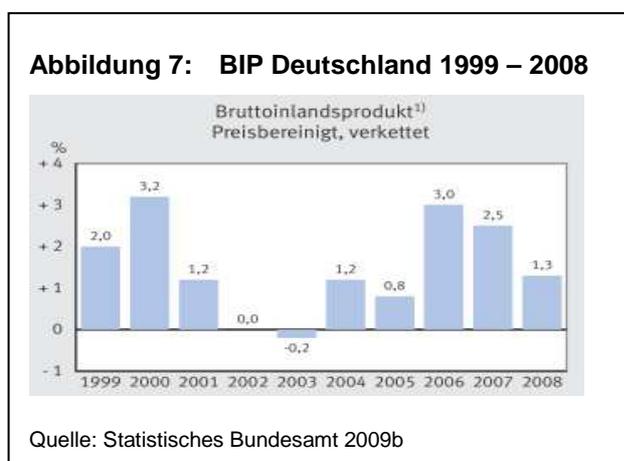
Das deutsche BIP-Wachstum war schon vor der Finanzkrise im September 2008 deutlich niedriger als das anderer Industrienationen: Laut International Energy Outlook (2007) hatten die OECD-Staaten in Nordamerika ein durchschnittliches Wirtschaftswachstum von 3% in

⁸ Vgl. Ehrentraut (2006).

⁹ Persönliche Korrespondenz mit Dr. Manfred Scharein beim Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung.

den Jahren 1980 bis 2004, während die durchschnittliche Wachstumsraten in den europäischen OECD-Staaten bei 2,4% lagen. Die Entwicklung des realen BIP in Deutschland ist eher unter diesem Durchschnitt anzusiedeln (Statistisches Bundesamt 2009).

Die Daten des Statistischen Bundesamtes zeigen für die letzte Dekade ein relativ stabiles deutsches BIP-Wachstum mit Schwankungen zwischen 0% und 3%, wobei das durchschnittliche Wachstum bei 1,5% lag (vgl. Abbildung 7). Die überarbeiteten Vorhersagen, die nach der Finanzkrise gemacht wurden, deuten einen Rückgang des realen BIP-Wachstums für die nächsten Jahre in Deutschland an. Es wird erwartet, dass das Wachstum des BIP erst langsam wieder zunehmen wird. Dann jedoch ist, *ceteris paribus*, davon auszugehen, dass sich das Wachstum mittelfristig wieder im Bereich um 1,5% einstellen wird. Dieser Wert wird langfristig kontinuierlich analog zur Bevölkerungszahl abnehmen.



Entsprechend der Weltwirtschaftsprognose wird sich aller Voraussicht nach die Wirtschaft in der Eurozone mit einem durchschnittlichen Wachstum des BIP von 1,4% ab 2010 wieder merkbar erholen. Der Internationale Währungsfonds merkt jedoch an, dass es wahrscheinlicher ist, dass die Entwicklung schlechter als prognostiziert verlaufe als umgekehrt.¹⁰

Diese Ausführungen zeigen, dass es in jedem Fall unmöglich ist, Veränderungen im Wachstum des deutschen BIP bis 2100

belastbar vorherzusagen. Da Annahmen zum BIP-Wachstum für die Analyse dennoch unerlässlich sind, nehmen wir für die Zeit bis 2050 an, dass sich die deutsche Volkswirtschaft graduell auf einem Erholungskurs auf den langfristigen Wachstumspfad von 1% zubewegen wird. Diese Annahmen bewegen sich im Korridor des zweiten Tragfähigkeitsberichtes des Bundesministeriums für Finanzen (BMF 2008), der von einem Wirtschaftswachstum zwischen 0,6% und 1% jährlich (wachstumsarmes Szenario T-), bzw. 0,9% und 1,7% jährlich (wachstumsstarkes Szenario T+) für die Jahre 2005 bis 2050 ausgeht. Für den Zeitraum 2050 bis 2100 wird angenommen, dass das BIP-Wachstum in erster Linie an die demographische Entwicklung gebunden ist. Auf Grundlage einer Extrapolation der Wachstumsraten des zweiten Tragfähigkeitsberichtes für die Zeitspanne zwischen 2051 und 2100 sowie Aussagen des BIB gehen wir davon aus, dass die Bevölkerung auch weiterhin abnimmt. Unter der Annahme eines leicht rückläufigen Pro-Kopf-Wirtschaftswachstums¹¹ zum Ende des Jahrhunderts ergibt sich somit ein durchschnittliches reales BIP-Wachstum im Bereich von 0,5% pro Jahr im Zeitraum 2051 bis 2100. Ein Rückgang des Pro-Kopf-Wachstums scheint aus zwei Gründen wahrscheinlich:

Unter der Annahme von Cobb-Douglass-Produktionsfunktionen hängt das Pro-Kopf-Einkommen ($y=Y/N$) vor allem von der Kapitalintensität ($k=K/N$) ab. Nach dem Solowschen Modell für Wirtschaftswachstum ergibt sich somit bei abnehmender Grenzproduktivität des

¹⁰ BMF (2008).

¹¹ Annahmen: Pro-Kopf-Wachstum 1,2% im Jahr 2050 bis 0,8% im Jahr 2100.

Kapitals auch ein abnehmendes Pro-Kopf-Wachstum. Dies bedeutet, dass in Deutschland langfristig mit einem abnehmenden Pro-Kopf-Wachstum gerechnet werden muss.¹²

Diese Annahme lässt sich auch durch Zahlen der Bundeszentrale für politische Bildung stützen. Das durchschnittliche Wachstum des BIP pro Kopf in Prozent für ökonomisch entwickelte Staaten war demnach:¹³

1980-1989: 2,5%

1990-2000: 1,9%

2000-2004: 1,4%

Diese statistischen Daten sind vorerst jedoch lediglich ein Indiz, da derzeit noch nicht genug Daten aus Bevölkerungen mit abnehmender Bevölkerungszahl und hoher Produktivität vorliegen.

¹² Siehe hierzu auch: Rötheli, (1993).

¹³ http://www.bpb.de/wissen/KX58LZ,0,0,Wachstum_des_Bruttoinlandsprodukts_pro_Kopf.html

2.3 Prognosen zur Klimaveränderung in Deutschland

Der Stand des Wissens zu Folgen des Klimawandels und Anpassung wird in Deutschland seit 2006 beim „Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass)“ am Umweltbundesamt (UBA) gebündelt. Im Auftrag des UBA sind bisher zwei grundlegende Studien zur Erstellung von regionalen Klimaszenariendaten für Deutschland bis zum Jahr 2100 durchgeführt worden, die zusammen mit den Rohdaten auf der Website verfügbar sind (vgl. Tabelle 3). Zum einen wurde das dynamische **Regionalmodell REMO** des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg benutzt, das die dynamischen Vorgänge in der Atmosphäre abbildet (Jacob et al. 2008) und zum anderen **das statistische Modell WETTREG** der Firma CEC Potsdam, das die statistischen Wechselbeziehungen bisheriger Klimabeobachtungen verwendet – vor allem den Einfluss der Großwetterlagen auf das Lokalklima (Spekat et al. 2007). Beide Modelle greifen auf globale Klimasimulationen zurück, die mit dem Globalmodell ECHAM5 des Max-Planck-Instituts berechnet wurden.

Tabelle 3: Basisinformationen der Modelle REMO und WETTREG¹⁴

| | REMO | WETTREG |
|----------------------------|---|--|
| Modelltyp | Dynamisches Modell, Antrieb: Globalmodell ECHAM5/MPI-OM | Statistisches Regionalisierungsverfahren Antrieb: Globalmodell ECHAM5/MPI-OM |
| Entwicklung | MPI für Meteorologie, Hamburg | CEC Potsdam GmbH |
| Modellgebiet | Deutschland plus Alpenraum | Deutschland |
| Zeitraum | 1950 bis 2100 | 1961 bis 2100 |
| IPCC-Szenarien | A1B, B1, A2 | A1B, B1, A2 |
| Räumliche Auflösung | 0,088° (ca. 10 x 10 km) | Bezogen auf meteorologische Stationen (282 Klimastationen und 1695 Niederschlagsstationen) |
| Zeitliche Auflösung | Stundenwerte | Tageswerte |

In beiden Modellierungen werden jeweils drei IPCC-Szenarien benutzt: das A2-Szenario mit relativ hohen Emissionen, das B1 als Niedrigemissionsszenario und das mittlere Szenario A1B. Nur für diese drei Szenarien liegen aktuelle Daten für Deutschland vor, und auch die bisherigen Kostenschätzungen beruhen auf diesen Szenarien (Kemfert 2008).

Für diese Untersuchung werden die beiden Extremszenarien **B1 und A2** herangezogen, um die möglichen Auswirkungen auf die deutsche Volkswirtschaft in der ganzen Breite darstellen zu können. Zwar beruht B1 auf vergleichsweise optimistischen Annahmen hinsichtlich der weiteren Entwicklung der Weltwirtschaft und der globalen Treibhausgasemissionen, die zum jetzigen Zeitpunkt wenig realistisch erscheinen, die Wahl des mittleren Szenario A1B anstelle von B1 bietet sich dennoch nicht an. Der Grund hierfür ist, dass A2 und A1B in den Szenarienberechnungen nur geringe Unterschiede in der Erwärmung aufweisen¹⁵.

¹⁴ Verändert nach: Umweltbundesamt / KomPass,
http://www.anpassung.net/cln_110/nn_700712/DE/Klimaszenarien/klimaszenarien__node.html?__nnn=tr ue#doc701116bodyText3

¹⁵ Der Unterschied in der Erwärmung ist in den beiden Szenarien geringer, als die angenommenen CO₂-Emissionen es vermuten lassen (A2: 29 Mrd. t CO₂ in 2100 gegenüber 13 Mrd. t CO₂ in A1B). Dies liegt

Obwohl die beiden Modelle WETTREG und REMO regionale Klimadaten für Deutschland auf Basis derselben drei IPCC-Szenarien liefern, sind die in den entsprechenden UBA-Studien präsentierten Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichbar. Die Darstellung der meisten Daten unterscheidet sich in den beiden Studien hinsichtlich der **Referenzperioden** und der **Zukunftszeiträume**, für die das Klimasignal ermittelt wird. Während die WETTREG-Studie die Veränderungen meist im Vergleich zur vorletzten Dekade des 20. Jahrhunderts abbildet (1981–1990), bezieht sich die REMO-Studie auf 1961–1990 als Klimanormalperiode. Die Projektionen für das 21. Jahrhundert bezieht die WETTREG-Studie in der Regel auf die Dekade 2091-2100, teils zusätzlich auf die 30-Jahres-Zeiträume 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100. Die REMO-Studie verwendet hingegen zumeist den 30-Jahres-Zeitraum 2071-2100, teils ergänzt durch den 30-Jahres-Zeitraum 2021-2050. Dies erschwert einen direkten Vergleich der errechneten Zukunftswerte. Mit den folgenden Angaben soll im Rahmen des unter diesen Umständen Möglichen ein vergleichender Überblick der Modellierungsergebnisse gegeben werden.

2.3.1 Temperatur

Die folgende Tabelle 4 zeigt die nach dem WETTREG-Modell erwarteten Deutschland-mittelwerte der Tagestemperatur unter den Szenarien A2 und B1 für drei aufeinander folgende 30-Jahres-Perioden des 21. Jahrhunderts.

Tabelle 4: Jahresänderung der Tagesmitteltemperatur gegenüber 1961-1990 nach WETTREG

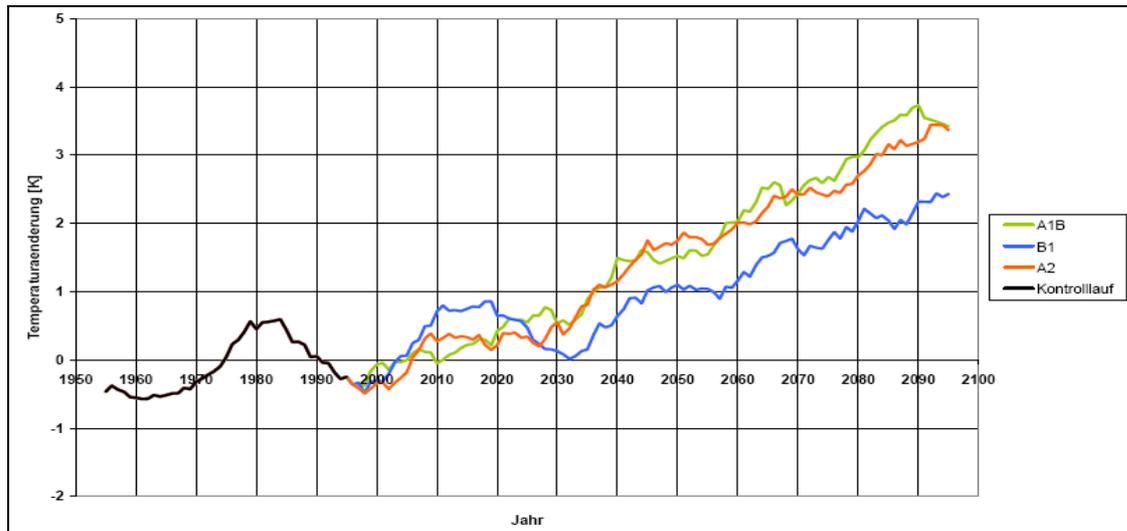
| | 2011-2040 | 2041-2070 | 2071-2100 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A2 | 0,8 °C | 1,6 °C | 2,1 °C |
| B1 | 0,8 °C | 1,0 °C | 1,8 °C |

Das Modell REMO liefert teilweise deutlich höhere Werte; zudem müssen regionale Abweichungen berücksichtigt werden. Für die Periode 2021-2050 liegen die REMO-Modellergebnisse in dieser Hinsicht noch nahe beieinander: Je nach Bundesland wurden 0,5 bis 0,6 °C Temperaturanstieg gegenüber der Klimanormalperiode (1961-2000) für das niedrige Szenario; 1,4 bis 1,6 °C für das hohe Szenario ermittelt.¹⁶ Bei den Werten für 2071-2100 schwanken die Ergebnisse regional zwischen 1,9 und 2,2 °C Erwärmung für das jeweils niedrige Szenario und zwischen 2,9 und 3,6 °C für das hohe Szenario. Die geringsten Werte verzeichnen die nordwestdeutschen Bundesländer Niedersachsen, Bremen, Hamburg und Schleswig-Holstein. Die größte Erwärmung wird für Baden-Württemberg prognostiziert, dicht gefolgt von Bayern und dem Saarland. Den Verlauf des Temperaturanstiegs im Modellgebietsmittel nach den unterschiedlichen Szenarien zeigt Abbildung 8.

darin, dass im A2-Szenario relativ hohe Emissionen von Schwefelaerosolen dem Erwärmungseffekt der Treibhausgase entgegenwirken, während im A1B die SO₂-Emissionen stetig sinken.

¹⁶ Jacob et al. (2008), S. 46. Berücksichtigt wurden die Szenarien A1B, A2 und B1, jedoch ohne Angaben, welches der Szenarien jeweils den niedrigsten und den höchsten Wert liefert.

Abbildung 8: Temperaturverlauf 1955–2095 im Vergleich zu 1961–1990



Neben den regionalen sind die saisonalen Abweichungen der Temperaturentwicklung für die Einschätzung der Folgen des Klimawandels von großer Bedeutung. Übereinstimmend zeigen die Modelle und Szenarien den größten Temperaturanstieg für die Wintermonate und den geringsten für das Frühjahr (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Jahreszeitliche Änderungen der Tagesmitteltemperatur (Differenz 2091–2100 gegenüber 1981–1990) nach WETTREG

| | Winter | Frühjahr | Sommer | Herbst |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A2 | 3,5 - 4,0 °C | 1,0 - 1,5 °C | 2,0 - 2,5 °C | 2,0 - 2,5 °C |
| B1 | 3,0 - 3,5 °C | 0,5 - 1,0 °C | 1,5 - 2,0 °C | 2,0 - 2,5 °C |

2.3.2 Niederschlag

Noch mehr als für die Temperatur ist beim Niederschlag eine saisonale Betrachtung erforderlich, weil sich die Trendentwicklungen im Winter und Sommer gegenläufig verhalten und somit im Jahresmittel ausgleichen. Die unterschiedlichen Modelle und Szenarien stimmen darin überein, dass sich der mittlere Jahresniederschlag im Deutschlandmittel bis 2100 kaum ändert. Hingegen zeigt sich in allen Szenarien eine deutliche, sich zum Ende des Jahrhunderts verstärkende Verringerung des Sommerniederschlags und eine Erhöhung der Winterniederschlagsmenge (vgl. Tabellen 6 und 7).

Im REMO-Modell steigen die Niederschläge bis 2100 in allen Szenarien im Frühjahr und Herbst um bis zu 10% und im Winter um bis zu 20% an. Höhere Niederschlagsmengen treten verstärkt in Höhenlagen und an den Küsten auf. Dagegen sinken die Niederschlagsmengen in den Sommermonaten um bis zu 20% und bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 30%. Die größten Rückgänge der Sommerniederschlagsmenge werden für Bayern und Baden-Württemberg modelliert.

Tabelle 6: Änderung des Niederschlags gegenüber 1961-1990 nach WETTREG

| | 2011-2040 | | 2041-2070 | | 2071-2100 | |
|-----------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | Sommer | Winter | Sommer | Winter | Sommer | Winter |
| A2 | -7,0 % | +7,0 % | -16,6 % | +15,3 % | -21,0 % | +22,3 % |
| B1 | -7,8 % | +11,1 % | -12,5 % | +7,4 % | -17,7 % | +19,0 % |

Tabelle 7: Jahreszeitliche Niederschlagsänderungen 2091–2100 gegenüber 1981–1990 nach WETTREG

| | Winter | Frühjahr | Sommer | Herbst |
|-----------|---------|----------|-----------|----------|
| A2 | 25-35 % | ± 5 % | - 25-35 % | - 5-15 % |
| B1 | 15-25 % | ± 5 % | - 15-25 % | ± 5 % |

Während für die Wintermonate eine Zunahme der Niederschlagsmengen prognostiziert wird, sinkt gleichzeitig der **Schneefall**. Für die Alpen errechnet REMO einen Rückgang des Schneeanteils an der Gesamtniederschlagsmenge auf 15 – 21% im Vergleich zu 30% im Referenzszenario. Dies bedeutet, dass die Schneefallmenge insgesamt sinkt, obwohl die Winterniederschlagsmenge ansteigt. Das höhere Temperaturniveau im Frühjahr führt außerdem zu einem schnelleren Abschmelzen der Schneedecke im Frühjahr, so dass die mittleren Schneehöhen sowie die Anzahl der Tage mit mindestens 3 cm Wasseräquivalent Schneebedeckung (Schneetage) insgesamt sinken. Die Szenarien A1B und A2 zeigen ähnliche Werte für den Rückgang der Schneetage von bis zu 40 Schneetagen weniger in den deutschen Alpen und in den Mittelgebirgen und zwischen 20 und 30 Tagen weniger im Flachland. Bis zum Ende des Jahrhunderts sinkt die mittlere Anzahl der Schneetage damit in flachen Gebieten auf Werte nahe Null. Szenario B1 prognostiziert Rückgänge in den Alpen und in den Mittelgebirgen um 30 Tage und im Flachland um bis zu 20 Tage.

2.3.3 Extremwerte und Extremereignisse

Für die Analyse der wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels sind die Veränderungen der Mittelwerte bei Temperatur und Niederschlag wenig aussagekräftig; entscheidend ist dagegen in der Regel, wie sich die Extremwerte verändern (z.B. das Temperaturmaximum eines Jahres), wie oft und in welchem Ausmaß Extremereignisse zu erwarten sind (z.B. Stürme, Sturmfluten oder Hochwasser) und wie die verschiedenen klimatischen Parameter zusammenwirken. So ist z.B. für die Untersuchung der Gesundheitsauswirkungen der Wert der „gefühlten Temperatur“ maßgeblich – eine Kombination aus Temperaturanstieg, Luftfeuchte und Windstärke.

Leider können die derzeit vorhandenen Klimamodelle Extremwerte und besonders Extremereignisse nur sehr begrenzt und in vielen Fällen überhaupt nicht prognostizieren. Der Grund dafür ist, dass diese Ereignisse in der Regel lokalen Wetterlagen entspringen, so dass ihre Modellierung einer extrem hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung bedarf. Die Modellergebnisse müssen daher durch Trendanalysen der Vergangenheit ergänzt werden.

Temperaturrextreme – Zunahme der Hitzeperioden

Der REMO-Studie zufolge liegen im Mittel des Modellgebiets die absoluten **jährlichen Temperaturmaxima** in der Periode 2071-2100 um 4 °C (Szenario B1) bzw. mehr als 6 °C

(Szenario A2) höher als im Durchschnitt der Jahre 1961-1990. Gleichzeitig geht die Zahl der **Eistage** (Maximum der Tagestemperatur $\leq 0\text{ °C}$) und **Frosttage** (Minimum der Tagestemperatur $\leq 0\text{ °C}$) zum Ende des 21. Jahrhunderts sehr deutlich zurück (vgl. Tabelle 8). Leider liegen noch keine ausgewerteten REMO-Daten zur Entwicklung von Sommertagen (Maximaltemperatur $\geq 25\text{ °C}$) und heißen Tagen (Maximaltemperatur $\geq 30\text{ °C}$) vor (Jacob et al. 2008). Hierzu werden daher die Ergebnisse von WETTREG und Modellierungen für Baden-Württemberg und Bayern des KLIWA-Projektes herangezogen (Arbeitskreis KLIWA 2006b). Die Werte sind allerdings nicht direkt mit REMO vergleichbar, da bei KLIWA das moderate Szenario B2 benutzt wurde und WETTREG insgesamt geringere Temperaturanstiege liefert als REMO.

Für die Periode 2021-2050 (im Vergleich zu 1971-2000) zeigt die Modellierungen des KLIWA-Projektes deutliche Zunahmen der **Anzahl von Sommertagen** und eine Verdopplung der **Anzahl von heißen Tagen**. Die **maximale Andauer von Perioden mit Sommertagen** erhöhte sich im Modell für Bayern und Baden-Württemberg um mehr als 1/4 von 16,4 auf 20,7 Tage, während die Dauer von Perioden mit heißen Tagen nahezu gleich blieb. WETTREG zeigt für das Binnenland ebenfalls einen starken Anstieg der heißen Tage bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 100%, während in den Küstenregionen nur eine geringe Zunahme von heißen Tagen zu verzeichnen ist. Dafür ist eine wesentlich stärkere **Zunahme von Tropennächten** (Temperatur bleibt über 20 °C) zu erwarten, örtlich bis auf das 9-fache des Wertes der Referenzperiode (Spekat et al. 2007).

Tabelle 8: Prognosen für ausgewählte Extremwertindizes nach dem REMO-Modell

| Index | Definition | Mittel 1961 –90 | Mittel 2071-2100 | |
|-------------------------------------|---|-----------------|------------------|---------|
| | | | B1 | A2 |
| Abs. Temperaturmaximum (°C) | absolutes jährliches Temperaturmaximum | 36,3 | 40,3 | 42,5 |
| Frosttage pro Jahr | Minimum der Tagestemperatur kleiner gleich 0 °C | 45,3 | 12,2 | 13,3 |
| Max. 1-Tagesniederschlag p.a. (mm) | Absolutes jährliches Maximum der Tagesniederschläge | 40,1 | 47,8 | 47,1 |
| Max. 5-Tagesniederschläge p.a. (mm) | Absolutes jährliches Maximum der 5-Tagesniederschläge | 73,8 | 79,6 | 79,6 |
| HumIndex Sommer (°C) | Maß für gefühlte Temperatur, berücksichtigt Lufttemperatur und Luftfeuchte | 26,6 | 28,9 | 28,6 |
| Gradtagzahl (GTZ) pro Jahr | Summe aus der Differenz von 20 °C Heiztemperatur und der Tagesmitteltemperatur für Tage unter 15 °C | 3.788,0 | 2.719,7 | 2.761,4 |

Nach der WETTREG-Studie treten insbesondere im Binnenland **Hitzeperioden** zum Ende des 21. Jahrhunderts deutlich häufiger auf¹⁷ und auch die Länge der Hitzewellen nimmt zu. Eine Untersuchung für die Schweiz, in der die Ergebnisse eines regionalen Klimamodells für ganz Europa mit Länge und Intensität der Hitzeperiode von 2003 verglichen werden, kommt zu dem Schluss, dass vergleichbare Hitzewellen gegen Ende des Jahrhunderts mit größerer Regelmäßigkeit auftreten könnten, weil die erwarteten Durchschnittswerte Ende des

¹⁷ In der Region Oberrheingraben zum Beispiel sind Ende des 21. Jahrhunderts 2-3-mal häufiger Hitzeperiode zu erwarten als in der Referenzperiode (Szenario A1B).

Jahrhunderts den 2003 erreichten Extremwerten ähneln (Beniston 2004). Der Autor benutzt ebenfalls das Szenario A2, kommt aber zu höheren Zunahmen bei den heißen Tagen, da das Modellgebiet ganz Europa umfasst und im Mittelmeerraum höhere Zunahmen erwartet werden. Als Grundlage für die Berechnung der wirtschaftlichen Schäden in dieser Studie wird daher für Deutschland die Annahme getroffen, dass Hitzewellen wie 2003 im Jahr 2050 jedes 4. Jahr und 2100 einmal in anderthalb Jahren auftreten (vgl. Tabelle 9).

Trockenheiten – kein klarer Trend

Nach der REMO-Studie ändert sich die **Länge der Trockenperioden** (= zusammenhängende Tage mit Niederschlagsmengen $< 0,1$ mm/Tag) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts in den meisten Gebieten Deutschlands unter allen Szenarien kaum und nimmt tendenziell ab. Modellierungen für Bayern und Baden-Württemberg unter dem Szenario B2 zeigen bis 2050 eine geringfügige Zunahme der Dauer von Trockenperioden im Sommer und im Winter eine geringe Abnahme. Die **Anzahl von Trockentagen** nimmt im Gebietsmittel im Sommerhalbjahr um ca. 5% zu und im Winterhalbjahr um 6% ab (Arbeitskreis KLIWA 2006b).

Starkregenereignisse – Zunahme in Häufigkeit und Intensität

Sowohl Trendauswertungen der Vergangenheit als auch Modellierungen lassen auf eine Zunahme von Starkregenereignissen in Häufigkeit und Ausmaß schließen. Der REMO-Studie zufolge fallen im Mittel des Modellgebiets die jährlichen Tagesniederschlagsmaxima in der Periode 2071-2100 bei Betrachtung der Szenarien B1 und A2 um 18-19% höher aus als im Durchschnitt der Jahre 1961-1990. Für die höchste 5-Tages-Niederschlagssumme wurde unter beiden Szenarien eine Zunahme um rund 8% berechnet. Deutliche Trends wurden ebenfalls im Rahmen des KLIWA-Projektes für Bayern und Baden-Württemberg ermittelt: Bereits Auswertungen der Niederschlagstrends im Verlauf des 20. Jahrhunderts zeigen eine deutliche Zunahme von Starkniederschlägen im Winterhalbjahr (Arbeitskreis KLIWA 2006a). Modellierungen bis 2050 zufolge wird die Häufigkeit von Starkniederschlägen im Winterhalbjahr in der Region fast flächendeckend zunehmen; während die Zunahmen für den größten Teil des Gebiets gering sind, können sie örtlich 75% erreichen (Arbeitskreis KLIWA 2006b). Aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung (nur Tages- keine Stundenwerte) lassen sich über das WETTREG-Modell keine klaren Aussagen zum Extremniederschlag im Verlauf des 21. Jahrhunderts machen.

Stürme – Trend zu stärkeren Winterstürmen

Zur zukünftigen Häufigkeit und Intensität von Stürmen erlauben die UBA-Studien kaum Aussagen, da sie lediglich Tagesmittel der Windgeschwindigkeit betrachten. Anderen Quellen zufolge muss im Laufe des 21. Jahrhunderts mit einer Zunahme der Wintersturmaktivität gerechnet werden (Münchener Rück 2008; Pinto et al. 2007). Dies betrifft in Europa die mittleren Breiten, während für die polaren und mediterranen Regionen Abnahmen modelliert wurden. Zunehmen wird den Modellierungen zufolge in erster Linie die Geschwindigkeit starker Stürme, weniger die Häufigkeit. Andererseits ergaben Modellierungen zum Sturmflutgeschehen durchaus eine deutlich gesteigerte Häufigkeit (vgl. den folgenden Absatz).

Sturmfluten – langfristiger Trend umstritten

Für die schleswig-holsteinische Nordseeküste kamen Modellierungen unter dem Hochemissions-Szenario A2 (Woth et al. 2006) zu dem Ergebnis, dass schwere Sturmfluten bis Ende 2100 um 50 bis 100% häufiger werden könnten, ihre Dauer um 50% und die Höhe (den Meeresspiegelanstieg nicht eingerechnet) um 20% zunehmen könnte. Auswertungen von Tendenzen der Vergangenheit (BSH 2005; Hofstede 2007; NLWKN 2008) kamen nicht durchgehend zu dem Schluss, dass sich eine langfristige Zunahme des Sturmflutgeschehens feststellen lässt; langfristige Trends werden hier stark durch zyklische Zu- und Abnahmen überlagert.

Hochwasser – flussspezifische Modellierung notwendig

Für Flusshochwasser kann eine genauere Quantifizierung nur auf Basis der Charakteristika der jeweiligen Flussläufe vorgenommen werden. Regionale Modellierungen aus Bayern und Baden-Württemberg haben ergeben, dass die Höhe hundertjähriger Hochwasser unter einem moderaten Klimaszenario bereits zur Mitte des 21. Jahrhunderts um 15 bis 25% zunehmen wird (Hennegriff et al. 2006; Hennegriff/Kolokotronis 2007; Hennegriff/Reich 2007). Modellierungen im europäischen Maßstab ergaben unter dem Szenario A2 Zunahmen der Höhe hundertjähriger Hochwasser bis Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 40% in den Einzugsgebieten von Elbe und Oder, im Wesereinzugsgebiet dagegen Abnahmen um ebenfalls bis zu 40% (EEA 2008).

2.3.4 Abschätzungen zum Meeresspiegelanstieg

Prognosen zum Meeresspiegelanstieg an den deutschen Küsten lassen sich nicht auf Basis einfacher klimatologischer und meteorologischer Zusammenhänge machen, sondern sind von einer Vielzahl komplexer Faktoren abhängig, die von Abschätzungen zum Abschmelzen der Eisschilder über lokale Hebungs- und Senkungsbewegungen bis hin zu differenzierten Abschätzungen regionaler Windverhältnisse etc. reichen. Gegenwärtig gibt es keine solide Grundlage, um den SRES-Szenarien einigermaßen verlässliche Daten zum zukünftigen regionalen Meeresspiegelanstieg zuzuordnen. Auch auf globaler Ebene sind die Unsicherheiten, vor allem hinsichtlich der Dynamik der Eisschilder, gegenwärtig noch so groß, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien demgegenüber als nachrangig erscheinen.

Der IPCC prognostiziert in seinem Bericht von 2007 einen Meeresspiegelanstieg zwischen 0,18 und 0,59 cm bis zum Ende des Jahrhunderts. Allerdings berücksichtigt diese Schätzung nicht das mögliche Kollabieren der grönländischen und antarktischen Eisschilder. Die IPCC-Werte sind in der Literatur stark kritisiert worden und neuere Publikationen nennen wesentlich höhere Werte von 50 bis maximal 140 cm Anstieg gegenüber 1990 (Rahmstorf 2007). Die Diskussion wird in Anhang 1 ausführlich dargestellt.

Um trotz der strittigen Datenlage mit Zahlen arbeiten zu können, wird in dieser Studie als **unterer Schätzwert** rund **20 cm** Meeresspiegelanstieg bis 2100 zugrunde gelegt, da ein Wert in dieser Größenordnung in den meisten Veröffentlichungen als untere Grenze des zu Erwartenden genannt wird. Schwieriger ist die Frage nach einem **oberen Schätzwert**, da hier die Schätzungen extrem weit auseinandergehen. Hier sollen **100 cm** angesetzt werden, die zwar deutlich über den letzten IPCC-Werten liegen, in einigen aktuellen Studien jedoch

noch überschritten werden. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass Maßnahmen des Küstenschutzes sich tendenziell an oberen Schätzwerten für die langfristige Entwicklung orientieren müssen, um ausreichend Sicherheit zu bieten.

Für Nord- und Ostsee soll keine Differenzierung vorgenommen werden, da die Anhaltspunkte hierfür sehr unsicher sind. Besonders in der Ostsee sind jedoch deutliche Abweichungen vom globalen Meeresspiegelanstieg möglich.

2.4 Die Szenariendaten im Überblick

Tabelle 9 fasst die Eckdaten der Szenariendefinition zusammen, die im Folgenden als Grundlage dienen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf Wirtschaft und öffentliche Hand zu bewerten. Zu Grunde liegen die globalen sozio-ökonomischen Daten und die Treibhausgasentwicklung der ausgewählten IPCC-Szenarien A2 und B1. Die Annahmen zur Klimaauswirkung in Deutschland entstammen den regionalen Klimamodellen WETTREG und REMO (vgl. Kap. 2.1-2.3).

Tabelle 9: Die Szenariendaten im Überblick

| | Deutschland | | Global | |
|--|--|---|------------------------------------|---|
| | 2050 | 2100 | 2050 | 2100 |
| BIP-Wachstum | 2011 – 2050: 1% | 2051 – 2100: 0,5% | 2,0 – 2,5% p.a. | |
| Bevölkerung | ca. 75 Mio. | ca. 65 Mio. | 8 – 11 Mrd. | 7 – 15 Mrd. |
| CO ₂ -Emissionen ¹ | nicht relevant | | B1: 11 Mrd. tC A2: 17,5 Mrd. tC | 4 Mrd. tC 29 Mrd. tC |
| Temperatur ² | 1,5°C [1,0–1,6] | 2°C [1,5–3,5] | | 1,1 – 5,4 °C |
| Niederschlag ³ | Jahresmittel +/-0 Winter: +7–14% Sommer: -12–16% | Jahresmittel +/-0 Winter: +15–35% Sommer: -15–35% | | starke regionale Unterschiede: -20 – +20% |
| Meeresspiegel- anstieg ⁴ | | 20–100 cm | | IPCC: 0,18–0,51 cm Lit.: bis 140 cm |

¹Aus IPCC (2000). Zum Vergleich: Im Jahr 2000 lagen die CO₂-Emissionen bei 8 Mrd. t C.

²Deutschland: Jahresmittel 2021–2050 bzw. 2071–2100 gegenüber der Kontrollperiode 1961-1990 für A1B, A2 und B1 auf Basis von REMO und WETTREG. Global: Jahresmittel 2090 – 2099 gegenüber 1980 – 1999 für B1 und A2 nach IPCC (2007).

³Deutschland: Mittel 2041–2070 bzw. 2071–2100 gü. 1961-1990 für B1 und A2 auf Basis von WETTREG. Global: IPCC (2007).

⁴Deutschland: Annahme Projektteam (siehe Tabelle 9). Global: Anstieg nach IPCC (2007) ohne beschleunigten Eisfluss für B1 und A2, Literatur u.a. Rahmstorf (2007).

In mehreren Fallstudien ist eine Quantifizierung für die betrachteten Zeitpunkte nur über die Hochrechnung von Schäden bisheriger Extremereignisse möglich. Obwohl bisher kaum belastbare Modellierungen für Extremereignisse vorliegen, müssen wir für die Untersuchung der Schäden Annahmen zur Eintrittswahrscheinlichkeit von Hitzewellen, Hochwasserereignissen und Stürmen treffen. Wie die vorangegangenen Ausführungen gezeigt haben, kann die Klimaforschung auf regionaler Ebene bisher nur über die Eintrittswahrscheinlichkeit von Hitzewellen relativ sichere Aussagen treffen.¹⁸ Hochwasserereignisse und Stürme sind dagegen in den Klimamodellen noch nicht prognostizierbar und werden deshalb basierend auf Expertenmeinungen geschätzt. Die Annahmen bilden eine mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit ab.

Tabelle 10: Annahmen zur Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen

| Extremereignis | Referenzereignis | 2050 | 2100 |
|----------------|---|-----------------|--|
| Hitzewellen | Hitzesommer 2003 | jeder 4. Sommer | 2080: jedes 2. Jahr 2100: jedes 1;5. Jahr |
| Hochwasser | Elbehochwasser 2002 | jedes 5. Jahr | jedes 2. Jahr |
| Stürme | Kyryll 2007, Jeanette 2002, Lothar 1999 | jedes 2. Jahr | jedes Jahr |

¹⁸ Beniston (2004); Munich Re (2006); Munich Re (2007).

3 Qualitative und quantitative Analyse der Wirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Haushalte

3.1 Methodische Vorgehensweise

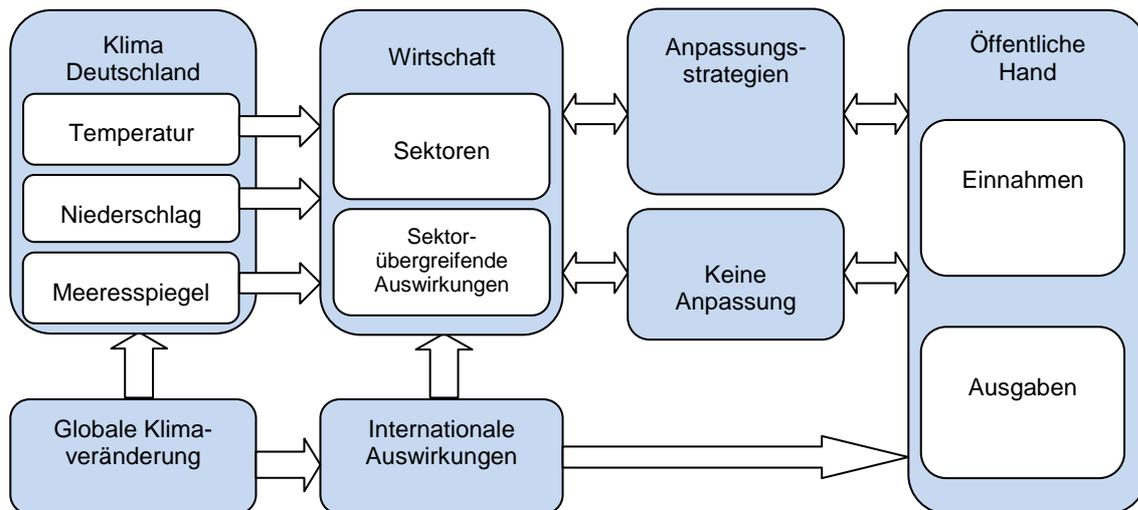
3.1.1 Qualitative Bewertung – Struktur der Kausalketten

In der qualitativen Bewertung werden die kausalen Wirkungszusammenhänge analysiert, durch die der Klimawandel das Volumen des öffentlichen Haushalts verändert. Zu diesem Zweck werden die Auswirkungen der Klimaänderungen auf relevante Wirtschafts- und Lebensbereiche in Form von Fallstudien untersucht. Ziel ist es, durch die Summe der Fallstudien alle für die öffentlichen Haushalte relevanten Bereiche abzudecken, in denen signifikante Klimaauswirkungen zu erwarten sind. Um der Komplexität der Wechselwirkungen zwischen Klimasystem, Wirtschaft und öffentlichem Haushalt gerecht zu werden, **wird jede Fallstudie nach einem festgelegten Raster vier aufeinanderfolgender Schritte untersucht** (Abbildung 9).

Ausgangspunkt ist jeweils die physische Veränderung des Klimas durch den Treibhauseffekt. Die Basis hierfür liefern die in Kapitel 2 definierten Szenarien auf Grundlage der IPCC-Szenarien A2 und B1. Im zweiten Schritt werden die Auswirkungen der Klimaänderung auf die verschiedenen Wirtschaftssektoren sowie gesamtwirtschaftliche Effekte untersucht, wobei davon ausgegangen wird, dass sowohl der Wirtschaft als auch öffentlichen Institutionen eine Reihe von Anpassungsoptionen zur Verfügung steht. Diese verschiedenen Anpassungsstrategien werden im 3. Schritt dargestellt und qualitativ auf ihre fiskalischen Konsequenzen hin untersucht. Neben den nationalen Auswirkungen wird zudem auch die internationale Dimension des Klimawandels untersucht. Beim 4. Untersuchungsschritt stehen schließlich die Auswirkungen auf Einnahmen und Ausgaben der öffentlichen Hand im Zentrum der Analyse. Die einzelnen Arbeitsschritte werden im folgenden Abschnitt detailliert dargestellt.

Zwischen den einzelnen Untersuchungsbereichen gibt es verschiedene **Wechselwirkungen**, denen in der Studie nicht vollständig Rechnung getragen werden kann. So werden z.B. die Wechselwirkungen zwischen Anpassungsmaßnahmen und dem Klimasystem vernachlässigt, obwohl es hier durchaus Feedbacks gibt – so könnten etwa als Anpassung an häufige Hitzeperioden großflächig stromintensive Klimaanlage eingeführt werden, die dann zu einem weiteren Anstieg der Treibhausgasemissionen führen würden. Diese Rückwirkung bleibt hier jedoch außer Betracht. Bei den internationalen Wirkungszusammenhängen werden ebenfalls nur die Auswirkungen auf Deutschland, nicht aber die Wirkung deutscher Interventionen auf die wirtschaftliche Lage der restlichen Welt berücksichtigt.

Abbildung 9: Schema der kausalen Wirkungszusammenhänge



Ziel der qualitativen Analyse ist es, die Vielfalt und Komplexität der Wirkungszusammenhänge aufzuzeigen, auch dann, wenn es nicht möglich ist, die Wirkungen zu quantifizieren. In den hier zu Grunde gelegten Szenarien nehmen die Klimaveränderungen bis zum Ende des Jahrhunderts kontinuierlich zu. Daher werden auch viele Auswirkungen auf Wirtschaft und öffentliche Haushalte erst mittel- und langfristig auftreten. Sofern für das betrachtete Phänomen zeitlich aufgelöste Daten vorliegen oder abgeschätzt werden können, werden in den Fallstudien die **Zeitpunkte 2050 und 2100 als repräsentative Querschnitte** betrachtet. Regionale Unterschiede in den Auswirkungen sind ebenfalls relevant – etwa im Bereich des Tourismus oder der Landwirtschaft – und werden schlaglichtartig beleuchtet.

Grundlage und Ausgangspunkt der Überlegungen sind die in Kapitel 2 beschriebenen **Klimaprognosen auf Grundlage der IPCC-Szenarien A2 und B1** sowie die Annahmen zur Eintrittswahrscheinlichkeit von Hitzewellen, Stürmen und Hochwasser (vgl. Tabelle 10). Für die nachfolgende Untersuchung der sozio-ökonomischen Folgen werden die Klimaveränderungen unter dem Szenario B1 als unterer und unter dem Szenario A2 als oberer Schätzwert angenommen (vgl. Tabelle 36). Bei allen aus der Literatur entnommenen Schätzungen zu den Wirkungen wird geprüft, inwieweit die zugrunde liegenden Annahmen zu Klimaveränderung und sozio-ökonomischer Entwicklung mit den Annahmen dieser Studie konsistent sind. Gegebenenfalls werden Anpassungen vorgenommen.

Abbildung 10 zeigt die besonders vom Klimawandel betroffenen Sektoren der deutschen Wirtschaft im Überblick. Grundlage der Auswahl bilden die folgenden Kriterien:

- relative Bedeutung der Sektoren für die Gesamtwertschöpfung;
- Verwundbarkeit der Sektoren nach bisherigen Erkenntnissen;
- Bedeutung des Sektors für die Region oder Bevölkerungsgruppe.

Die **Sektorendefinitionen** basieren auf den Wirtschaftsbereichen, die das Statistische Bundesamt für die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen benutzt.¹⁹ Dies hat den Vorteil, dass Überlappungen ausgeschlossen sind und die Daten zur Wertschöpfung vorliegen.

¹⁹ Statistisches Bundesamt (2009a).

Daneben sind **sektorübergreifende Wirkungen** zu untersuchen, die Einfluss auf die Bilanz mehrerer oder aller Sektoren haben. Beispiele hierfür sind der hitzebedingte Rückgang von Arbeitsproduktivität oder der Anstieg von Krankheitstagen, verringerte Heizkosten oder die Auswirkung von Problemen bei der Verkehrsinfrastruktur, beispielsweise in der Folge von Extremwetterereignissen.

Grundsätzlich ist zwischen Wirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Ausgaben (direkter Effekt) und auf die Einnahmen der öffentlichen Hand (indirekter Effekt) zu unterscheiden. Bei beiden Effekten werden positive ebenso wie negative Einflüsse betrachtet. Im Unterschied zu vollständigen Kosten-Nutzen-Analysen wie etwa im Stern Review werden allerdings nur solche Auswirkungen untersucht, die in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen erfasst werden (siehe dazu auch Kapitel 3.1.2).

Bei den indirekten Effekten auf die öffentlichen Einnahmen über Wertschöpfungswirkungen sind die folgenden Wirkungsmuster wichtig:

Der Klimawandel führt zu Schäden am Kapitalstock von Unternehmen, Haushalten und der öffentlichen Hand (Gebäude, Kfz, industrielle Anlagen, Infrastruktur, Landverluste bzw. Rückgang im Bodenwert). Für die Reparatur von Schäden im Kapitalstock oder Ersatz werden Mittel von Haushalten und Unternehmen benötigt, die ohne Klimaschäden für andere Zwecke verwendet worden wären. Je nachdem ob die Schadensreparaturen oder die ohne Klimaschäden alternativ konsumierten Güter in Deutschland wertschöpfungsintensiver sind, kann in der kurzen Frist die Wertschöpfung in Deutschland steigen oder sinken. Wenn die Haushalte gebundene Ausgaben für klimabedingte Reparaturen etc. tätigen müssen, bleibt bei konstanter Sparquote jedoch weniger Budget für die bisherigen Konsumausgaben.

Wenn die Unternehmen solche Zusatzausgaben für Reparaturen oder Ersatz des Kapitalstocks aufweisen, binden sie Mittel, die für andere (produktivere) Investitionen nicht mehr oder nur noch zum Teil zur Verfügung stehen. Solche durch den Klimawandel bedingte „Zwangsinvestitionen“ können Investitionspläne der Unternehmen verlangsamen, was die Produktivität und den technologischen Fortschritt gegenüber einer Entwicklung ohne Klimawandel negativ beeinflussen kann. Das bedeutet, dass der Klimawandel dazu führen kann, dass ein Teil der Investitionen für „unproduktive“ Reparatur- und Schadensbehebungsmaßnahmen eingesetzt werden muss, die zwar kurzfristig durchaus auch mit Wertschöpfung und Beschäftigung verbunden sind, aber längerfristig vermutlich zu einem geringeren technologischen Fortschritt und somit zu einem geringeren Produktionspotenzial führen, als wenn die Unternehmen und der Staat diese Investitionssummen frei hätten investieren können. Gegenüber dem Referenzszenario ergibt sich somit langfristig eine Minderung des Wirtschaftswachstums durch klimabedingte Schäden.

Daneben können Wertschöpfungsverluste auch durch Produktionsausfälle (kurzfristig) entstehen, wenn z.B. ein Produktionsgelände überschwemmt wird oder wegen Instandsetzungsarbeiten vorübergehend geschlossen werden muss.

Demgegenüber stehen direkte und indirekte wirtschaftliche Nutzen aus den Folgen des Klimawandels. Direkte Nutzen entstehen beispielsweise aus der Minderung des Heizbedarfs in öffentlichen Gebäuden; indirekte Nutzen durch höhere Umsätze im Tourismus oder steigende Erträge in der Land- und Forstwirtschaft. Sofern Daten zu positiven Effekten bekannt sind, wurden diese ebenfalls in den Fallstudien berücksichtigt.

Auswirkungen auf **nicht-marktgängige Güter sowie Verschiebungen wirtschaftlicher Aktivität von einem Sektor in einen anderen bleiben außer Betracht**, da dadurch keine direkten Auswirkungen auf das Volumen der öffentlichen Haushalte zu erwarten ist. Das heißt, es sind insbesondere solche Ausgaben interessant, die in einem Referenzszenario ohne Klimawandel nicht notwendig gewesen wären und daher für andere Investitionen zur Verfügung gestanden hätten. Findet ausschließlich eine Substitution statt – beispielsweise zwischen zwei Tourismusgebieten – wird dies in der Gesamtbetrachtung nicht berücksichtigt.

Abbildung 10 zeigt die zehn Fallstudien im Überblick. Jeweils ein bzw. zwei verwandte Sektoren werden in einer Fallstudie behandelt, wobei jeweils alle Klimaeinflüsse untersucht werden, die in diesem Sektor potenziell Auswirkungen haben könnten. Eine Ausnahme bildet der Meeresspiegelanstieg. Da die Wirkungen hier klar geographisch und sektoral abzugrenzen sind, werden alle sozio-ökonomischen Folgen des Meeresspiegelanstiegs in einer Fallstudie untersucht. Diese gesonderte Vorgehensweise ist zudem auch deshalb gerechtfertigt, weil die gesamte vorhandene Literatur die Folgen von Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten gemeinsam betrachtet und in den Schadensschätzungen kaum sektorale Aufgliederungen zu finden sind. Die internationalen Rückwirkungen auf die deutsche Wirtschaft und die öffentliche Hand stellen ebenfalls einen Sonderfall dar. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, werden sie in den sektoralen Fallstudien ausgeklammert und in einer gesonderten Fallstudie betrachtet.

Insgesamt wurden in zehn Bereichen Fallstudien durchgeführt:

- | | |
|---|--------------------------------|
| (1) Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten; | (6) Tourismus; |
| (2) Auswirkungen auf Gebäude; | (7) Verkehr; |
| (3) Land- und Forstwirtschaft; | (8) Versicherungsgewerbe; |
| (4) Energieversorgung; | (9) Gesundheit; |
| (5) Wasserversorgung; | (10) Internationale Einflüsse. |

Der Klimawandel stellt Deutschland vor große Herausforderungen; gleichzeitig trifft er aber nicht auf ein starres System. Gut durchdachte **Anpassungsmaßnahmen** können die sozio-ökonomischen Auswirkungen der Klimaveränderung abfedern und dadurch auch die Belastung für den Staatshaushalt eindämmen. Dabei kann zum Teil auf Erfahrungen anderer Länder - etwa im Mittelmeerraum - zurückgegriffen werden, in denen schon heute Durchschnittstemperaturen herrschen, wie sie sich in Deutschland bei ungebremstem Klimawandel zum Ende des Jahrhunderts einstellen könnten. Vergleichbarkeit ist allerdings nur begrenzt gegeben. Nach bisherigem Kenntnisstand wird sich die Klimaänderung nicht nur in steigenden Mitteltemperaturen manifestieren, sondern die Variabilität des Klimas wird insgesamt zunehmen und Extremereignisse wie Stürme und Hochwasser werden häufiger und intensiver auftreten. Es sind demnach grundlegend neue Bedingungen zu erwarten, die mit dem heutigen Klima im Mittelmeerraum nur sehr bedingt vergleichbar sind. Zum anderen ist natürlich der Prozess der Anpassung an sich eine große Herausforderung: Während Länder und Regionen mit wärmerem Klima ihre gesamte Infrastruktur und ihren Lebensstil über Jahrhunderte auf die vorherrschenden Bedingungen abgestimmt haben, muss die

Anpassung in Deutschland in einem viel kürzeren Zeitraum geplant, umgesetzt und finanziert werden.

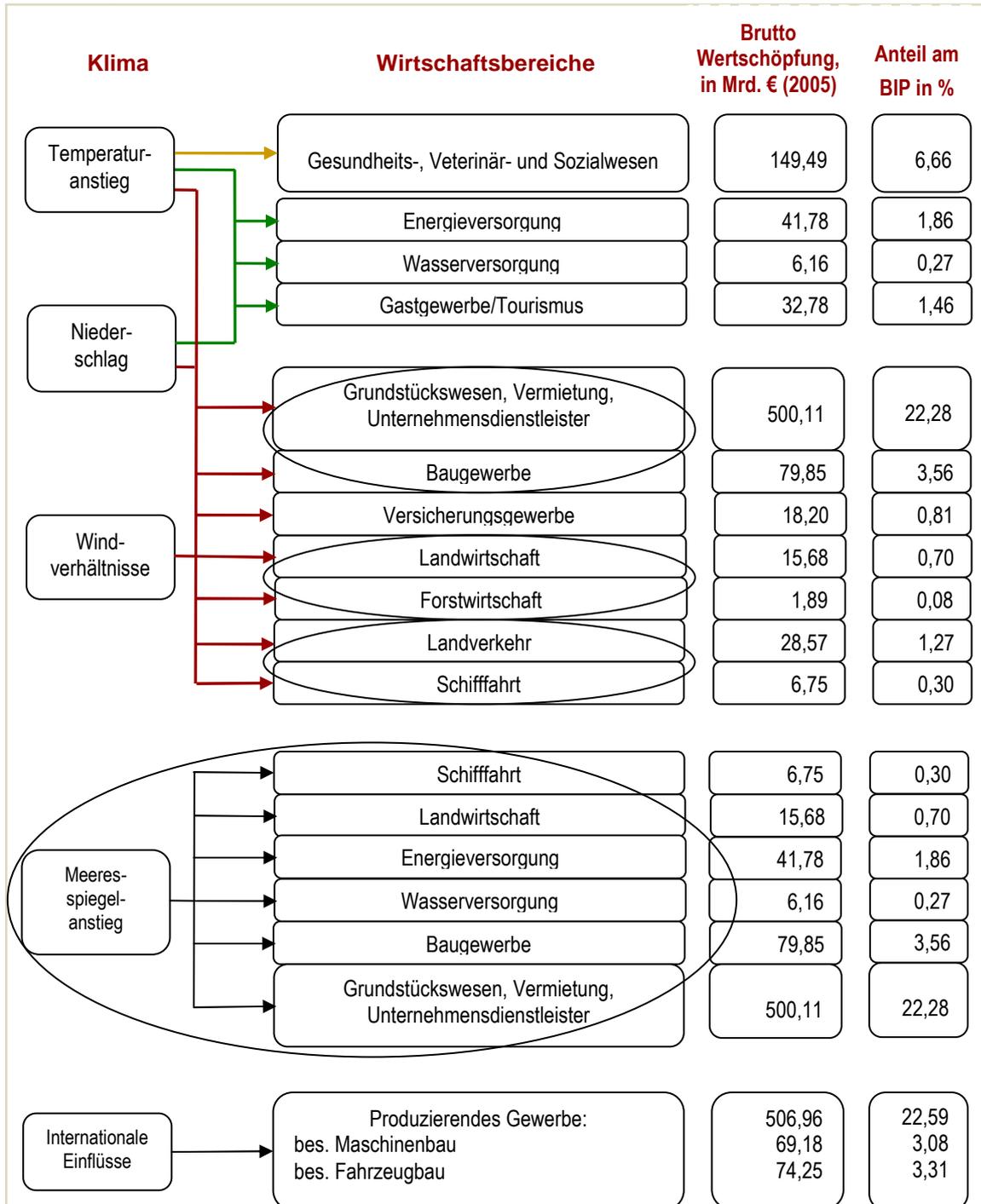
Die qualitative Analyse der Anpassungsoptionen soll in erster Linie dazu dienen, Handlungsspielräume zu illustrieren und Fälle zu untersuchen, in denen qualitativ neue Aufgaben auf den Staat zukommen könnten, weil private Märkte zusammenbrechen (z.B. der Versicherungsmarkt für Immobilien in stark hochwassergefährdeten Küstenzonen).

Eine detaillierte ökonomische Kosten-Nutzen-Bewertung von Anpassungsmaßnahmen gehört nicht zu den Zielen dieser Studie. Umgekehrt erscheint es jedoch auch wenig plausibel anzunehmen, dass Unternehmen, Konsumenten und die öffentliche Hand nicht auf die Herausforderungen des Klimawandels reagieren. Wo bereits Umweltinfrastrukturen bestehen wie etwa beim Küstenschutz, kann davon ausgegangen werden, dass steigende Sturm- und Überflutungsschäden nicht einfach hingenommen, sondern die Schutzmaßnahmen gemäß den Prognosen zum Meeresspiegelanstieg ausgeweitet werden. In dieser Studie berücksichtigen wir deshalb Kostenschätzungen für die Ausweitung bestehender Schutz- und Anpassungsmaßnahmen und beziehen sie in die Quantifizierung mit ein. Neue und bisher unerprobte Instrumente können dagegen nur in der qualitativen Analyse berücksichtigt werden.

Im letzten Schritt wird analysiert, wie sich die in den einzelnen Wirkungsbereichen festgestellten wirtschaftlichen Folgen auf die **öffentlichen Finanzen** auswirken. Dabei wird nach Wirkungen auf der Ausgaben- und Einnahmenseite unterschieden:

Ausgabenseite: Zum einen entstehen für die öffentliche Hand Ausgaben im Bereich von Anpassungsmaßnahmen und dem Wiederaufbau von Infrastrukturen. Zudem können auf die öffentliche Hand verstärkte Hilfszahlungen zukommen, wenn Extremereignisse wie Überschwemmungen oder starke Stürme zu nicht-versicherten Schäden bei Privaten führen. Diese erhöhten Ausgaben durch Klimawirkungen verdrängen andere Ausgaben des Staates (z.B. in Forschung und Bildung) oder müssen durch höhere Steuern oder über Schulden finanziert werden. In einzelnen Bereichen sind durch positive Effekte im geringen Umfang auch Entlastungen zu erwarten, wie etwa in der Bauwirtschaft.

Abbildung 10: Wirtschaftsbereiche und Fallstudien im Überblick



Erläuterung: Die Kreise verweisen auf sektor-übergreifende Fallstudien.

Einnahmenseite: In vielen Bereichen wirkt sich der Klimawandel auf Produktivität und BIP aus. Dies führt über mehrere Kanäle (v.a. Einkommenssteuer, direkte Steuern auf Unternehmen, indirekte Steuern, Sozialversicherungsbeiträge) zu einer Veränderung von Steueraufkommen und Beiträgen der gesetzlichen Sozialversicherungen.

Als Fazit der qualitativen Analyse wird die **Signifikanz des jeweiligen Wirkungszusammenhangs** für die öffentliche Hand bewertet und der Grad der Unsicherheit der resultierenden Aussagen grob abgeschätzt. Diese Analyse liefert das Gerüst für die **Quantifizierung** der Klimaauswirkungen auf die öffentliche Hand. Sie dient aber auch zur Bewertung von Elementen, die auf Grund fehlender Daten nicht quantifiziert werden können.

3.1.2 Quantifizierung der Wirkungen – Vorgehensweise

Bei der Quantifizierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen wird in zwei Schritten vorgegangen. Im einem **ersten Schritt** werden bestehende Studien zu wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels für bestimmte Sektoren oder Wirkungskanäle analysiert (z.B.: Studie zu den nationalen Einflusskanälen des Klimawandels in der Schweiz, Ecoplan 2007 oder WWF 2007 zu Auswirkungen auf die Gesundheit). Für die Bewertung von Extremereignissen werden zudem Angaben der Versicherungsgesellschaften herangezogen, die Daten über die Versicherungsschäden von vergangenen Ereignissen enthalten. Hauptsächlich wird auf die Münchener-Rück-Datenbank der Naturkatastrophen und Studien der Swiss Re zurückgegriffen.²⁰

Im **zweiten Schritt** erfolgt – sofern notwendig – die Übertragung der Ergebnisse auf Deutschland. Teilweise liefern die bestehenden Studien Ergebnisse nur für einzelne Regionen oder aber in einer gröberen geographischen Auflösung für ganze Weltregionen, wie es bei Anwendung von allgemeinen Gleichgewichtsmodellen in der Regel der Fall ist. Für diese Ergebnisse erfolgt für Deutschland mit Hilfe von Annahmen zur Vulnerabilität ein up- bzw. down-scaling. Für Studien aus dem Ausland wird geprüft, ob und wie die Ergebnisse auf Deutschland übertragen werden können. Bei der Quantifizierung werden zudem die Wirkungen der internationalen Einflusskanäle (Handelsströme) analysiert. Die verwendete Methodik für die Analyse der Wirkungen über die internationalen Kanäle wird in Kapitel 3.3.3 detailliert beschrieben.

Es müssen grundsätzlich zwei Wirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen unterschieden werden:

1) Direkte Wirkung durch Änderung der Ausgabenlast: Quantitative Ergebnisse für die zusätzlichen Ausgaben durch Extremereignisse werden entweder aus Modellen oder auf Basis historischer Ergebnisse hergeleitet. So gibt es für Extremereignisse wie das Elbehochwasser (2002) oder die Stürme Kyrill (2007) und Lothar (1999) detaillierte Schadensbilanzen, in denen Schäden in den Bereichen Verkehr, Gebäude, Energie etc. dargestellt sind. Über die von uns gemachten Annahmen zur zukünftigen Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen (vgl. Kapitel 2) können die Schadenskosten für 2050 und 2100 hochgerechnet werden. Für die Bereiche, in denen zusätzliche staatliche Investitionen oder Hilfezahlungen notwendig sind oder durch positive Effekte Entlastungen entstehen, werden Schätzungen aus der Literatur verwendet und gegebenenfalls angepasst.

²⁰ Munich Re (2003a); Swiss Re (2006b).

2) Indirekte Wirkungen über BIP-Änderungen: Das öffentliche Budget ist direkt vom durchschnittlichen Wachstum der Volkswirtschaft abhängig. Hinter Prognosen zum zukünftigen Wachstum stehen Annahmen zum Produktivitätswachstum von Arbeit und Kapital sowie zum technologischen Fortschritt. Da der Klimawandel eine langfristige Veränderung der Produktionsbedingungen nach sich zieht und im Bereich Kapitalstock Investitionen in weniger produktive Sachanlagen nötig macht, ist davon auszugehen, dass sich die Produktivität der Inputfaktoren Kapital und Arbeit verringert. Die Wirkungen des Klimawandels sind mit hoher Wahrscheinlichkeit strukturell als auch andauernd und deshalb abzugrenzen von wirtschaftlichen Wirkungen von einmaligen bzw. zeitlich beschränkten Schocks wie z.B. einer 100-jährigen Flut an der Nordsee oder der Ölkrise der Siebziger Jahre. Bezüglich Produktivität von Kapital und Arbeit beruht die Quantifizierung in diesem Bericht auf den folgenden Annahmen:

Kapitalproduktivität: Ausgaben zur Anpassung an den Klimawandel sowie zur Schadensbehebung verdrängen produktivere Investitionen, die den technologischen Fortschritt stärker vorantreiben. Vielmehr wird vermehrt in den Wiederaufbau bzw. den Ausbau von öffentlicher Infrastruktur investiert, ohne jedoch dabei das Schutzniveau gegenüber heute zu verbessern. Diese Investitionen sind zwar durchaus wachstumswirksam, sie tragen aber lediglich dazu bei, die bereits bestehende wirtschaftliche Struktur zu erhalten, und verdrängen damit andere neue Aktivitäten. Zudem führen Extremereignisse zu einem kürzeren Lebenszyklus von Investitionen, insbesondere im Bereich der Infrastruktur.

Arbeitsproduktivität: Der Anstieg der Temperaturen mit der Zunahme von Hitzesommern führt zu einer Reduktion der Arbeitsproduktivität. Ein deshalb reduziertes Wirtschaftswachstum führt aber nicht direkt zu einer geringeren Beschäftigungsquote und somit mehr Arbeitslosigkeit. Wenn wir unterstellen, dass durch Klimawandel die Arbeitsproduktivität sinkt, dann sinkt die Leistungsgrenze der Volkswirtschaft, da die maximale Auslastung der Produktionsfaktoren zu einem geringeren Maximaloutput führen kann. Wir unterstellen, dass bei gleichbleibender Auslastung der Produktionsfaktoren wie in der Vergangenheit deshalb auch das effektive BIP-Wachstum entsprechend geringer ausfällt. Diese Wachstumsabnahme hat nun aber zunächst keine zunehmenden Ausgaben der Arbeitslosenversicherung zur Folge, da gleich viele Arbeitskräfte wegen der steigenden Temperaturen weniger zu leisten vermögen. Eine abnehmende Arbeitsproduktivität auf Grund des Klimawandels würde eine Verschiebung in Richtung stärkerer Kapitalintensität nach sich ziehen. Gleichzeitig sind aber in zunehmendem Maß finanzielle Mittel durch relativ unproduktive Anpassungsmaßnahmen gebunden.

Zudem besteht eine Verbindung zwischen staatlichen Ausgaben und Einnahmen. Die Ausgabenseite der öffentlichen Hand gerät durch den Klimawandel unter Druck. Entweder werden die staatlichen Ausgaben im Verhältnis ausgedehnt, was über eine **Verringerung der verfügbaren Einkommen bei den Haushalten und geringere Investitionsmöglichkeiten der Unternehmen** finanziert werden muss. Oder die zusätzlich nötigen Ausgaben für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel werden bei anderen staatlichen Aufgaben eingespart. In beiden Fällen besteht die Gefahr, dass Ausgaben für produktivere Ausgaben reduziert werden müssen und somit das Produktionspotenzial negativ tangiert wird. Wie dieses die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands beeinflusst, hängt davon ab, wie die Entwicklung in anderen Ländern verläuft. Gegenüber Ländern, die stärker direkt vom Klimawandel betroffen sind - wie z.B. die Niederlande über den Meeresspiegelanstieg - kann

sich die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands verbessern und gegenüber vom Klimawandel schwächer betroffenen Ländern verschlechtern. Hintergrund ist, dass die deutschen Exporte in die stark betroffenen Weltregionen v.a. auf der Südhalbkugel vermutlich stärker beeinträchtigt werden als die Binnenwirtschaft in Europa.

Zur Ermittlung der Wirkungen auf die Einnahmenseite der öffentlichen Hand ist zuerst eine Aggregation der BIP-Wirkungen notwendig:

- In mehreren Fallstudien werden auf sektoraler Ebene wirtschaftliche Einbußen durch den Klimawandel identifiziert. Diese negativen Effekte werden meist in Form eines prozentualen BIP-Rückgangs ausgewiesen – im Fall einer positiven Wirkung wie etwa im Tourismus ergibt sich ein BIP-Anstieg.
- Zudem verdrängen die höheren Ausgaben der Privaten für erhaltende Wiederaufbau- und Schutzmaßnahmen alternative produktive Investitionen, während Entlastungen Raum für ebensolche Investitionen schaffen. Es wird angenommen, dass sich dadurch längerfristig das BIP-Potential entsprechend reduziert bzw. steigert. Die Veränderungen der Ausgaben liegen in absoluten Werten vor und werden in einen prozentualen BIP-Rückgang umgerechnet.

Aus den aggregierten negativen und positiven Effekten auf das BIP können dann mit Hilfe einer Annahme zur **durchschnittlichen Staatseinnahmenelastizität** Aussagen zur langfristigen Wirkung auf die Einnahmen der öffentlichen Hand generiert werden. Grundsätzlich gehen sowohl das BMF als auch die europäische Zentralbank davon aus, dass die durchschnittliche Staatseinnahmenelastizität nahe bei 1 liegt.²¹ Das heißt, dass ein Rückgang des BIP um 10% auch zu einem zehnpromtigen Rückgang der Einnahmen der öffentlichen Hand führt. Steuereinnahmen und andere Einnahmen der öffentlichen Hand gehen also proportional zur reduzierten Wirtschaftsleistung zurück. Diese durchschnittliche Staatseinnahmenelastizität von 1 wird für die Quantifizierung der Klimawirkungen über den indirekten Kanal auf die Einnahmen der öffentlichen Hand verwendet.

²¹ Die Staatseinnahmenelastizität wurde am Expertenworkshop zu diesem Projekt im November 2008 diskutiert. Weitere Abklärungen der EZB weisen ebenfalls auf eine durchschnittliche Staatseinnahmenelastizität von 1 hin.

3.2 Sektorale Fallstudien Inland

Fallstudie 1: Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten

Weltweit gehören der Meeresspiegelanstieg und die Zunahme von Sturmfluten zu den bedrohlichsten Auswirkungen des Klimawandels. Nach Schätzungen des IPCC wohnen bis zu 23% der Weltbevölkerung in der als gefährdet einzustufenden Küstenzone unterhalb von 100 m über NN und weniger als 100 km von der Küste entfernt.²² Auch in Deutschland ist die insgesamt 3700 km lange Nord- und Ostseeküste zunehmend von Überschwemmungen und Stürmen bedroht. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Schäden in Deutschland anders als in vielen Entwicklungsländern durch Anpassungsmaßnahmen erfolgreich begrenzt werden können. Bereits heute werden 27% der Ostsee- und 85% der Nordseeküste durch Deiche vor Überflutung geschützt (vgl. Tabelle 11) und mehrere Untersuchungen belegen, dass auch in Zukunft der Nutzen von zusätzlichen Küstenschutzmaßnahmen in Form von vermiedenen Schäden in vielen Fällen die Kosten übersteigen wird.²³

Tabelle 11: Merkmale der deutschen Nord- und Ostseeküste

| Küstenmerkmal | Nordsee | Ostsee | Gesamt |
|---|---------|--------------|-----------|
| Küstenlänge (km) | 1.590 | 2.110 | 3.700 |
| davon von Erosion bedroht | 1.110 | 1.150 | 2.260 |
| davon flache Küste | 1.560 | 1.700 | 3.260 |
| davon Steilküste | 20 | 400 | 420 |
| Geschützte Küste (km) | 1.340 | 560 | 1.900 |
| Tiefliegende Flächen (km ²) | | | |
| Bis 10 m über NN | 15.060 | k. A. | 15.060 |
| Bis 5 m über NN | 11.020 | 2.560 | 13.580 |
| Überflutungswahrscheinlichkeit | | | |
| 1995 | 1/100 | 1/250-1/1000 | |
| 1995 + 1 m | 1/5 | 1/2 bis 1/10 | |
| möglicher MSA bis 2100 (cm) | | | |
| aktueller „Klimazuschlag“ beim Küstenschutz | 50 | 30 | 20-100 cm |

Quelle: Sterr 2008 und Szenariendefinition Kapitel 2.3.4 (Meeresspiegelanstieg).

Als **physische Ursache** für ökonomische Schäden ist weniger der mittlere Meeresspiegelanstieg entscheidend als die Höchstwasserstände bei Sturmflutereignissen, die wiederum von der Stärke und Richtung des Windes, der Wellenhöhe und dem Tidenhub abhängen. Aufgrund der Komplexität dieser physischen Faktoren sind die Zukunftsprognosen zur Intensität und Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Sturmfluten mit größeren Unsicherheiten behaftet als Aussagen zum mittleren Meeresspiegelanstieg. Die Auswertung von Pegelmessungen aus der Vergangenheit lässt aber darauf schließen, dass moderate Sturmfluten an der Ost- und Nordsee in den letzten 50 Jahren zugenommen haben und auch die Maximalwasserstände höher ausfallen.²⁴

²² IPCC (2007), S. 319.

²³ Elsner et al. (2005); Sterr (2008); Nicholls und Klein (2005).

²⁴ Sterr (2008).

Der Anstieg des Meeresspiegels hat **vielfältige Auswirkungen auf die Küstenzone**. Zum einen sind gleichmäßig voranschreitende, schleichende Veränderungen zu erwarten wie etwa der Abbruch der Küste, die Erosion von Stränden und Veränderungen beim Sedimenttransport. Dadurch ergeben sich Auswirkungen für Tourismus, die küstennahe Schifffahrt und den Betrieb von Häfen, die bisher insbesondere am Beispiel der nordfriesischen Insel Sylt untersucht worden sind.²⁵ Des Weiteren kann es als Folge des Meeresspiegelanstiegs zum Verlust von Feuchtgebieten in Küstennähe kommen, und Salzwasser kann in das Grundwasser eindringen. Beide Effekte sind aus ökologischer Sicht relevant, in ihrer ökonomischen Wirkung aber weniger bedeutsam.

Dagegen sind **signifikante ökonomische Auswirkungen vor allem in Folge von Überschwemmungen nach Sturmfluten** und den daraus resultierenden Verlusten an landwirtschaftlicher Fläche sowie Schäden an Infrastruktur zu erwarten. Für den Fall einer Erhöhung des Ostseewasserspiegels um bis zu 30 cm liegen für Mecklenburg-Vorpommern Modellierungen potentieller Überflutungsgebiete in einer GIS-basierten Datenbank vor.²⁶ Diese müssten mit Analysen der in der Region vorhandenen Vermögenswerte kombiniert werden, um das Gesamtschadenspotential abzuschätzen – eine derart detaillierte Untersuchung überschreitet jedoch die Möglichkeiten im Rahmen dieser explorativen Studie. Es gibt bereits verschiedene Studien mit unterschiedlicher geographischer Auflösung und methodischem Zugang (vgl. Tabelle 12), die Schadensschätzungen liefern.²⁷ Allgemein ist festzustellen, dass die Abschätzung in der Regel umso höher ausfällt, je feiner die geographische Auflösung der Analyse ist.²⁸ Weitere Unterschiede ergeben sich, je nachdem ob lediglich die potentiellen Schäden aufsummiert werden oder auch sekundäre Preis- und Anpassungsreaktionen der Volkswirtschaft in einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell betrachtet werden (Bigano et al. 2008) bzw. die mit dem Kapitalverlust einhergehenden Wertschöpfungsverluste einbezogen werden (Elsner et al. 2004).

Derzeit gibt es noch keine Abschätzung der Schäden für die gesamte deutsche Küste. Eine Hochrechnung der Schätzungen aus Elsner et al. auf Gesamtdeutschland bzw. ein Downscaling der Ergebnisse von Bigano et al. bietet sich nicht an, da der Küstentopographie und der Verteilung der Vermögenswerte vollständig Rechnung getragen werden müsste. Zudem werden in den genannten Untersuchungen nur Szenarien ohne Anpassung betrachtet. Angesichts der **Defensivmaßnahmen**, die schon heute durchgeführt werden, erscheint es wenig sinnvoll, die potentiellen Schäden des Meeresspiegelanstiegs unter der Annahme zu berechnen, dass beim Küstenmanagement keine Anpassung an die neuen klimatischen Bedingungen stattfindet. Stattdessen werden sich die fiskalischen Wirkungen des Meeresspiegelanstiegs in der Realität vermutlich vor allem dadurch zeigen, dass der Finanzierungsbedarf für den Küstenschutz zunimmt bzw. die geplante Verlagerung von Infrastruktur finanziert werden muss.

²⁵ Daschkeit und Schottes (2002); Ahrendt (2001).

²⁶ ARCADIS (2007).

²⁷ Bigano et al. (2008); Elsner et al. (2004).

²⁸ Sterr (2008).

Tabelle 12: Schadensschätzungen nach Elsner et al. 2005 und Bigano et al. 2008

| | Elsner et al. 2005 (KRIM-Projekt) | Bigano et al. 2008 |
|-------------------|---|--|
| Schadensart | Vermögensschäden und dadurch verursachte sekundäre Wertschöpfungs-, Einkommens-, und Arbeitsplatzeffekte | Schäden am Inputfaktor Land und Auswirkungen dieses negativen Schocks auf BIP |
| Region | 8 Fokusflächen an der deutschen Nordseeküste | 16 Weltregionen, darunter Westeuropa |
| Annahmen MSA | + 55 cm bis 2050 | + 25 cm bis 2050 |
| Extremereignisse | Orkantief ANATOL 1999 | |
| Schadensschätzung | Vermögensverluste v. 2,7 Mrd. € (2000) in den 8 Fokusgebieten durch Sturmfluten bis 2050 (1 % des Gesamtvermögens v. Bremen, 22 % v. Wilhelmshafen) bei Extremereignissen kumulierte Schäden bis zu 14,9 Mrd. € | BIP-Verluste in Westeuropa im Jahr 2050: -0,0019 % im Vgl. zum Referenzszenario; direkte Kosten durch Landverluste 2050: 298 Mio. US \$ (1997), entspricht 0,0005 % des BIP im Vgl. zum Referenzszenario |
| Methode | Schadensfunktion in Abhängigkeit v. Überflutungshöhe und Schadenpotential, Modellierung von Landhöhe und -nutzung mit GIS Wertschöpfungs-, Einkommens-, und Arbeitsplatzverluste berechnet mit regionalökonomischen Modellen | Abschätzung der Landverluste in Abhängigkeit des MSA, die dann als neg. Schock in einem allg. Gleichgewichtsmodell wirken → Berechnung der BIP-Verluste pro Region |
| Unsicherheit | Wg. detaillierter Datengrundlage gering | Wg. starker Aggregation relativ hoch |

Dabei können drei Typen von Anpassungsstrategien unterschieden werden:²⁹

- Küstenschutz durch Deiche, Wehre oder andere bauliche Strukturen;
- Aufgabe von Küstenlinien (managed retreat) mit entsprechender Kompensation für Eigentümer, etwa durch raumplanerische Begrenzung von Siedlungen in flutgefährdeten Gebieten;
- Akkommodation, indem Flexibilität der küstennahen sozio-ökonomischen Systeme (Tourismus, Landwirtschaft, Siedlungen) erhöht wird, beispielsweise durch veränderte Ansprüche an die Haltbarkeit von Infrastruktur.³⁰

Die Kosten können auf Grundlage der Angaben von Sterr (2008) geschätzt werden. Konform mit unseren Annahmen zum Meeresspiegel im Bereich Küstenschutz geht Sterr von einem Anstieg von 100 cm bis zum Jahr 2100 aus. Der zeitliche Verlauf kann als nicht-linear eingestuft werden, da der Anstieg auch eine mögliche Eisdynamik beinhaltet. Daher kann für das Jahr 2050 mit einem eher moderaten Meeresspiegelanstieg von 20-30 cm gerechnet werden.

Die Zusatzkosten beim **Küstenschutz** kann nach Sterr, unter Annahme eines linearen Verlaufs, auf ca. 10 Mio. € pro Jahr je 10 cm Meeresspiegelanstieg veranschlagt werden. Da die Investitionen zum Küstenschutz vorausschauend getätigt werden, ist mit einem konkaven Verlauf der Ausgaben zu rechnen: im Jahr 2050, bei einem Anstieg von 20-30 cm, mit Kosten von 20-30 Mio. € pro Jahr; im Jahr 2100 mit Kosten von ca. 100 Mio. € pro Jahr.

²⁹ IPCC (2007); WBGU (2006).

³⁰ Nicholls und Klein (2005).

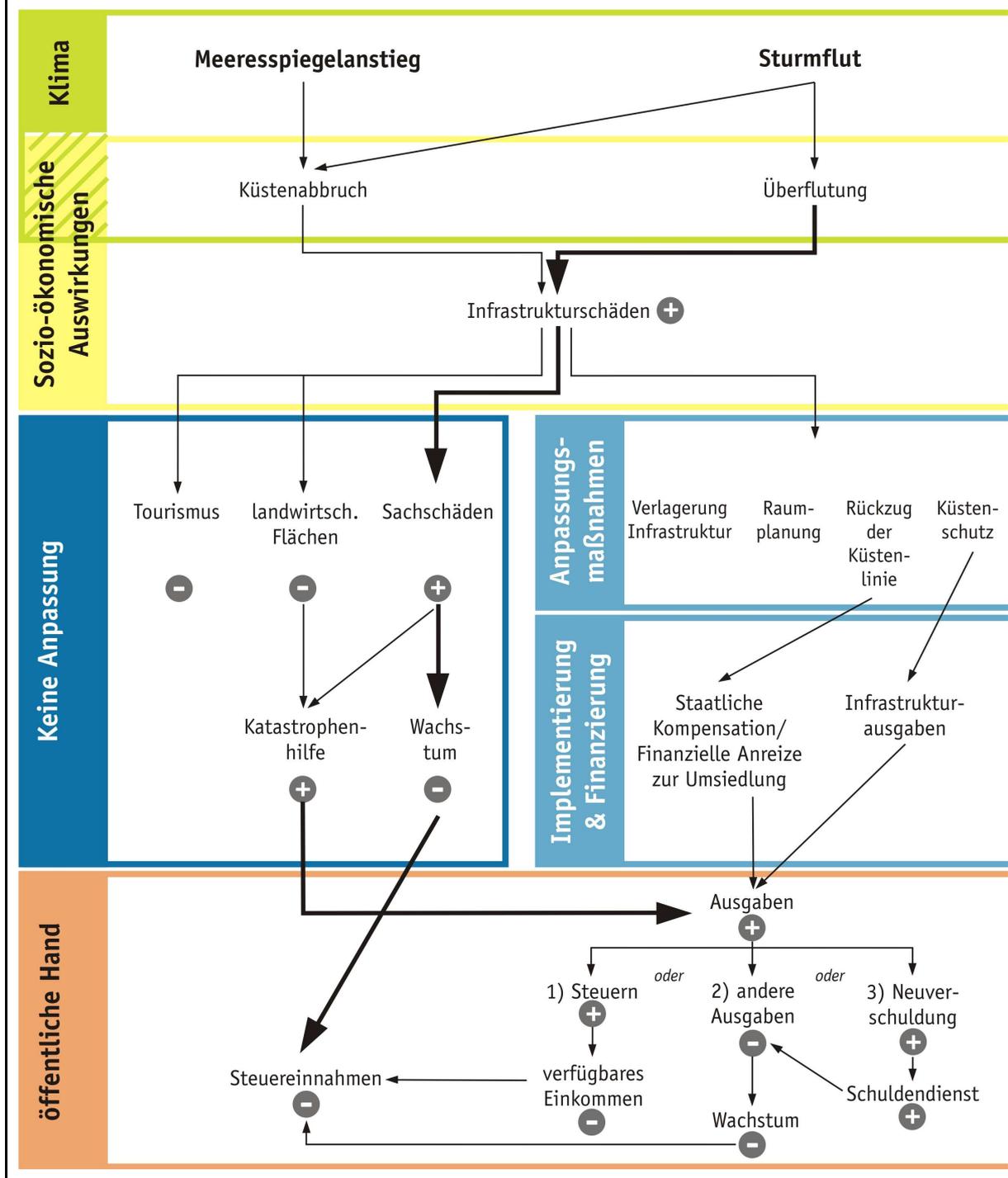
Sturmfluten können trotz Küstenschutz nicht gänzlich „entschärft“ werden: Auch hier ist ein konvexer Verlauf der Schäden wahrscheinlich. Basierend auf Sterr werden für das Jahr 2050 Schäden von 1,25 Mrd. € pro Jahr und für 2100 Schäden von 3,75 Mrd. € pro Jahr angenommen. Analog zu den Annahmen in der Fallstudie zu Gebäudeschäden durch Hochwasser gehen wir davon aus, dass 10% der Schäden versichert sind und daher keine Wirkungen für die öffentliche Hand zur Folge haben. Weiterhin nehmen wir an, dass 45% des Restbetrages beim Staat als Mehrausgaben im Sinne von Katastrophenhilfe anfallen (analog etwa zum Elbehochwasser), während die übrigen 45% als nicht-versicherte Schäden von Haushalten und Unternehmen gewertet werden, Zusatzkosten bedingen und dadurch indirekte zu BIP-Rückgängen führen.

Steigende Meeresspiegel führen im Küstengebiet zu höheren Ausgaben für **Drainage und Grundwassermanagement**: Sterr zufolge ist im Jahr 2050 mit kumulierten Ausgaben in Höhe von 50 Mio. €, die im Jahr 2100 auf 250 Mio. € ansteigen könnten. Allerdings sind diese Angaben mit starken Unsicherheiten behaftet und müssten aktualisiert werden. Sie bleiben deshalb bei der quantitativen Untersuchung außer Acht.

Die Gesamtschäden können sich daher in der Größenordnung von 0,85 Mrd. € pro Jahr (2050) bis 1,8 Mrd. € pro Jahr (2100) bewegen, mit einer konvexen Gesamtschadensfunktion.

Besonders bei den ersten beiden Aspekten ist mit einer **erhöhten Ausgabenbelastung für die öffentliche Hand** zu rechnen. Diese können entweder über höhere Steuern oder Kürzungen in anderen Ausgabenbereichen finanziert werden. Insbesondere die Bauwirtschaft kann von Küstenschutzmaßnahmen auch profitieren, so dass die Ausgaben *de facto* wie ein Konjunkturprogramm wirken. Insgesamt muss aber davon ausgegangen werden, dass in einem Referenzszenario ohne Klimawandel *ceteris paribus* mehr Finanzmittel für andere, produktive Ausgaben (etwa für Bildung) zur Verfügung stehen würden, deren Auswirkungen auf die Produktivität- und Wachstumssteigerung größer ausfiele als die Effekte des Küstenschutzes. Im Falle einer Finanzierung über höhere Abgaben, lastet auf den Einkommen der Bürger im Szenario mit Klimawandel eine höhere Steuerlast als im Referenzszenario, so dass zusätzliche Verzerrungen entstehen und das frei für Konsum verfügbare Einkommen sinkt.

Abbildung 11: Wirkungspfade Meeresspiegel und Sturmfluten



Fallstudie 2: Schäden an Gebäuden und Wirkungen auf die Bauwirtschaft

Der Klimawandel wird zu erheblichen Schäden an Gebäuden und Bauwerken führen und somit zu Nutzeneinbußen bei privaten und gewerblichen Nutzungen. Für diese Studie sind insbesondere die folgenden Einflusskanäle relevant:

- Extreme Sturm- und Hochwasserereignisse können unterschiedliche Dimensionen annehmen. Winterstürme (wie z.B. Kyrill im Jahr 2007) führen zu Beschädigungen an Dächern, Fenstern und Außenbauten. Für die Eigentümer entstehen dadurch höhere Unterhaltskosten, die jedoch – falls ein Versicherungsschutz besteht – teilweise von den Versicherungen getragen werden.
- Der Anstieg von Starkniederschlägen und somit von Hochwasserereignissen kann zu einem Anstieg der Überschwemmungsschäden führen.
- Bei anhaltender Trockenheit können Bodenabsenkungen zu erheblichen Schäden an Gebäuden führen.
- Frostschäden werden tendenziell durch mildere Winter abnehmen.
- Durch mildere Winter verlängert sich die Bausaison, wodurch positiv Effekte für die Baubranche entstehen könnten.

Gebäude und Bauwerke sind bereits heute wechselnden Wetterbedingungen ausgesetzt. Sturm- und Überschwemmungsschäden treten auch ohne den Klimawandel regelmäßig auf. Es ist daher für diese Fallstudie elementar, den Einfluss des Klimawandels von den „normalen“ Extremereignissen zu isolieren. Andernfalls betrachtet man nicht die Wirkungen des Klimawandels, sondern die Gesamtheit der Schäden.

Für den Bereich Gebäude liegen bisher kaum quantitative Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels vor. Ähnlich wie im Bereich Verkehr liegen der Quantifizierung daher bisher beobachtete Extremereignisse zugrunde. Mit Hilfe von Annahmen über das zukünftige Auftreten solcher Extremereignisse lassen sich somit quantitative Wirkungen für die betrachteten Zeithorizonte herleiten.

Alle physischen Auswirkungen beeinträchtigen sowohl private als auch öffentliche Gebäude. Für die Quantifizierung der Wirkungen ist eine Aufteilung des Gebäudebestands in öffentliche und private Gebäude in Deutschland notwendig. Bei den öffentlichen Gebäuden ist die öffentliche Hand auf der Ausgabenseite direkt betroffen – zumindest für den Teil, der nicht versichert ist. Die Auswirkungen auf private Gebäude schlagen sich im Fall von Hilfszahlungen ebenfalls direkt auf die öffentlichen Ausgaben nieder; zusätzlich ergeben sich indirekte Auswirkungen über Produktivitätseinbußen.

Der Gesamtwert aller Immobilien in Deutschland wird vom Statistischen Bundesamt auf 10,6 Billionen € geschätzt.³¹ Die volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen für 2007 weisen das Bruttoanlagevermögen des Staates in Bauten mit 1,583 Billionen € aus.³² Somit sind knapp 15% aller Immobilienwerte in Deutschland in öffentlicher Hand, was bedeutet, dass Schäden an Gebäuden auch immer direkte Wirkungen auf die öffentlichen Haushalte haben.

³¹ Statistisches Bundesamt (2009a), Kapitel 24 VGR, S. 631.

³² Statistisches Bundesamt (2008a).

Aufgrund der hohen Versicherungsdichte bei Gebäuden ist zudem eine Differenzierung in versicherte und nicht-versicherte Schäden notwendig. Während Versicherungslösungen das Auftreten und die Höhe von volkswirtschaftlichen Schäden nicht beeinflussen, wirken sie sich jedoch sowohl bei privaten Akteuren als auch bei der öffentlichen Hand auf die Verteilung der klimabedingten Ausgaben aus. Wenn ein bestimmter Schaden (z.B. ein Hochwasserereignis) versichert ist, werden die Ausgaben von der Versicherung getragen. In einer globalen Betrachtung wäre diese Differenzierung irrelevant, da der Schaden am Ende irgendwo auf der Welt zu einem Gewinn- oder Produktivitätsrückgang und somit zu Kosten führen würde und sich auch auf die öffentlichen Finanzen weltweit auswirken würde. Da in dieser Studie jedoch nur die nationale Ebene betrachtet wird und der Versicherungsmarkt global agiert, ist eine Zuweisung der entstandenen Schäden und deren finanziellen Auswirkungen nur schwer möglich. Deshalb werden die versicherten Schäden im Folgenden nicht als zusätzliche Kosten für Deutschland aufgerechnet. Bei dem im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Expertenworkshop wurde deutlich, dass die deutsche Versicherungswirtschaft im Rahmen der Versicherbarkeit diese Schäden in ihrer Risikoanalyse berücksichtigt und die zur Verfügung stehenden Optionen nutzt, um einen Gewinnrückgang zu vermeiden. Insbesondere die weltweit agierenden Rückversicherer haben umfangreiche Möglichkeiten bei der Prämiengestaltung, so dass ein hohes Schadensrisiko in Deutschland (oder einem anderen Land) nicht direkt von den Versicherten in diesem Land getragen werden muss. Zudem stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, um das Risiko auf den privaten Kapitalmarkt zu übertragen, z.B. mit so genannten Katastrophenbonds (siehe hierzu im Detail Fallstudie 8 zur Versicherungswirtschaft). Um bei diesem Aspekt eine Überschätzung der Schäden zu vermeiden, werden die versicherten Schäden in unserer Analyse ausgeblendet. Daher ist in den folgenden Fällen eine Differenzierung in versicherte und nicht-versicherte Schäden notwendig:

- Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden der öffentlichen Hand: Durch Versicherungslösungen kann ein Teil des Risikos zusätzlicher Ausgaben auf die Versicherungswirtschaft übertragen werden. Die Ausgaben der öffentlichen Hand werden in erster Linie über die Schäden an nicht-versicherten Werten beeinflusst. Weiterhin belasten die zu zahlenden steigenden Versicherungsprämien die öffentlichen Finanzen.
- Schäden an Privatbesitz: Da sich versicherte Schäden durch Hochwasser oder Stürme zunächst nicht auf Einkommen und Ausgabenstruktur der Haushalte und Unternehmen auswirken, bleiben Steueraufkommen und sonstige staatliche Einnahmen weitgehend unbeeinflusst. Signifikante Auswirkungen auf das verfügbare Einkommen ergeben sich erst, wenn aufgrund eines Anstiegs von versicherten Schäden die Versicherungsprämien erhöht werden müssen.

Grundsätzlich werden für die Abgrenzung von versicherten und nicht-versicherten Schäden heutige Versicherungsdichten verwendet.³³ Die Möglichkeiten – aber auch Grenzen – der Versicherungswirtschaft zur Reaktion auf den Anstieg der versicherten Schäden werden in der Fallstudie 8 Versicherungswirtschaft diskutiert.

³³ Munich Re (2007).

Sturmschäden

Stürme in Deutschland sind vornehmlich sommerliche, lokale Gewitterstürme sowie Winterstürme. Mehr als 56% der Gesamtschäden durch Stürme der Jahre 1980-2006 sind durch Winterstürme verursacht worden, 20% durch Hagel sowie 24% durch Unwetter, Tornado und lokale Sommerstürme. Werden die versicherten Schäden berücksichtigt, überwiegen die Winterstürme sogar mit 64% der Schäden.³⁴ Insbesondere die Entwicklung der Oberflächentemperatur im Nordatlantik kann als Indikator für die Sturmwahrscheinlichkeit herangezogen werden, da die Stürme in der Regel vom Meer in östlicher Zugrichtung über den Kontinent ziehen. Die Oberflächentemperatur ist sowohl in den 1980er Jahren als auch seit 1990 stark angestiegen. Die Häufigkeit von Winterstürmen in den Jahren 1990 und 1999 ist dadurch gut belegbar.

Da bisher keine Aussagen über die zukünftige Schadenswirkung von klimabedingten Stürmen für Deutschland vorliegen, verwenden wir für diese Studie als Referenz die Schäden bisheriger Sturmereignisse (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Quantifizierung der Sturmschäden im Bereich Gebäude

| | Volkswirtschaftliche Schäden des Referenzereignisses | zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit* | Zukünftige Schäden pro Jahr |
|---------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| Lothar 1999 ³⁵ | Gesamtschäden D: 650 Mio. € Davon Schäden Gebäude: ca. 200 Mio. € | 2050: Jedes 2. Jahr 2100: Jedes Jahr | 2050: 100 Mio. € 2100: 200 Mio. € |
| Orkan Kyrill 2007 ³⁶ | Schadenssumme Versicherungen D: 2,4 Mrd. € Versicherungsabdeckung: 75% → gesamte Schäden: 3.2 Mrd. € Davon Wohngebäude: 1,5 Mrd. € Versicherungsabdeckung 75%: → Gesamtschaden: 2 Mrd. € | 2050: Jedes 2. Jahr 2100: Jedes Jahr | 2050: 1 Mrd. € 2100: 2 Mrd. € |

*Annahmen gemäß Kapitel 2.4

Da der Wintersturm Lothar nur die südlichen Teile Deutschlands betraf, werden die Ergebnisse des Orkans Kyrill als Referenz verwendet. Bei Schäden durch Sturm und Hagel herrscht in Deutschland bereits heute eine Versicherungsdichte von ca. 75%. Für unsere Berechnungen gehen wir von folgenden Annahmen aus:

- Die öffentlichen Immobilien weisen die gleiche Versicherungsdichte auf, wie die privaten Gebäude. 25% der öffentlichen Immobilien sind somit nicht versichert. Wenn die öffentlichen Immobilien mit einem Anteil von 15% gleich betroffen sind wie private Gebäude, ergibt sich bei einer Versicherungsdichte von 75% ein nicht versicherter Schaden von 112,5 Mio. € (2050) und 225 Mio. € (2100).
- Die nicht versicherten Schäden an privaten Gebäuden sind weitgehend privat zu tragen. Um soziale Härten zu vermeiden, wird sich jedoch die öffentliche Hand nicht ganz zurückziehen können. Für unsere Berechnung gehen wir davon aus, dass ca. 50% der

³⁴ Alle Daten aus: Munich Re (2007).

³⁵ Deutsche Rück (1999); Die Schäden sind nicht differenziert nach verschiedenen Sachwerten. Daher wird für die Näherung der Anteil der Gebäudeschäden des Sturms Lothar an den Gesamtschäden in der Schweiz verwendet. Dort machten Schäden an Gebäuden ca. ein Drittel der Gesamtschäden aus (Eidgenössische Forschungsanstalt WSL 1999).

³⁶ Persönliche Auskunft des Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

nicht versicherten Schäden über Hilfszahlungen der öffentlichen Hand gedeckt werden. Bei einem nicht versicherten Anteil von 25% und einem Anteil der privaten Gebäude von 85% ergeben sich Kosten für die öffentliche Hand in Höhe von 106,25 Mio. € (2050) und 212,5 Mio. € (2100).

- Die versicherten Schäden werden hier wie oben dargestellt nicht betrachtet, jedoch ist mit einem Anstieg der Versicherungsprämien zu rechnen (siehe dazu Fallstudie Versicherung). Da jedoch auch auf die gestiegenen Versicherungsprämien eine Versicherungssteuer erhoben wird, werden die Auswirkungen auf das Steueraufkommen durch diese Verschiebung im Konsum abgemildert. Dennoch rechnen wir mit einem Wohlfahrtsverlust, der aus dieser Verlagerung resultiert und somit auch mit geringeren Steuereinnahmen. Die Auswirkungen einer Erhöhung der Versicherungsprämien auf das BIP können jedoch mit den vorliegenden Daten nicht prognostiziert werden und werden daher in der Fallstudie Versicherungen qualitativ beschrieben.

Hochwasserschäden

Im Bereich Hochwasser liegen bereits zahlreiche Veröffentlichungen zu den globalen und regionalen Auswirkungen des Klimawandels vor. Eine der ersten Studien zu den Schäden durch Hochwasser in Europa ist PESETA (Feyen 2006). Die von der PESETA-Studie generierten Vermögensverluste sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 14: Quantifizierung der Hochwasserschäden in PESETA

| | Prognostizierte Vermögensverluste für Jahrhundertflut im ges. Flussgebiet* | Anstieg gegenüber aktuellen Werte |
|--------------------------|---|--|
| Jahrhundertflut an Donau | A2: 66 Mrd. € B2: 53 Mrd. € | +40% +19% |
| Jahrhundertflut an Maas | Klimaszenario A2: 6.6 Mrd. € Klimaszenario B2: 6.5 Mrd. € | +14% +11% |

* Werte für Zeitraum 2071-2100

Die Werte der PESETA Studie können jedoch aufgrund der relativ groben Auflösung von 12 km (B2) bzw. 50 km (A2) sowie der Annahme einer gleichzeitigen flächendeckenden Hochwassersituation im gesamten Flussgebietsteil kritisiert werden. Im Rahmen des europäischen ESPACE-Projektes (Belau 2007) wurden Schadenswerte für Jahrhunderthochwasser in Gemeinden an der fränkischen Saale errechnet. Beide Studien versuchen die Schadenskosten durch den Einfluss des Klimawandels auf die Stärke einer Jahrhundertflut zu ermitteln und erfassen die direkten ökonomischen Kosten durch Hochwasserereignisse, v.a. an Gebäuden und sonstigen Bauwerken.

Aufgrund der Schwächen der Modellberechnungen und um Konsistenz mit den anderen Fallstudien mit Bezug zu Infrastruktur darzustellen (Verkehr, Energie) beziehen wir uns auch in dieser Fallstudie auf ein Referenz-Ereignis. Belastbare Daten liegen für das Elbehochwasser des Jahres 2002 vor. Die Schadensbilanz des Elbehochwassers zeigt, dass die Schäden an Gebäuden ca. 5,5 Mrd. € betragen.³⁷ Die Größenordnung entspricht den Schätzungen des PESETA-Projektes für eine Jahrhundertflut der Maas. Für die Quantifizierung gehen wir davon aus, dass die Schäden pro Überflutung nicht ansteigen sondern sich vielmehr die Wahrscheinlichkeit für Überschwemmungsereignisse zunimmt.

³⁷ Munich Re (2003).

Tabelle 15: Quantifizierung der Hochwasserschäden im Bereich Gebäude

| | Volkswirtschaftliche Schäden des Referenzereignisses | zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit | Zukünftige Schäden pro Jahr |
|-----------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| Elbehochwasser 2002 ³⁸ | private Haushalte: 2,1 Mrd. € gewerbliche Gebäuden: 1,7 Mrd. € kulturelles Erbe: bis zu 1,7 Mrd. € Gesamt Gebäude: 5,5 Mrd. € | 2050: alle 5 Jahre 2100: alle 2 Jahre | 2050: 1,1 Mrd. € 2100: 2,3 Mrd. € |

Entsprechend den Annahmen bei Gebäudeschäden durch Stürme ergeben sich daraus die folgenden Auswirkungen für die öffentliche Hand:

- Die Schäden an kulturellem Erbe schlagen sich direkt in den Ausgaben der öffentlichen Hand nieder, da sie nicht versichert sind. Daraus ergeben sich zukünftig Ausgaben in Höhe von 340 Mio. € (2050) und 850 Mio. € (2100).
- Der Anteil der öffentlichen Liegenschaften am gesamten Gebäudebestand beträgt 15%. Wir gehen davon aus, dass die Versicherungsdichte für Überschwemmungen auch bei den öffentlichen Gebäuden gering ist und mit 10% dem deutschen Durchschnitt entspricht. Daher ergeben sich für die öffentliche Hand nicht versicherte Schäden in Höhe von 148,5 Mio. € (2050) und 310,5 Mio. € (2100).³⁹
- Bei den privaten Gebäuden besteht heute eine Versicherungsdichte bei Überschwemmungen von lediglich 10%. Die verbleibenden Schäden werden privat getragen. Um Fehlanreize zu vermeiden und hohen Kosten vorzubeugen, hat sich der Staat bereits heute durch das Hochwasserschutzgesetz (2004)⁴⁰ gegen Ansprüche besser geschützt. Der Staat kann sich jedoch nur im Rahmen des politisch Tragbaren von diesen Kosten freihalten. Wie bei den Sturmschäden gehen wir davon aus, dass ca. die Hälfte der nicht versicherten Schäden auf den Staat zurückfällt um soziale Härten zu vermeiden. Die zusätzlichen Hilfszahlungen betragen 189 Mio. € (2050) und 472 Mio. € (2100).

Das Elbehochwasser 2002 hat zudem deutlich gemacht, dass sich eine Vielzahl von Denkmälern und anderen Bestandteilen des kulturellen Erbes, zu einem großen Teil Gebäude unter Denkmalschutz, in hochwassergefährdeten Gebieten befinden. Wiederholte Überschwemmungen können diese beschädigen oder gar zerstören. Zusätzlich zum ideellen Wertverlust, der mit der Schädigung des kulturellen Erbes einhergeht, führt dieser auch zu einem Rückgang der Touristenströme, d.h. zu verminderter Wirtschaftsleistung.

Bodenabsenkungen

Unter der Einwirkung anhaltender Trockenheit und andauernder Wärme verdichten sich Böden, was zu Bodenabsenkungen führen kann. Dieses Phänomen konnte in Großbritannien unter anderem während der Hitzeperiode im Sommer 2003 beobachtet werden. Durch die Absenkungen entstehen teilweise erhebliche Schäden an Gebäuden.

³⁸ Munich Re (2003), hier werden Schäden am kulturellen Erbe unter „sonstigen Schäden“ verrechnet.

³⁹ Gesamtschäden Gebäude: 85,5 Mrd. € x 0.15 x 0.9 x 1/2 bzw. 1/5.

⁴⁰ Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2005 Teil I Nr. 26, ausgegeben zu Bonn am 9. Mai 2005.

Die Forschung zu möglichen Bodenabsenkungen in Folge erhöhter Temperaturen und Trockenheit ist in Deutschland noch in der Frühphase. Für Großbritannien liegen jedoch detaillierte Schätzungen zur Schadenshöhe aus dem UKCIP Programm⁴¹ sowie aus der DEFRA-Studie zur Quantifizierung der Kosten des Klimawandels und von Anpassungsmaßnahmen⁴² vor. Der geschätzte kumulierte Gegenwartswert der Schäden durch Bodenabsenkungen in Großbritannien für den Zeitraum 2011-2100 liegt zwischen 3,45 Mrd. und 11,7 Mrd. GBP (Werte von 2003).

Da insgesamt sehr wenig Datenmaterial zu Bodenabsenkungen durch Klimawandel – und nicht durch Bergbau – vorliegen, kann derzeit nur sehr wenig über den Verlauf der Schadenskurve und die entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung ausgesagt werden. Da Böden sich nicht unbegrenzt verdichten, kann davon ausgegangen werden, dass die Absenkungen nur über einen begrenzten Zeitraum erfolgen und dann zum Stillstand kommen. Für den Zeitraum 2100 können jedoch die Werte aus Großbritannien mit Hilfe eines Schadenstransfers übertragen werden (vgl. Tabelle 16).

Tabelle 16: Kosten im Gebäudebereich durch Bodenabsenkung

| Ereignis | Kosten durch Bodenabsenkungen UK | Anpassungsfaktor | Kosten Bodenabsenkung D |
|---------------------------|--|---|-------------------------|
| Trockene Sommer und Hitze | Kosten UK 2011 – 2100: 3,5 bis 11,7 Mrd. GBP = 4,4 bis 14,8 Mrd. € → Annahme: Gleichverteilung über Zeit, d.h. 50–160 Mio. € p.a. | Immobilienwert D: 10,6 Bil.€ Immobilienwert UK: 7,3 Bil.€ ⁴³ Anpassungsfaktor: 1,5 | 70 bis 240 Mio. € p.a. |

Wie sich diese Schäden auf die öffentliche Hand auswirken, ist jedoch nur schwer zu quantifizieren. Die Versicherungsdichte bei Elementarschäden ist in Deutschland sehr hoch, so dass die Schäden weitgehend versichert wären. Jedoch ist mit einem Anstieg der Versicherungsprämien zu rechnen, was sich negativ auf die Kaufkraft und längerfristig auf das BIP-Wachstumspotential auswirken kann. Diese Wirkung wird jedoch wie oben beschrieben für diesen Bereich nicht quantifiziert.

Frostschäden

Frostschäden treffen heute in erster Linie Rohbauten, d.h. sie haben nur ein begrenztes Wirkungsfeld. Die Abnahme der Frosttage aufgrund milderer Winter wird daher zu keinen nennenswerten Minderungen bei Gebäudeschäden führen. Zudem ist der Großteil der Schäden versichert und wird daher die öffentlichen Haushalte nicht direkt belasten. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Abnahme der Frostschäden zumindest teilweise zu einer Entlastung der Gebäudeversicherer und somit auch der Prämienzahler führt. Letztere können diese zusätzlichen Finanzmittel anderweitig investieren bzw. konsumieren. Die veränderte Ausgabenstruktur kann u. U. zu zusätzlichem Wachstum und höheren Steuereinnahmen führen. Sowohl in der Literatur als auch bei den Statistiken zu Ver-

⁴¹ Hunt (o.J.b).

⁴² Hunt und Taylor (2006).

⁴³ Aboutproperty,co.uk (2008).

sicherungsschäden werden Frostschäden jedoch nicht weiter thematisiert. Daher ist es hier nicht möglich, die Wirkungen weiter zu quantifizieren.

Auswirkungen milderer Winter auf die Bauwirtschaft

Die Bautätigkeit unterliegt in Deutschland einer starken jahreszeitlichen Schwankung, da in der sogenannten Schlechtwetterphase zwischen November und März Hoch- und Tiefbau nur in begrenztem Umfang möglich ist. Die unstetige Auslastung der Baukapazitäten verursacht erhebliche Kosten für die Branche – unter anderem durch Mehrkosten für Winterbauschutzmaßnahmen, die ungleiche Ausnutzung von Baumaschinen und die Abwanderung von Arbeitskräften.⁴⁴ Daneben tragen die Unternehmen über eine Umlage zur Finanzierung von Unterstützungsleistungen für Bauarbeiter bei, die saisonale Arbeitslosigkeit verringern bzw. deren Effekte abmildern soll. Die Kosten für diese Maßnahmen, zu denen z.B. das Saison-Kurzarbeitergeld gehört, beliefen sich im Jahr 2007 auf 411 Mio. Euro.⁴⁵ Die Unternehmensumlage deckte 40% der Kosten ab und die anderen 60% übernahm die Bundesanstalt für Arbeit, d.h. die Kosten werden von allen sozialversichert Beschäftigten mitgetragen.

Inwieweit mildere Winter zu einer gleichmäßigeren Auslastung der Bauwirtschaft über das Jahr beitragen können, ist bisher nicht detailliert untersucht worden. Erste Überlegungen lassen jedoch darauf schließen, dass der Anstieg der Wintermitteltemperaturen nicht zu einer Entlastung der Bauwirtschaft in gleichem Umfang führen wird. Zum einen ist die Temperatur nicht allein ausschlaggebend für die Baubedingungen; Wind und Niederschlag spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle,⁴⁶ wobei beide Wetterphänomene voraussichtlich an Intensität zunehmen werden, insbesondere in den Wintermonaten. Zum zweiten bedeutet ein Anstieg der Mitteltemperatur nicht, dass Frostperioden in der Planung von Bauabläufen ausgeschlossen werden können. Insgesamt wird die Unwägbarkeit der Wetterbedingungen eher zu- statt abnehmen und die Planung dadurch erschwert. Schließlich tragen auch kulturell bedingte Einstellungen zur Unstetigkeit der Bautätigkeit bei: So folgt die Auftragsvergabe einem klaren jahreszeitlichen Muster mit einem Tiefstand in den Wintermonaten.⁴⁷ Hier ist mittelfristig sicher mit einer Anpassung zu rechnen; aufgrund weiterhin bestehender Schlechtwetterrisiken in den Wintermonaten ist aber davon auszugehen, dass sich die Auftragsvergabe langsamer verändern wird als die statistisch gemessenen klimatischen Bedingungen.

Um den Umfang der möglichen Entlastungen für die Baubranche trotz der beschriebenen Einschränkungen abzuschätzen, ziehen wir den Rückgang der Frosttage als Annäherung heran und gehen vereinfachend davon aus, dass die Kosten, die heute durch reduzierte Winterbautätigkeit entstehen, proportional sinken. Die Schätzung unterliegt zwei gegenläufigen Effekten: Wegen der oben beschriebenen Einschränkungen handelt es sich einerseits um eine Überschätzung der Gesamtentlastung. Andererseits sind nur die Kosten für

⁴⁴ RKW (2003).

⁴⁵ Kümmerling et al. (2008), S. 56.

⁴⁶ RKW (2003), S. 15.

⁴⁷ RKW (2003), S. 37.

die Ausgleichsmaßnahmen für Bauarbeiter bekannt, nicht aber weitere Einbußen etwa durch unetwete Auslastung des Maschinenparks, so dass die hier angestellte Schätzung die Wirkungen gleichzeitig auch unterschätzt.

Bis zum Ende des Jahrhunderts werden die Anzahl der Frosttage voraussichtlich um ein Drittel sinken (vgl. S. 16). Ein Rückgang der Mehrkosten für Winterausgleichsmaßnahmen um dieselbe Rate ergibt somit Entlastung von ca. 137 Mio. Euro im Jahr 2100. Wir gehen davon aus, dass die Entlastung im Jahr 2050 bei ca. einem Drittel dieses Wertes liegen wird. Geht man davon aus, dass die derzeitige Lastenaufteilung zwischen Unternehmen und Arbeitslosenversicherung beibehalten wird, wirkt die Hälfte der Entlastung indirekt über einen Anstieg des BIP auf die öffentliche Hand, während die andere Hälfte eine direkte Entlastung des öffentlichen Haushalts darstellt.

Wirkungen für die öffentliche Hand

Nicht versicherte Schäden an Gebäuden haben direkte Auswirkungen auf die öffentliche Hand; verringerte Ausgaben zur Abfederung der saisonalen Arbeitslosigkeit in der Bauwirtschaft stellen dagegen eine Entlastung dar. Die Wirkungen sind für die verschiedenen Einflusskanäle des Klimawandels dargestellt, die folgende Tabelle gibt eine Übersicht.

Tabelle 17: Übersicht: Anstieg der öffentlichen Ausgaben durch Schäden an Gebäuden

| | | 2050 | 2100 |
|----------------------------------|---|-------------------|-------------------|
| Ausgaben durch Sturmschäden | Schäden an öff. Liegenschaften | 112,5 Mio. € | 225,0 Mio. € |
| | Hilfszahlungen | 106,3 Mio. € | 212,5 Mio. € |
| Ausgaben durch Hochwasserschäden | Schäden an kulturellem Erbe | 340,0 Mio. € | 850,0 Mio. € |
| | Schäden an öff. Liegenschaften | 148,5 Mio. € | 310,5 Mio. € |
| | Hilfszahlungen | 189,0 Mio. € | 472,0 Mio. € |
| Entlastung in der Bauwirtschaft | Verringerte Kosten für Abfederung saisonaler Arbeitslosigkeit | -22,8 Mio. € | -68,5 Mio. € |
| Gesamt | | 0,9 Mrd. € | 2,0 Mrd. € |

Die höheren Ausgaben können wahlweise durch die Aufnahme zusätzlicher Kredite, eine Umverteilung der Ausgabenprioritäten oder Steuererhöhungen finanziert werden. Zusätzliche Kredite führen zu zusätzlichen Zinsen und verdrängen somit indirekt ebenfalls andere Ausgaben, bzw. schränken die Möglichkeiten ein, auf andere Probleme reagieren zu können. Steuererhöhungen hingegen verteilen die Kosten, die lokal im Gebiet des Extremereignisses anfallen, auf die Gesamtbevölkerung (Kollektivierung der Belastung).

Neben den in den einzelnen Abschnitten dargestellten direkten Kosten für die öffentliche Hand sind auch indirekte Wirkungen zu beachten. Beeinträchtigungen in der Nutzung von privaten und wirtschaftlich genutzten Gebäuden führen kurzfristig zu Produktionsausfällen. Mittelfristig steigt das BIP durch erforderliche Reparaturen. Längerfristig jedoch kommt es zu Wachstumsverlusten, da die Reparaturleistungen produktivere Investitionen verdrängen und somit das Wachstumspotenzial verdrängen. Positiv kann sich dagegen die gleichmäßigere Auslastung der Baukapazitäten im Jahresverlauf auswirken; eine Kompensation der negativen Effekte ist jedoch nicht zu erwarten. Bei der Quantifizierung wird davon ausgegangen, dass sich die nicht versicherten Schäden bei privaten Akteuren längerfristig auf das

BIP-Wachstumspotential auswirken. Die folgende Tabelle stellt die zu erwartenden BIP-Verluste dar.

Tabelle 18: BIP-Veränderung durch Schäden an Gebäuden und Verlängerung der Bausaison

| | 2050 | 2100 |
|--|---------------------|---------------------|
| Reduktion des BIP durch nicht versicherte Gebäudeschäden bei Privaten durch Stürme | 106,3 Mio. € | 212,5 Mio. € |
| Reduktion des BIP durch nicht versicherte Gebäudeschäden bei Privaten durch Hochwasser | 189,0 Mio. € | 472,0 Mio. € |
| Anstieg des BIP durch gleichmäßigere Auslastung der Baukapazitäten im Jahresverlauf | -22,8 Mio. € | -68,5 Mio. € |
| Gesamt | 272,5 Mio. € | 616,0 Mio. € |

Da in dieser Studie die gesamte Belastung der öffentlichen Hand (Bund, Länder, Gemeinden) betrachtet werden, sind Verteilungswirkungen nicht direkt relevant. Insbesondere bei Extremereignissen ergeben sich jedoch in der Regel sehr hohe lokale oder regionale finanzielle Belastungen, die in vielen Fällen nicht lokal getragen werden können (Belau 2007). Eventuell werden daher durch den Klimawandel auch Änderungen am Länderfinanzausgleich bzw. an der Budgetverantwortlichkeit von Bund, Ländern und Gemeinden notwendig.

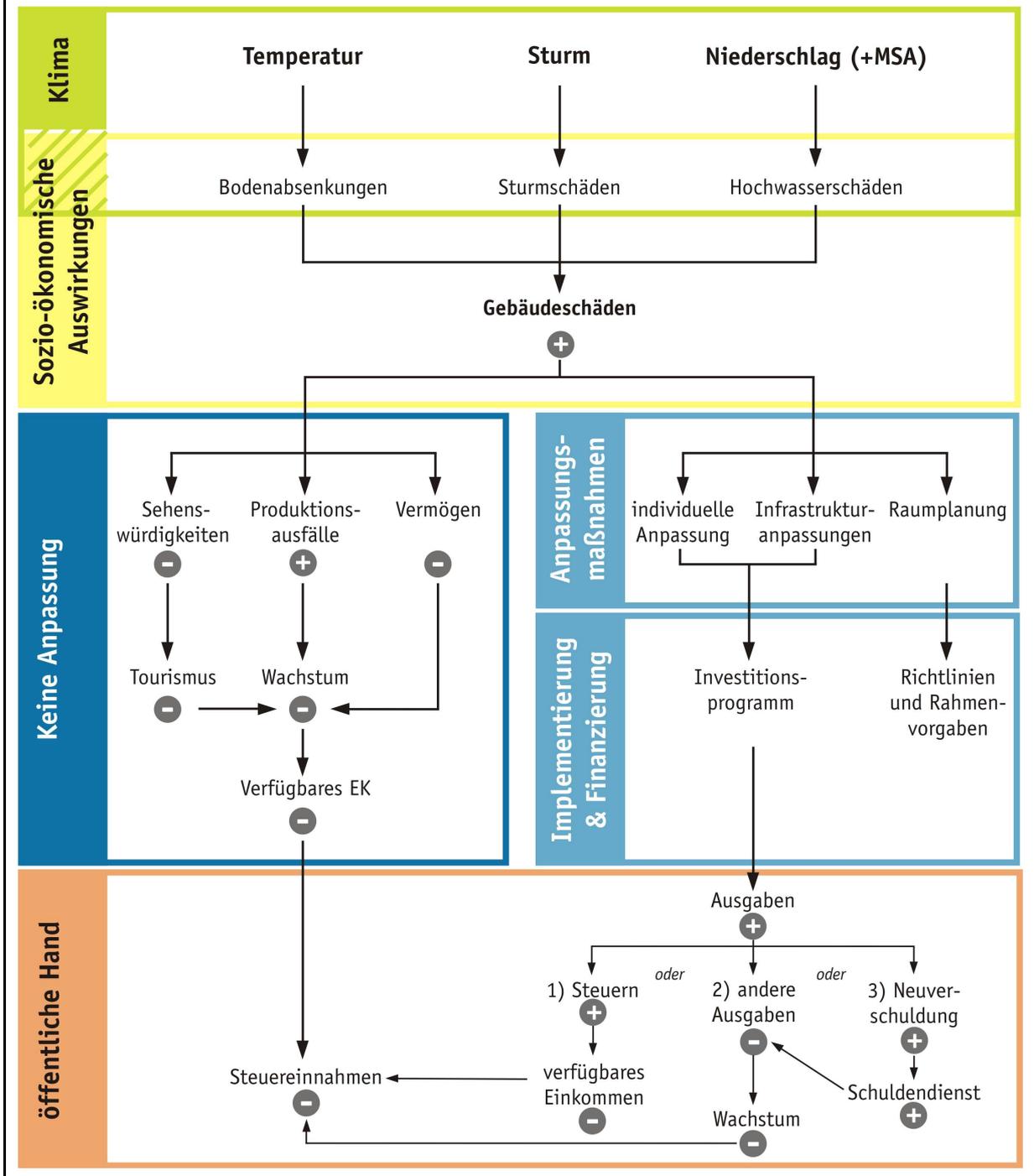
Anpassungsoptionen

Verstärkt auftretenden Schäden an Gebäuden kann mit verschiedenen Anpassungsmaßnahmen entgegen gewirkt werden:

- Zunächst kommen Maßnahmen der Raumplanung in Betracht. Hierüber lassen sich Objektschäden langfristig senken. Grundlage sind staatliche Aktivitäten wie das Erlassen von Richtlinien und sonstigen Rahmenvorgaben.
- Weiter kann der Staat Infrastruktureinrichtungen, z.B. Deiche, entsprechend anpassen. Dadurch können Gebäudeschäden vermieden werden. Grundlage ist i.d.R. ein staatliches Investitionsprogramm.
- Auch individuelle Anpassungsmaßnahmen, z.B. zur Vermeidung von Objektschäden können durch ein Investitionsprogramm gefördert werden (z.B. Dachklammern zur Vermeidung von Sturmschäden).

Während regulatorische Maßnahmen wie Richtlinien und gesetzliche Rahmenvorgaben nur geringfügige Kosten verursachen, belasten Investitionsprogramme die öffentlichen Haushalte stärker.

Abbildung 12: Wirkungspfade Gebäude



Fallstudie 3: Land- und Forstwirtschaft

Land- und Forstwirtschaft und Fischerei erwirtschaften im Jahr 2008 **0,9% des deutschen BIP** und in der Landwirtschaft allein waren im Jahr 2005 1,26 Mio. Voll- und Teilzeitarbeiter beschäftigt.⁴⁸ Im nationalen Vergleich gehören Land- und Forstwirtschaft damit zwar zu den kleineren Wirtschaftssektoren; für ländliche Regionen haben die beiden Sektoren aber dennoch eine große ökonomische und kulturelle Bedeutung.

Auf kaum einen anderen Wirtschaftsbereich in Deutschland wird sich der Klimawandels so direkt auswirken wie auf die Bewirtschaftung von Feldern und Wäldern, wobei die prognostizierte Veränderung sowohl Vorteile als auch neue Risiken birgt. In der Literatur zeigt sich bisher **kein Konsens über die Richtung des Gesamteffekts**;⁴⁹ er wird maßgeblich davon abhängen, wie schnell und effektiv in Deutschland Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden können und wie sich der Weltagrarmarkt entwickelt.

Relevante Klimaveränderungen für die Land- und Forstwirtschaft

- Der **Temperaturanstieg** verspricht grundsätzlich Ertragsgewinne durch mildere Winter, längere Anbauzeiten und ein erhöhtes Pflanzenwachstum. Langanhaltende Hitzeperioden stellen aber gleichzeitig eine Gefahr für die landwirtschaftliche Produktion und für die Wälder dar, besonders dann, wenn sie in Kombination mit Trockenheit auftreten. Neue Temperaturmaxima könnten zudem über der Toleranzgrenze einheimischer Pflanzen liegen. Bei der Massentierhaltung kann Hitzestress zu erhöhter Mortalität führen und das Krankheitsrisiko für den Tierbestand nimmt zu, u. a. durch die Ausbreitung von Krankheitsvektoren in neue Gebiete. Gleiches gilt für Pflanzenschädlinge.
- Die Veränderung der Niederschlagshäufigkeit und -intensität wird sich über die **Wasserverfügbarkeit** entscheidend auf die Produktivität von Land- und Forstwirtschaft auswirken. Sowohl kurzzeitiger Wasserüberschuss als auch Wasserknappheit können sich negativ auf die Erträge auswirken. Kritisch ist daher die vorhergesagte Zunahme der Variabilität der Niederschläge mit Rückgängen der Sommerniederschläge um 20–30% bis zum Ende des Jahrhunderts, auch wenn diese einem ähnlich starken Anstieg der Frühjahrs- und Winterniederschläge gegenüberstehen. Schließlich können häufigere und intensivere **Starkniederschlagsereignisse und Hagel** zu Ernteaufällen führen.
- Es wird erwartet, dass sich der **Anstieg der CO₂-Konzentration** in der Luft positiv auf das Pflanzenwachstum auswirkt und vor allem der Forstwirtschaft höhere Hektarerträge ermöglicht. Die Kehrseite des schnelleren Wachstums ist ein potentieller Rückgang der Holzqualität.⁵⁰
- Ebenso wie Starkniederschlagsereignisse erhöhen häufiger auftretende **Stürme und Hochwasser** das Risiko von Ernteaufällen und den Verlust von Waldbestand in Forsten.

⁴⁸ Statistisches Bundesamt (2009); BMELV (2006).

⁴⁹ Iglesias et al. (2007).

⁵⁰ Ebd.

Sozio-ökonomische Auswirkungen

Landwirtschaft

Die Auswirkungen auf die Landwirtschaft werden regional und in Abhängigkeit der angebauten Fruchtarten sehr unterschiedlich sein. Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse verschiedener Regionalstudien im Überblick.

Tabelle 19: Regionale Simulationen der zukünftigen landwirtschaftlichen Erträge

| Region | Untersuchte Arten | Ertragsänderung | Hauptursache | Quelle |
|-------------------|--|---|--|------------------------------------|
| Hessen | Gerste, Mais, Raps, Weizen, Zuckerrüben, Grünland. | +4 bis -14% bis 2050 +10 % bis 2050 | vorzeitige Abreife wg. hoher Temperaturen, Temperaturanstieg | INKLIM-Projekt: Alcamo et al. 2005 |
| Brandenburg | Winterweizen, Mais. | -7% bis 2050 +8% bis 2050 | Wasserknappheit, Temperaturanstieg | Gerstengarbe et al. 2003 |
| Baden-Württemberg | Apfel, Wein, Silomais, Winterweizen. | Zunahme v. Schädlingen anspruchsvollere Sorten -14% bis 2055 +/- 0 bis 2055 | Temperaturanstieg, Niederschlagsänderung (ohne CO ₂ -Düngung) | KLARA: Stock et al. 2005 |

Insgesamt sind in Mittelgebirgslagen und in Teilen Norddeutschlands, die heute durch feuchtes und kühles Klima geprägt sind, Ertragssteigerungen wahrscheinlich, während in wasserlimitierten Gebieten, insbesondere im Osten des Landes, und auch in Teilen Südwestdeutschlands Produktionsrückgänge zu erwarten sind. Der Anbau wärmelimitierter Kulturen wie Obst, Mais und Wein wird in neue Gebiete ausgeweitet werden können, während in den bisherigen Anbaugebieten günstigere klimatische Bedingungen den Anbau anspruchsvollerer Arten erwarten lassen, mit entsprechend höherer Wertschöpfung pro Hektar.⁵¹

Tabelle 20: Auswirkungen von Extremereignissen auf die Landwirtschaft

| Ereignis | Ertragsrückgang | wirtschaftlicher Schaden |
|---------------------|--|---|
| Hitzesommer 2003 | -12% im Vergleich zu mehrjährigem Durchschnitt | ca. 600 Mio. Euro Schaden ⁵² |
| Elbehochwasser 2002 | | ca. 200 Mio. Euro Schaden ⁵³ |

Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass in allen Anbauregionen die höhere Variabilität des Klimas zu **stärker schwankenden Erträgen** führen wird, so dass die Planungssicherheit insgesamt abnimmt. Dies ist bei Extremereignissen in den letzten Jahren bereits deutlich geworden (vgl. Überblick in Tabelle 20). So verzeichneten die deutschen Landwirte im Hitzesommer 2003 die stärksten Ernteeinbrüche seit 1950. Die Erträge lagen im Mittel 12% unter dem langjährigen Durchschnitt, wobei Brandenburg mit einem Rückgang um 40% am

⁵¹ UBA (2008).

⁵² BMVEL (2003).

⁵³ Bundesregierung (2004).

härtesten getroffen wurde. Dagegen lagen die Erträge in Schleswig-Holstein sogar um 7,9% über dem Durchschnitt.⁵⁴

Schließlich wird für die landwirtschaftlichen Profite entscheidend sein, wie sich der Klimawandel **weltweit auf Angebot und Nachfrage von Agrargütern** auswirkt. Das UBA geht nach ersten Analysen davon aus, dass die in Australien, Indien und Teilen Afrikas erwarteten Ertragsrückgänge bei gleichzeitig steigender Nachfrage neue Expansionschancen für die Landwirtschaft in Deutschland eröffnen. Voraussetzung ist nach Ansicht des UBA, dass nachhaltige Bewirtschaftungspraktiken und gezielte Klimaanpassung eine Übernutzung der Böden und Wasserressourcen verhindern.⁵⁵ Neben der globalen Bevölkerungszunahme könnte insbesondere die Nachfrage nach Bioenergie zu Preissteigerungen führen, wenn die Steigerung der Anteile in dem bisher von EU und USA geplanten Maße fortgeführt wird.

Insgesamt ist auch auf dem Weltmarkt mit einer **zunehmenden Preisvolatilität** auf Grund von Extremereignissen zu rechnen, nicht zuletzt, weil die Kapazität zur Anpassung in vielen Exportländern von Agrarrohstoffen deutlich niedriger liegt als in Deutschland.

Forstwirtschaft

Für die Forstwirtschaft bringt die Klimaveränderung ebenso wie für die Landwirtschaft Chancen *und* neue Risiken. Das BMELV geht auf Grundlage des derzeitigen Wissensstands davon aus, dass die negativen Effekte überwiegen werden, während beispielsweise das Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK) Produktionssteigerungen prognostiziert. Dabei beschränkt sich die Betrachtung jedoch auf Deutschland. Mögliche Preisänderungen auf dem Weltmarkt werden nicht betrachtet.⁵⁶

Positive Auswirkungen sind analog zur Landwirtschaft auf Grund des CO₂-Düngungseffekts und der längeren Vegetationsperiode zu erwarten, sofern am lokalen Standort das Baumwachstum nicht durch Wasserknappheit limitiert ist. Allerdings erreichen viele heimische Baumarten ab einer Erwärmung von über 2°C die Toleranzschwelle und negative Effekte überwiegen. Bisherige Projektionen zeigen, dass die Holzproduktion, je nach Klimaszenario und Bewirtschaftungspraxis, bis 2030 um 5-9% und bis 2070 um 5-20% zunehmen könnte.⁵⁷

Eine Expertenbefragung in 13 Bundesländern ergab, dass unter den **neuen Risiken** durch den Klimawandel häufigere und stärkere Stürme derzeit das größte Gefährdungspotential für die Wirtschaftlichkeit von Forstbetrieben darstellen, gefolgt von längeren Trockenperioden und der höheren Anfälligkeit für Schadensorganismen.⁵⁸ Ein Anstieg der **Sturmschäden** war über die letzten Jahrzehnte bereits festzustellen und Preisverfälle um bis zu 50 % nach einer Überschwemmung des Marktes mit Holz aus Sturmwurf können für kleinere Forstbetriebe durchaus existenzbedrohend sein. Eine Hochrechnung der zu erwartenden Schäden ist jedoch äußerst schwierig, da dazu umfangreiche Annahmen zu Preisen und Mengen des Sturmwurfs erforderlich wären. **Trockenstress** in Folge langanhaltender Dürre wird sich

⁵⁴ Zebisch et al. (2005).

⁵⁵ UBA (2008).

⁵⁶ BMELV Website: http://www.bmelv.de/cln_045/nn_751682/DE/06-Forstwirtschaft/ForstwirtschaftFoerderung.html_nnn=true; Zebisch et al. (2005).

⁵⁷ Zebisch et al. (2005).

⁵⁸ Ebd.

voraussichtlich in Teilen Nordostdeutschlands und im Südwesten am stärksten auswirken. Besonders problematisch sind mehrere trockene Sommer in Folge, da die Bäume in der Regel mehrere Jahre zur vollständigen Erholung benötigen. Quantitative Schadensschätzungen zur Auswirkung von Trockenheit liegen ebenfalls noch nicht vor, da die Unsicherheit hinsichtlich des Sommerniederschlags und der Auswirkungen der steigenden CO₂-Konzentration weiterhin beträchtlich ist.⁵⁹ Gleiches gilt für die **Ausbreitung von Schädlingen und Krankheitserregern**. In ersten Untersuchungen zeichnet sich ab, dass insbesondere die Schädlinge der Fichte (u.a. Borkenkäfer) durch die Klimaveränderung günstigere Bedingungen vorfinden werden; Untersuchungen zu den ökonomischen Auswirkungen gibt es aber bisher nicht.

Ein **Anstieg der Waldbrandgefahr** wird von einigen Forstexperten insbesondere für den Osten des Landes erwartet. Die in der Waldbrandstatistik festgehaltenen Trends der Vergangenheit bestätigen dies insofern, als das im Hitzejahr 2003 die zweithöchste Brandzahl seit 1990 verzeichnet wurde. Die entstandenen Schäden lagen jedoch mit 3,2 Mio. Euro nur 0,7 Mio. Euro über den durchschnittlichen Schadenskosten zwischen 1990 und 2007.⁶⁰ Hinzu kommt, dass der kausale Zusammenhang zwischen Klimawandel und wirtschaftlichen Schäden bei Waldbränden weniger eindeutig ist als in anderen Fällen, weil menschliche Einflüsse eine große Rolle bei der Entstehung von Bränden spielen. Aufgrund der relativ geringen Schäden bisher, der Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Holzpreisentwicklung und der großen regionalen Unterschiede erscheint eine Extrapolation der Waldbrandschäden deshalb zum jetzigen Zeitpunkt nicht sinnvoll.

Anpassungsoptionen in der Land- und Forstwirtschaft

In der **Landwirtschaft** ist die **Anpassung** an die veränderten klimatischen Rahmenbedingungen wegen der großen Vielfalt der Anbauoptionen und den kurzen Rotationzyklen relativ **unproblematisch**. Es ist davon auszugehen, dass die Landwirte viele kurzfristige Maßnahmen wie etwa die Auswahl resistenter und angepasster Sorten und die Optimierung der Bewirtschaftung ohne externe Hilfe umsetzen können. Langfristig sinnvolle Veränderungen im Bereich der Züchtung oder der Bewässerungstechnologie könnten dagegen durch staatlich finanzierte Forschung vorangetrieben werden.

Nur im Osten der Republik, wo nährstoffarme Böden und zunehmende Trockenheit zusammenkommen, sind der Anpassung der landwirtschaftlichen Praktiken Grenzen gesetzt. Hier könnten stattdessen **außerlandwirtschaftlicher Aktivitäten zur Stabilisierung des Einkommens** aufgebaut werden.⁶¹ Die finanzielle Unterstützung der Neuorientierung durch staatliche Mittel wird derzeit diskutiert; hier könnten demnach – zumindest zeitweise – zusätzliche Kosten für die öffentliche Hand entstehen.⁶²

Im Vergleich zur Landwirtschaft ist die Klimaanpassung im **Forstsektor** schwieriger, da wegen der langen Rotationszyklen Veränderung in der Bewirtschaftung erst über lange Zeiträume umgesetzt werden können. Diskutiert werden derzeit die folgenden Maßnahmen:

⁵⁹ Flaig et al. (2003).

⁶⁰ BLE (2008).

⁶¹ Zebisch et al. (2005).

⁶² UBA (2008); Bundestag (2007).

- Umbau von Reinbeständen in standortgerechte stabile Mischbestände mit hoher genetischer Vielfalt;
- Förderung höherer Holzentnahmeraten, um Überalterung des Holzbestandes und die dadurch bedingte Vulnerabilität bei Extremereignissen (Windwurf) und Kalamitäten (Borkenkäfer) zu verringern;
- Feuerprävention und -kontrolle an neue klimatische Bedingungen anpassen.⁶³

Eine besondere Aufgabe ist zudem der Wissenstransfer zu den mehr als 1,3 Mio. privaten Waldbesitzern, die von der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen zu überzeugen sind.⁶⁴

Quantifizierung

Auf Grundlage des bisherigen Erkenntnisstands ist eine **Quantifizierung der ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels auf die Land- und Forstwirtschaft nicht möglich**. Bisherige Untersuchungen deuten zwar darauf hin, dass die deutsche Landwirtschaft unter veränderten klimatischen Bedingungen im Vergleich zu anderen Anbaugebieten unterm Strich profitieren könnte, sofern effektive Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden. Die regionalen Unterschiede innerhalb Deutschland sind aber zu erheblich um aggregierte Szenarien zu berechnen. Zusätzlich müssten umfangreiche Annahmen über die zukünftigen Anbauentscheidungen und die Effektivität von Anpassungsmaßnahmen, z.B. bei der Vorsorge gegen Extremereignisse, gemacht werden. Eine Fortschreibung vergangener Schadenszahlen erscheint bei der Landwirtschaft wenig sinnvoll, da die Landwirte deutlich schneller als Investoren in anderen Sektoren auf Veränderungen reagieren können. Schließlich ist davon auszugehen, dass Mengeneffekte nur eine untergeordnete Rolle für die Profite spielen werden; entscheidender wird sein, wie sich der Klimawandel auf die globale Produktion und dadurch auf die Weltmarktpreise auswirkt. Bei der Forstwirtschaft besteht bisher kein Konsens über den Nettoeffekt der ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels.

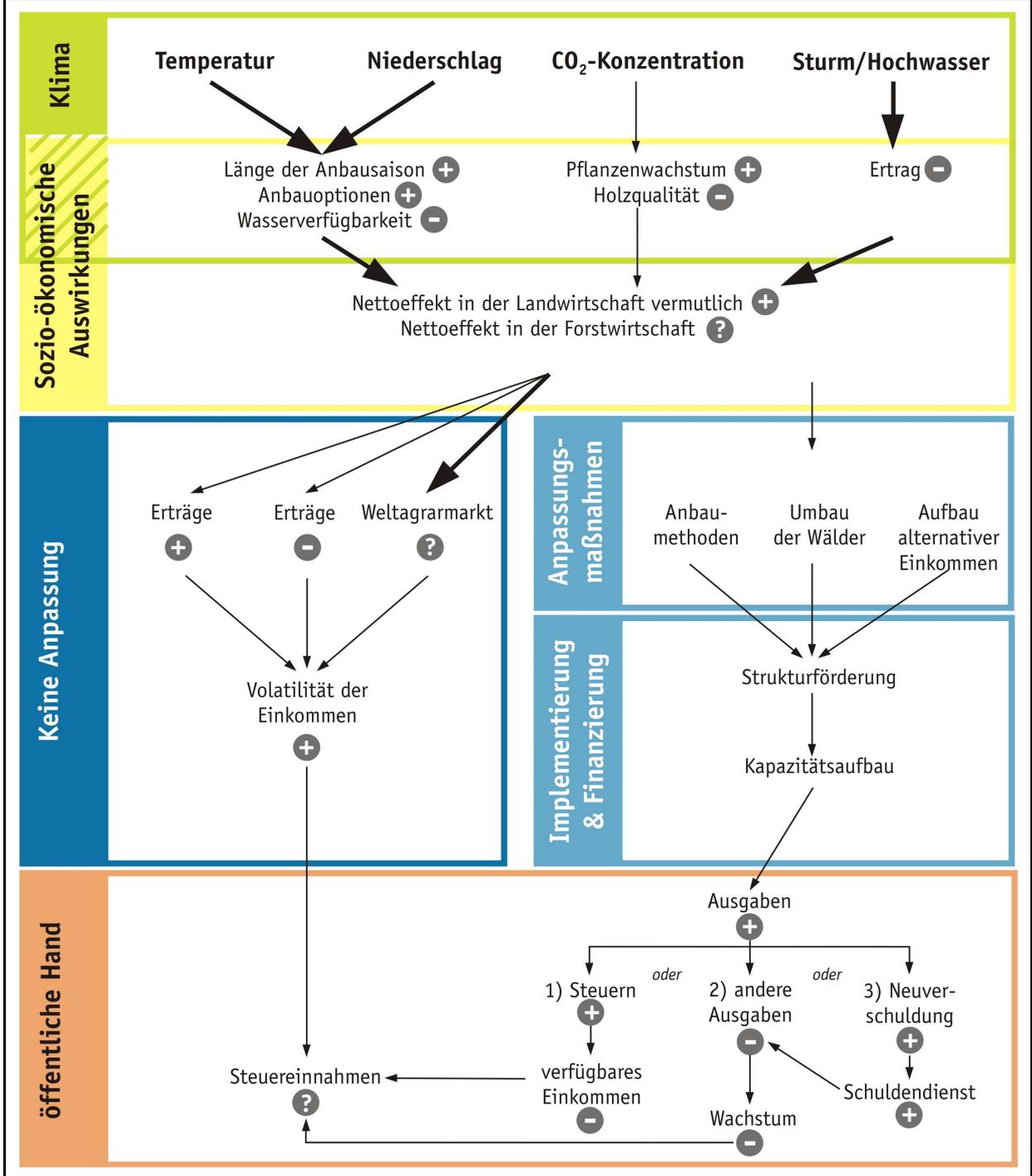
Auswirkungen auf die öffentliche Hand

Da der Gesamteffekt der ökonomischen Auswirkungen auf Land- und Forstwirtschaft unklar ist, kann auch zu den Wirkungen auf die Einnahmeseite der öffentlichen Haushalte zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage gemacht werden. Sollte die positive Entwicklung bei der Landwirtschaft Wirklichkeit werden, könnten hier zusätzliche Steuereinnahmen entstehen. Dagegen erscheint es auch nach derzeitigem Erkenntnisstand wahrscheinlich, dass die Anpassung an den Klimawandel zusätzliche Ausgaben der öffentlichen Hand erfordern wird. Alle Szenarien lassen eine größere Volatilität der land- und forstwirtschaftlichen Erträge erwarten, die zu staatlichen Ausgleichszahlungen führen könnte. Zusätzlich werden einige Regionen, insbesondere im ohnehin strukturschwachen Nordosten, auf staatliche Hilfe angewiesen sein, um die drohenden Verluste in Land- und Forstwirtschaft durch Anpassung abzuwenden bzw. alternative Einkommensquellen aufzubauen.

⁶³ Zebisch et al. (2005).

⁶⁴ BMELV Website.

Abbildung 13: Wirkungspfade Land- und Forstwirtschaft



Fallstudie 4: Energiesektor

Energieversorgung beinhaltet die Bereitstellung von Elektrizität, Gas- sowie Fernwärmeversorgung. Die Energieversorgung ist ein wesentlicher Wirtschaftszweig: die Stromversorger erwirtschafteten 2006 einen Umsatz von 55,5 Mrd. €, die Gasversorger einen Umsatz von 36 Mrd. €. ⁶⁵ Demgegenüber spielt Fernwärme eine vergleichsweise geringe Rolle. Die Bruttowertschöpfung der Energieversorger wird vom Statistischen Bundesamt mit 42 Mrd. € für das Jahr 2005 angegeben. ⁶⁶ Die Schadensschätzung fokussiert auf die Folgen des Klimawandels für die Elektrizitätswirtschaft, da hier die größten Schäden für die Volkswirtschaft zu erwarten sind: Während Fernwärme- und Gasversorgung in vielen Fällen auch kurzfristig substituiert werden können, bestehen in Deutschland bisher keine Alternativen zur Stromversorgung aus dem Netz. Die Forschung im Bereich Kleinstnetze befindet sich noch in der Frühphase, so dass nicht abzuschätzen ist, ab wann hier mit wirtschaftlichen Angeboten zu rechnen sein wird.

Ohne die von den Energieversorgern bereitgestellte Energie in Form von Elektrizität wäre in der aktuellen Situation fast die gesamte wirtschaftliche Leistungsfähigkeit Deutschlands gefährdet. Daher kommt dem Sektor eine strategische hohe Bedeutung zu. Einzelne energieintensive Großindustrien, beispielsweise Chemie, Stahl, Erdöl versorgen sich autark über eigene Kraftwerke, häufig in Form von Kraft-Wärme-Koppelung. Diese Sektoren können daher teilweise besser auf Beeinträchtigungen im Versorgungsnetz reagieren. Kleinere Unternehmen, Haushalte, Dienstleister und die Verwaltung sind jedoch weitgehend vom Netz der Energieversorger abhängig. Viele der weiter unten beschriebenen Beeinträchtigungen treffen jedoch auch die Kraftwerke der Großindustrie, so dass auch hier mit entsprechenden Schäden zu rechnen ist.

Vulnerabilität der Energieversorgung

Sowohl Stürme als auch Hochwasser und Dürre beeinträchtigen die Energieversorgung direkt – durch Schäden an den Sachanlagen – und indirekt – durch verminderte Leistungsfähigkeit der Kraftwerke und Übertragungsnetze. Ein Großteil der Energieversorgung in Deutschland wird aus thermischen Kraftwerken bezogen (BMU 2006), im Jahr 2006 entsprach dies 79% der Stromversorgung. Hierzu zählen Steinkohle-, Kernkraft-, Braunkohle-, Erdgas- sowie Biomasse-Kraftwerke. Alle thermischen Kraftwerke benötigen für den Betrieb Kühlwasser, das jeweils nur teilweise mittels Kondensation wiederverwendet werden kann. Daher müssen für den sicheren Betrieb der Kraftwerke, insbesondere der Kernkraftwerke, ausreichende Mengen an Kühlwasser zur Verfügung stehen. Die Kühlwasserversorgung ist in erster Linie bei anhaltender Trockenheit und daraus resultierenden Niedrigwasserständen gefährdet. Auch hohe Temperaturen beeinträchtigen die Stromerzeugung durch verminderte Kühlleistung des Kühlwassers. Stürme aber auch Hochwasser können zudem die Verteilungsnetze erheblich beschädigen. Insbesondere Überlandleitungen sind durch umstürzende Bäume und Erdbeben gefährdet.

Ein Anstieg der Meeresspiegel birgt tendenziell auch Gefahren durch Überschwemmungen für küstennahe Kraftwerke. Erhöhte Niederschlagsmengen können lokal jedoch auch zu

⁶⁵ BDEW (2007) .

⁶⁶ Statistisches Bundesamt (2009), Kapitel 24 VGR, S. 632.

einem erhöhten Potential für Stromerzeugung aus Wasserkraft führen. Während wärmere Winter zu verminderter Nachfrage nach Wärme in den Wintermonaten führen werden, können heiße Sommer eine sprunghafte Zunahme des Energieverbrauchs durch Klimaanlage bewirken. Besonders kritisch kann diese Entwicklung sein, wenn zeitgleich das Angebot wegen fehlendem Kühlwasser reduziert werden muss.

Wärmere Winter

Neben einer Reihe von negativen Folgen des Klimawandels führen mildere Winter zu Energieeinsparungen durch verminderten Heizbedarf. In Deutschland gehen die gewählten Szenarien von einem Rückgang der Gradzahltag von 3788 (Mittelwert 1960-1991) auf 2761 (2071-2100 im Szenario A2). Dies entspricht einer Minderung von über 27% und einer entsprechenden Minderung des Heizbedarfs, ohne dass weitere Maßnahmen zur Gebäudeisolierung getroffen werden. In Deutschland wird vorrangig mit Öl und Gas geheizt (Gas 48%, Öl 31%, Fernwärme 12,5%⁶⁷), teilweise – schwerpunktmäßig in Ostdeutschland – auch über Fernwärme, in geringem Umfang mit Strom. Die Hauptwirkung dieser Einsparung sind daher niedrigere Öl- und Gasimporte. Fast alle Kosten und Nutzen im Bereich Heizen fallen auf die Privatwirtschaft und die Haushalte, die lediglich ihre Ausgaben verschieben. Die öffentlichen Haushalte sind nur insofern betroffen, als dass sie für die öffentlichen Gebäude (15% der Immobilienwerte) niedrigere Heizkosten hätten. Auch wenn diese Beträge hier nicht quantifiziert werden, kann davon ausgegangen werden, dass der Gesamteffekt eher gering sein wird, zumal nicht alle öffentlichen Gebäude beheizt werden (Tiefbauten etc.). Verglichen mit dem Referenzszenario ohne Klimawandel, handelt es sich hierbei eindeutig um einen Nutzen aus der Erwärmung. Bei Beheizung mit Gas werden somit rund 2,5 Mrd. € jährlich eingespart,⁶⁸ noch einmal so viel durch Einsparungen bei anderen Energieträgern. Der Staat hat im Jahr 2006 7,7 Mrd. € für den Unterhalt seiner Immobilien ausgegeben⁶⁹. Unter der Annahme, dass ca. 25% Prozent dieser Kosten Heizkosten sind und ausgehend davon, dass in öffentlichen Gebäuden ebenfalls 27% der Heizkosten eingespart werden können, ergibt sich somit eine Ersparnis für die öffentlichen Haushalte in Höhe von ca. 500 Mio. €.

Niedrigwasser und Hitze

Niedrigwasserstände führen von reduzierter Leistungsfähigkeit der Kraftwerke bis zum völligen Ausfall, respektive Notabschaltung. Hohe Wassertemperaturen führen zu verminderter Kühlleistung.

Im Jahr 2006 musste der französische Versorger Electricité de France (EDF) Strom aus dem EU Verbundnetz hinzukaufen, da die heimischen Fließgewässer eine zu hohe Temperatur aufwiesen, um die erforderliche Kühlung zu gewährleisten.⁷⁰ Zusätzlich untersagten Umweltschutzbestimmungen den Betreibern, warmes Kühlwasser in die ohnehin aufgeheizten Gewässer einzuleiten.

⁶⁷ BDEW (2007).

⁶⁸ Gasverbrauch Heizung Haushalte 25,5% * Gasumsatz 36,6 Mrd. € * 27 % Minderung.

⁶⁹ Statistisches Bundesamt (2008b).

⁷⁰ BMU (2007).

Die Hitzewelle im Jahr 2003 hat in Frankreich zu einer Reduktion der Leistung in (Kern-)Kraftwerken geführt. Einzelne Kraftwerke erhielten Sondergenehmigungen zum Betrieb unter erschwerten Bedingungen.⁷¹ Die Gesamtkosten der Hitzeperiode betragen für Frankreich 0,1 bis 0,2% des BIP oder 15 bis 30 Mrd. €. ⁷² Diese Kosten beinhalteten sämtliche finanziellen Belastungen. Der Anteil der Kosten für die Energiewirtschaft ist nicht separat ausgewiesen. Umgerechnet auf Deutschland entspräche dies, bei einem BIP von 2,163 Bn. € in 2003 (Statistisches Bundesamt 2009), einem Schaden durch eine entsprechenden Hitzewelle in Höhe von 2 bis 4 Mrd. €. Der Anteil der Energiewirtschaft an den Schäden entsprechend dem Anteil an der Bruttowertschöpfung betrüge demnach (3,3% der Bruttowertschöpfung) ca. 140 Mio. €.

Aufgrund der hier verwendeten Klimaprognosen muss sowohl mit einem Anstieg der Mitteltemperatur als auch mit einer Zunahme von Tagen mit Temperaturen über 30°C gerechnet werden: Ein Hitzesommer wie 2003 wird in 80 Jahren alle 2 Jahre auftreten.⁷³ Insgesamt führt dies zu einer verminderten Leistungsfähigkeit der thermischen Kraftwerke.

- Für das Jahr 2020 rechnen wir mit einer Minderung der Kapazität von 10%.
- Hierbei ist bereits berücksichtigt, dass der Anteil der erneuerbaren Energien in Deutschland von 12% im Jahr 2006⁷⁴ auf bis zu 47% im Jahr 2020 steigt.⁷⁵
- Ab 2020 rechnen wir vorerst mit einer Stagnation des Anteils erneuerbarer Energien im Bereich um 50%. Erneuerbare Energien beinhalten jedoch auch heute schon 26% Biomasse, d.h. Energie aus thermischen Kraftwerken.
- Aufgrund der demographischen Entwicklung in Deutschland kann davon ausgegangen werden, dass der Stromverbrauch in Deutschland langfristig stagniert.

Die Minderung der Kraftwerkskapazität der thermischen Kraftwerke muss u.U. durch zusätzliche Kraftwerke bzw. technische Maßnahmen in den Kraftwerken aufgefangen werden. Die Strom- und Gaswirtschaft investiert jährlich ca. 6 bis 7 Mrd. € in Netze und Erzeugung bzw. Speicherung,⁷⁶ wobei die Investitionen i.d.R. zyklisch verlaufen. Die Belastungen durch den Klimawandel könnten zu einer Verkürzung des Zyklus führen. In diesem Fall lägen die jährlichen Investitionen entsprechend höher.

Dieser Betrag wird annähernd konstant bis ins Jahr 2100 fortgeschrieben, da die demographische Entwicklung die zusätzliche Belastung durch weiterhin steigende Temperaturen weitgehend kompensiert. Diese klimatische bedingte Belastung birgt relativ geringe Unsicherheiten. Die Bandbreite und Wahrscheinlichkeiten entsprechen denen der zugrundeliegenden Klima- und sozio-ökologischen Szenarien.

⁷¹ UNEP (2004).

⁷² EEA (2008), S. 170ff.

⁷³ Siehe Annahmen in Kapitel 2.

⁷⁴ BDEW (2007).

⁷⁵ BEE (2009).

⁷⁶ BDEW (2007).

Meeresspiegelanstieg

In Deutschland sind insbesondere die Kernkraftwerke Brunsbüttel, Unterweser, Brokdorf sowie Emsland durch ihre küstennahe Lage exponiert. Eine konkrete Risikoabschätzung liegt derzeit nicht vor. Eine akute Gefährdung der Bevölkerung kann ausgeschlossen werden, da die Kraftwerke hermetisch abgeschottet werden können. Nach derzeitigem Stand hält Deutschland auch weiterhin am Ausstieg aus der Kernenergie fest. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die betroffenen Kraftwerke rückgebaut sind, bevor die entsprechenden Küstenabschnitte durch den Meeresspiegelanstieg massiv gefährdet werden. Das letzte Kernkraftwerk soll im Jahr 2022 vom Netz gehen.⁷⁷ Dessen ungeachtet bedroht der Meeresspiegelanstieg sämtliche weiteren Einrichtungen zur Energieversorgung im küstennahen Raum (vgl. Fallstudie Meeresspiegelanstieg).

Hochwasser und Sturm

Wie in der Fallstudie zu Schäden an Gebäuden beschrieben, verursachen Hochwasser und Sturm direkte Schäden sowohl an den Kraftwerken und Umspannwerken selber, als auch an den Überlandleitungen. Die Gesamtschäden an der öffentlichen Infrastruktur beliefen sich nach dem Elbehochwasser 2002 auf 3,4 Mrd. €, die an betrieblichem Kapital auf 1,7 Mrd. € (Munich Re 2002). Der Anteil der Schäden an Einrichtungen der Energieversorgung ist nicht separat ausgewiesen. Aufgrund des Anteils der Energieversorgung am BIP in Höhe von 3,3%⁷⁸ können die Schäden im Bereich Energieversorgung auf ca. 170 Mio. € je entsprechendes Hochwasser geschätzt werden. In der Schweiz hat die Energieversorgung einen Anteil von 7,5% an der gesamten öffentlichen Infrastruktur.⁷⁹ Aufgrund der ähnlichen sozio-ökonomischen Situation in Deutschland kann dies als Näherungswert auch für Deutschland herangezogen werden. Hieraus ergäbe sich dann ein Schadensvolumen von 340 Mio. € je entsprechendes Hochwasserereignis. Nach unseren Annahmen wird dieses Ereignis im Jahr 2050 alle fünf Jahre und 2100 alle 2 Jahre auftreten.

Wasserkraft und Niederschlagsmengen

Wasserkraft wird in Deutschland vor allem im Mittelgebirge und im Alpenraum zur Stromerzeugung genutzt. Sowohl die Berechnungen mithilfe von REMO (Jacob et al. 2008) als auch mit WETTREG (Spekat et al. 2007) kommen zu dem Ergebnis, dass sich die Niederschlagsmengen erheblich weniger sicher vorhersagen lassen als beispielsweise die Temperaturänderungen. In der Tendenz gehen die Studien von einer im Mittel konstanten Niederschlagsmenge für Deutschland aus, die jedoch saisonal und regional sehr unterschiedlich ausfallen kann. In Hinblick auf die saisonale Entwicklung bedeutet dies, dass Niederschläge im Sommer ab- und im Winter und Herbst zunehmen, und die Leistungsfähigkeit der Wasserkraft somit in den zukünftig aller Voraussicht nach bedarfsintensiven Sommermonaten sinken wird. Dies ist umso eher möglich, als insbesondere der Alpenraum im Sommer mit Niederschlagsrückgängen rechnen muss. In den Wintermonaten können möglicherweise nicht alle Niederschläge in den Talsperren verwertet werden und müssen

⁷⁷ Siehe Gesetz zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität, Bundesgesetzblatt 2002 Teil I Nr.26.

⁷⁸ Statistisches Bundesamt (2008).

⁷⁹ IRV (2008); Zehnhäusern et al. (2006); Buckowiecki (2008) sowie BAFU (2008).

teilweise ungenutzt abgehen. Schnee als temporärer Speicher wird im Verlauf des 21. Jahrhunderts aufgrund der Temperaturentwicklung eine immer geringere Rolle spielen. Daher kann von einer leicht negativen Tendenz bei der Wasserkrafterzeugung ausgegangen werden.

Anstieg der Spitzenlast in heißen Sommerperioden

Eine Studie von Hitchin et al. (ohne Jahr) wurde die mögliche Zunahme des Energieverbrauchs durch Klimaanlage in Großbritannien untersucht. Unter der Annahme einer Erwärmung um nur 1°C, berechneten die Autoren im Business-as-usual Szenario einen zusätzlichen Energieverbrauch von 60 TWh jährlich im Jahr 2020 (Endpunkt der Studie). Zum Vergleich: Im Jahr 2006 haben Verbraucher in Großbritannien 342 TWh an Elektrizität verwendet (Eurostat 2008). Somit entspräche dies einer Zunahme des Bedarfs um 17,5% bis zum Jahr 2020. Da für Deutschland keine entsprechenden Schätzungen vorliegen, gleichzeitig aber mit einem signifikanten Bevölkerungsrückgang gerechnet werden muss, kann, unter günstigen Bedingungen, davon ausgegangen werden, dass der Strombedarf in Deutschland insgesamt konstant bleibt. Weitere Faktoren, die diese Annahme unterstützen sind bestehende Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. Dennoch führen hohe Spitzenlasten im Sommer zu Mehrkosten, da die Energieversorger entsprechende Stromkapazitäten gerade dann bereitstellen müssen, wenn thermische Kraftwerke aufgrund von Niedrigwasser und erhöhten Kühlwassertemperaturen vermindert leistungsfähig sind.

Die heißen Sommerperioden führen auch zu einem erhöhten Bedarf, öffentliche Gebäude zu klimatisieren. Hierdurch entstehen Mehrkosten in unbekannter Höhe.

Wirkung auf die öffentliche Hand

Die öffentliche Hand ist direkt und indirekt mit der Energiewirtschaft verbunden: Direkt über die 725 kommunalen Energieversorger, die ca. 50% der Versorgung stellen⁸⁰ sowie über die eigenen Energiekosten. Indirekt über die Stromsteuer und andere Energiesteuern, die direkt vom Energieverbrauch abhängen, aber auch über Steuern auf die Erträge der Energiewirtschaft und die Mehrwertsteuer. Die Steuern und Abgaben auf Strom und Gas belaufen sich derzeit auf 4,6 Mrd. € (Gas: 2006) bzw. 13,6 Mrd. € (Strom: 2007).⁸¹ Aufgrund der Bruttowertschöpfung in den Energieversorgungsunternehmen in Höhe von 42,8 Mrd. € im Jahr 2006⁸² fallen zusätzlich weitere Steuereinnahmen an.

Durch sinkende Versorgungssicherheit ist jedoch die Wirtschaftsleistung insgesamt gefährdet, so dass das gesamte Steueraufkommen massiven Risiken ausgesetzt ist. Die Versorgungssicherheit ist in Deutschland bisher sehr hoch: Im Jahr 2006 wurde die Stromversorgung durchschnittlich für 21 Minuten unterbrochen. In Spanien hingegen lagen die Unterbrechungen 2004 bei 118 Minuten (BDEW 2007). Bis 2100 wird ein Anstieg der deutschen Unterbrechungen auf ein ähnliches Niveau wie in Spanien, d.h. ca. 120 Minuten, erwartet.

⁸⁰ VKU (2009).

⁸¹ BDEW (2007).

⁸² Statistisches Bundesamt (2008a).

Kemfert (2007) prognostiziert eine zusätzliche Belastung der deutschen Volkswirtschaft mit bis zu 300 Mrd. € durch klimabedingte erhöhte Energiekosten bis zum Jahr 2100. Diese Kosten gründen auf den hier getroffenen Annahmen sowie zusätzlich steigender Ölpreise aufgrund eingeschränkter Fördermöglichkeiten durch Extremwetterereignisse. Diese Schäden scheinen jedoch insgesamt für Deutschland nicht angemessen, zumal insbesondere im Energiesektor die Nachfrage entsprechend elastisch ist und sich somit dem Preisdruck anpassen kann, siehe hierzu auch IEA (2007).

Zusammenfassung der Kosten und Nutzen:

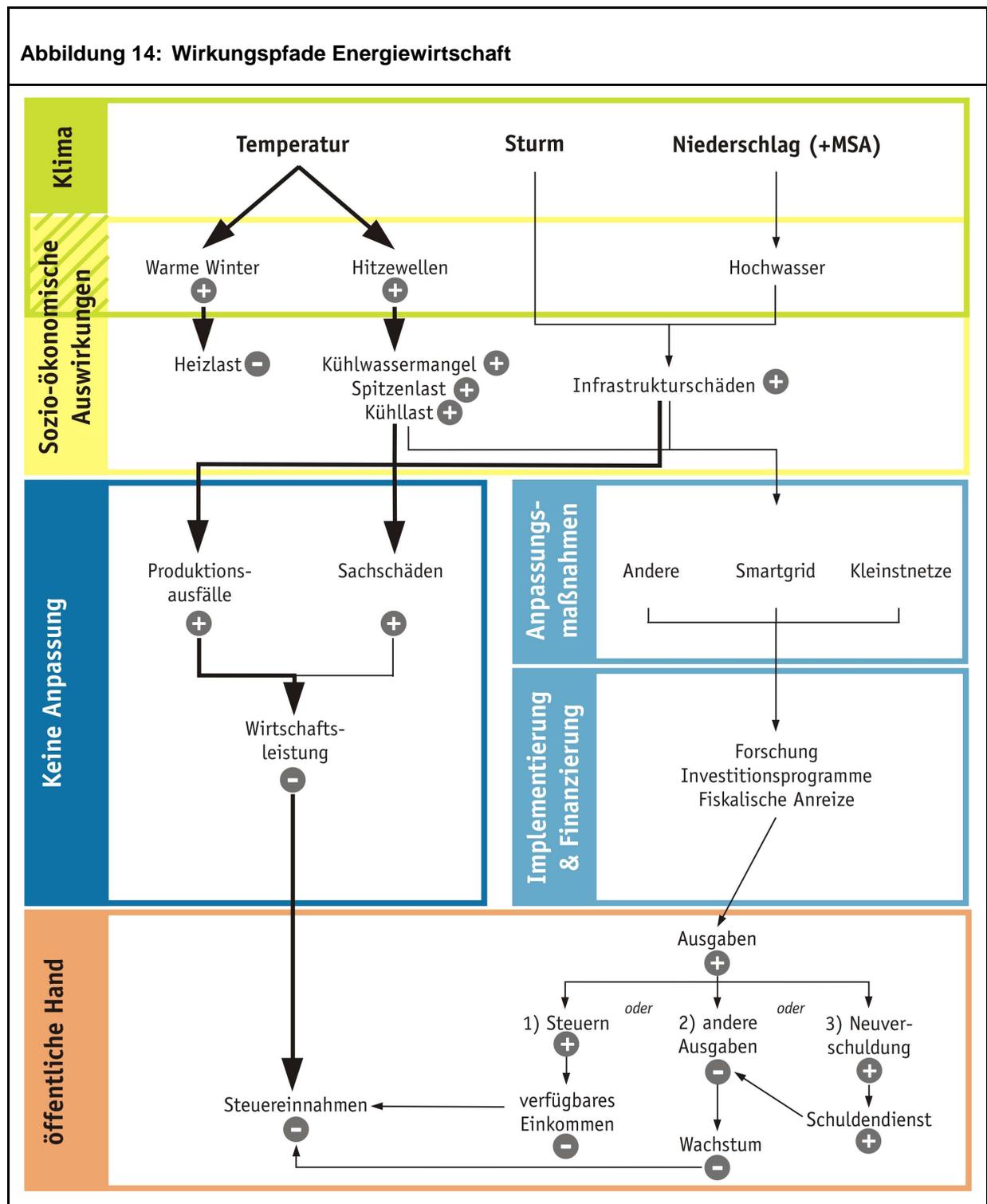
- Je Hitzewelle muss mit Schäden in Höhe von 60 Mio. € durch Leistungsausfälle gerechnet werden.
- Mittelfristig ist mit einer Kapazitätslücke von 10% durch ganzjährig höhere Temperaturen im Kühlwasser zu rechnen. Dieser Schaden entspräche ca. 4 Mrd. €.
- Hochwasserereignisse im Ausmaß des Elbehochwasser führen zu Schäden in Höhe von 340 Mio. € in der Energieversorgung.
- Schäden durch Stürme liegen in einer ähnlichen Größenordnung, wobei hier hauptsächlich die Überlandleitungen der Stromversorgung betroffen sind.
- Schäden durch den Meeresspiegelanstieg sind ohne eine gesonderte Studie nicht zu quantifizieren. Eine Vulnerabilität der Energieversorgung kann jedoch als gegeben gesehen werden.
- Mildere Winter führen zu Einsparungen für die öffentliche Hand in Höhe von ca. 500 Mio. € im Jahr 2100, wobei der Großteil der Einsparungen erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts anfällt.
- Heißere Sommer führen zu Mehrausgaben durch Klimatisierung öffentlicher Gebäude.
- Die öffentliche Hand bezieht direkt 31 Mrd. € jährlich an Steuererträgen aus der Energiebranche. Insgesamt ist die bedrohte Besteuerungsbasis durch die starken Abhängigkeiten anderer Branchen jedoch sehr viel höher.
- Insbesondere ein allgemeiner Produktionsrückgang aufgrund mangelhafter Energieversorgung kann für die gesamte Volkswirtschaft erhebliche Folgen haben.

Als Mittelwert der Schäden im Jahr 2050 kann bei einer geschätzten Kapazitätsminderung von 10% mit 5 Mrd. € gerechnet werden. Schäden aus Extremereignissen werden bis zum Jahr 2100 zunehmen. Auf der anderen Seite nehmen die Kosten für die Anpassung des Kraftwerkparcs ab, was diesen Trend auffängt. Insgesamt werden die Schäden mit hoher Wahrscheinlichkeit im Bereich zwischen 5 und 7 Mrd. € jährlich stagnieren.

Anpassungsoptionen

Der Staat kann die Energieversorger durch fiskalische Anreize, Forschungsprogramme sowie Investitionsförderprogramme darin unterstützen, die Netze und sonstige Infrastruktur zu dezentralisieren, Stichwort Kleinstnetze. Auch sogenannte SmartGrids können helfen, zusätzliche Lasten während einer Hitzewelle zu dämpfen. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis dieser neuen Netztechniken ist noch nicht eindeutig einzuschätzen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass die möglichen Effizienzsteigerungen langfristig die hohen Anfangs-

investitionen aufwiegen. Die öffentliche Hand hat ferner über die Kommunen als Energieversorger direkte Einflussmöglichkeiten, die Anpassung voranzutreiben.



Fallstudie 5: Wasserwirtschaft

Diese Fallstudie beschäftigt sich mit den Konsequenzen des Klimawandels für die Wasserwirtschaft. Sie konzentriert sich auf die Fragestellung, wie der Klimawandel die ökonomischen Rahmenbedingungen einer Wasserbereitstellung in ausreichender Menge und Qualität beeinflusst. Darüber hinaus berühren wasserwirtschaftliche Aspekte eine Vielzahl von Sektoren, die in eigenen Fallstudien untersucht werden, u. a. in den Fallstudien zu Gebäuden und Verkehr, Land- und Forstwirtschaft, Energieversorgung und Gesundheit. Die Implikationen für diese Sektoren werden dementsprechend im Folgenden nicht weiter vertieft.

Physische Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt

Niederschlag und Extremereignisse

Eine zukünftig erhöhte Variabilität der Niederschläge wirkt sich auf die Wasserwirtschaft aus. Es werden geringere Sommerniederschläge und höhere Winterniederschläge prognostiziert. Im Sommer kann dies zusammen mit höheren Temperaturen zu Bodentrockenheit, einem Absinken des Grundwasserspiegels sowie einer geringeren Wasserführung der Flüsse führen. Detaillierte Untersuchungen für Süddeutschland zeigten zwar, dass unter den Vorzeichen des Klimawandels insgesamt mit einer **Erhöhung der Grundwasserneubildung** in einer Größenordnung um 10-20 % zu rechnen ist. Gleichzeitig jedoch nimmt die zeitliche und räumliche Variabilität der Grundwasserneubildung zu, so dass im Einzelnen durchaus Verknappungen des Wasserangebots auftreten können.

Die geringere sommerliche Wasserführung der Flüsse kann nicht nur zu einem Problem fehlender Wassermenge führen, sondern auch zu einer **Verschlechterung der Wasserqualität** beitragen: Schadstoffe liegen in höherer Konzentration vor, außerdem erwärmt sich das Wasser schneller.

Höhere Winterniederschläge, die zudem häufiger in Form von Regen statt von Schnee fallen, vergrößern die **Gefahr von Überschwemmungen**. Die mögliche Zunahme extremer Wind- und Niederschlagsereignisse verstärkt die Gefahr von Erosion und dies bewirkt möglicherweise, dass Schadstoffe, Dünge- und Pflanzenschutzmittel aus unterschiedlichsten Bereichen verstärkt in Grund- und Oberflächengewässer gelangen. Auch Hochwasserereignisse verschlechtern oft die Wasserqualität, beispielsweise durch Umlagerung kontaminierter Sedimente, Überflutung von Industrie- und Kläranlagen sowie privater Heizöltanks. Zusätzlich bergen Starkregenereignisse die Gefahr, dass Mischkanalisationen in Siedlungsgebieten entlastet werden müssen, was zu einem erhöhten Stoffeintrag in Gewässer führt. Krankheitserreger können dadurch stellenweise extrem häufig vorkommen.⁸³

Temperaturerhöhung

Aufgrund der Erhöhung der winterlichen Durchschnittstemperaturen wird weniger Wasser als Schnee gebunden und die Schneeschmelze setzt früher ein. Dies verändert den Jahresrhythmus in der Wasserführung der Flüsse (wie Rhein und Donau) sowie der

⁸³ Bundesregierung (2008), S. 21.

Grundwasserneubildung. In Kombination mit höheren Temperaturen und geringeren Niederschlägen im Sommer kann dies das **Risiko sommerlicher Trockenheit** verstärken.

Die Erwärmung von Gewässern im Sommer führt zu einem abnehmenden Sauerstoffgehalt und zu Verschiebungen im Ökosystem. Insgesamt verschlechtert sich dadurch die **Wasserqualität**. In Binnenseen können „Blüten“ von Blaualgen entstehen, die Giftstoffe produzieren. Im Trinkwasser erhöht sich durch Sommerhitze die Gefahr der Keimbildung. Geringe Sauerstoffgehalte und höhere Wassertemperaturen begünstigen während Niedrigwasserperioden Rücklösungen aus Sedimenten und können so einen Stoffeintrag ins Gewässer nach sich ziehen.⁸⁴

Meeresspiegelanstieg

Durch die Erhöhung des Meeresspiegels kann verstärkt **Salzwasser in das Grundwasser** eindringen.⁸⁵ Dies gefährdet die Eignung des Grundwassers als Trinkwasser und kann zu Veränderungen der Ökosysteme führen. Erste Schätzungen gelangten zu einer Zunahme des Salzwassereindringens in die Marschenböden um 10% unter der – pessimistischen – Annahme eines Meeresspiegelanstiegs um 1 m bis 2100.⁸⁶

Sozio-ökonomische Wirkungen

Wasserversorgung

Hinsichtlich der verfügbaren *Menge* an Trinkwasser werden aufgrund des Klimawandels **keine grundsätzlichen Probleme in der Trinkwasserversorgung** erwartet, da Trinkwasser in Deutschland überwiegend aus lokal vorhandenen Ressourcen des Grundwassers und nur zu rund 25% aus Uferfiltrat oder Oberflächenwasser (z.B. Talsperren) gewonnen wird.⁸⁷ Wie bereits erwähnt, wird insgesamt eher von einer verstärkten als von einer verringerten Grundwasserneubildung ausgegangen. Regional und zeitlich begrenzt sind dennoch Wasserknappheiten nicht ausgeschlossen. Bei längeren Trockenheitsphasen und Niedrigwasserperioden können Nutzungskonflikte bei oberirdischen Gewässern und insbesondere bei oberflächennahen Grundwasserentnahmen (z.B. für Beregnung) entstehen.⁸⁸ Probleme können sich darüber hinaus im Falle von Trinkwassergewinnung aus Uferfiltraten bei der Trinkwasser*qualität* ergeben: Niedrige Sommerwasserstände in Oberflächengewässern erhöhen die Konzentration unerwünschter Stoffe im Wasser. Um eine gleichbleibende Trinkwasserqualität zu gewährleisten, ist damit ein **erhöhter Aufwand für die Trinkwasseraufbereitung** erforderlich.

Kanalisation und Stadtentwässerung

Starkregenereignisse stellen ein Problem für die Stadtentwässerung dar. Zu große Wassermengen führen bei Mischkanalisationen mit Überlaufsystemen dazu, dass Regenwasser mit Abwasser vermischt wird und Abwasser ungereinigt in die Umwelt gelangt. Dies stellt einerseits Herausforderungen an die **Anpassung der Entwässerungssysteme**

⁸⁴ Bundesregierung (2008), S. 21.

⁸⁵ Bundesregierung (2008), S. 48.

⁸⁶ Sterr (2008).

⁸⁷ Bundesregierung (2008), S. 21; Scheele (2006), S. 28.

⁸⁸ Bundesregierung (2008), S. 23.

(siehe unten); da solche Ereignisse andererseits zeitlich und räumlich kaum vorhersehbar sind, ist zu erwarten, dass solche Anpassungsmaßnahmen Schäden nur begrenzt verhindern können.

Wasserwirtschaftliche Folgen des Meeresspiegelanstiegs

In Folge des Meeresspiegelanstiegs sind für die betroffenen Küstenregionen erhebliche **Mehrkosten** sowohl **für die Entwässerung** als auch für die Aufbereitung des Trinkwassers zu erwarten. Untersuchungen aus den 90er Jahren kamen zu dem Ergebnis, dass bei einem Meeresspiegelanstieg um 1 m bis 2100 die küstennahen Flächen, die künstliche Drainage erfordern, je nach regionaler Topographie um 30% bis 100% zunehmen. Die damals geschätzten Mehrkosten für wasserwirtschaftliche Maßnahmen – wie (Aus-)Bau von Entwässerungsgräben und -süden, Neubau von Pumpwerken, neue Brunnenanlagen bei Versalzung des oberflächennahen Grundwassers – betragen bis 2100 rund 500 Mio. DM (255 Mio. €). Nach aktuellem Wissensstand dürften diese Schätzungen an der unteren Grenze liegen, neuere Untersuchungen liegen jedoch nicht vor.⁸⁹ Wegen der erheblichen Unsicherheit der Schätzung wird die genannte Zahl in der quantitativen Abschätzung der Schadenskosten nicht berücksichtigt.

Anpassungsoptionen

Wasserversorgung

Bei einer prognostizierten Zunahme der Trockenperioden im Rahmen des Klimawandels ist davon auszugehen, dass der **Spitzenbedarf** in der Höhe und der Dauer zunehmen wird. Diese Tendenz zeigte etwa der heiße Sommer 2006: In diesem Jahr betrug das Verhältnis aus Spitzenabgabe und durchschnittlicher Abgabe der deutschen Wasserversorger 1,2 bis 1,9 gegenüber 1,0 bis 1,8 im Jahre 2005.⁹⁰ Dies bedeutet, dass die Versorger eine entsprechend hohe Kapazität weiter vorhalten müssen und die Leitungen trotz des insgesamt sinkenden Wassergebrauchs nicht verkleinern können. Schätzungen der finanziellen Auswirkungen liegen allerdings nicht vor. Für Österreich liegt die Schätzung vor, dass die Sommertrockenheit von 2003 in den östlichen Landesteilen zusätzliche Investitionen in die Wasserversorgungsnetze für Industrie und Haushalte in Höhe von 40 Mio. € ausgelöst hat.⁹¹ Angesichts der vorherrschenden zurückhaltenden Einschätzungen für den Handlungsbedarf bei der Trinkwasserversorgung in Deutschland kann bezweifelt werden, dass diese Zahl auf die hiesigen Verhältnisse übertragbar ist.

Als möglichen Beitrag zur Klimaanpassung im Wasserbereich nennt die Deutsche Anpassungsstrategie verschiedene Maßnahmen für eine Reduzierung des Wasserbedarfs durch effizientere Nutzung („**Nachfragemanagement**“).⁹² Wer die Kosten für entsprechende Anpassungsmaßnahmen trägt, ist je nach Fall unterschiedlich (z.B. Industrie, Landwirtschaft, Energiewirtschaft). Die gesamtwirtschaftliche Bewertung ist schwierig: Aus Sicht der einzelnen Nutzer könnte es sich mittelfristig um „no regret“-Maßnahmen handeln, die

⁸⁹ Sterr (2008) und persönliche Mitteilung Horst Sterr vom 10.03.2009. Vgl. auch die Fallstudie „Meeresspiegelanstieg“.

⁹⁰ ATT et al. (2008), S. 22.

⁹¹ Eisenreich (2005), S. 129.

⁹² Vgl. Bundesregierung (2008), S. 23.

insgesamt die Ressourceneffizienz steigern. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht dagegen ist eine weitere Verringerung des Wasserverbrauchs generell nicht von Vorteil, da bereits gegenwärtig die vorhandene Ver- und Entsorgungsinfrastruktur zu wenig ausgelastet ist und in vielen Fällen zusätzliches Spülen von Leitungen erforderlich ist, um eine funktionierende Infrastruktur aufrechtzuerhalten. Unter diesem Gesichtspunkt muss beim Nachfragemanagement der Schwerpunkt auf der Vermeidung räumlicher und zeitlicher Spitzenlasten liegen, weniger auf einer pauschalen Reduzierung des Wasserverbrauchs.

Entwässerung und Schutz vor Überschwemmungen

Die Verbände der deutschen Wasserwirtschaft nennen als mögliche wasserwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen gegenüber einer Zunahme von Starkregen und Hochwässern:⁹³

- den ausreichenden Schutz der wasserwirtschaftlichen Anlagen (z.B. Brunnen);
- ein ausreichendes Stauvolumen bei Talsperren und Kanalnetzen;
- die Anpassung der Sicherheitszuschläge bei der Bemessung von Entwässerungssystemen;
- Änderungen der Betriebsweise.

Die Einführung **allgemeiner Bemessungs- und Sicherheitszuschläge** bei der Dimensionierung des Abwasserkanalsystems ist allerdings in Expertenkreisen **umstritten**. Kritisch gesehen wird eine solche Maßnahme nicht nur wegen des – auch im Vergleich zu Hochwasserereignissen – ausgeprägt lokalen Charakters von Starkregenereignissen, sondern auch wegen der damit verbundenen Investitionskosten, die angesichts der erwarteten rückläufigen Entwicklung beim Gebührenaufkommen nicht zu tragen seien.⁹⁴ Insgesamt wird die Anforderung gesehen, die Siedlungsentwässerung mit neuen Konzepten an ein steigendes Maß von Unsicherheit im Niederschlagsgeschehen anzupassen. Starkregenereignisse können sehr wahrscheinlich auch langfristig keinen vorhersehbaren Risikozonen zugeordnet werden. Eine Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des unterirdischen Kanalnetzes kann die Folgen von Starkregen erfahrungsgemäß nur begrenzt mindern.⁹⁵ Zunehmende Bedeutung wird in der dezentralen Entwässerung des Niederschlagswassers gesehen. Die jüngst erlassene Novelle des Wasserhaushaltsgesetzes sieht dementsprechend vor, dass Niederschlagswasser ortsnah versickert, verrieselt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden soll.⁹⁶

Anpassung der Infrastruktur: Gesamtbewertung

Bei Überprüfungen und ggfs. Anpassungen der vorhandenen Infrastrukturen der Wasserver- und -entsorgung sind die Klimaauswirkungen in einem **engen Zusammenhang anderen**

⁹³ ATT et al. (2008).

⁹⁴ Schmitt et al. (2006).

⁹⁵ Schmitt et al. (2006), S. 758.

⁹⁶ § 55 Absatz 3 Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) nach Artikel 1 des Gesetzes zur Neuregelung des Wasserrechts (WRNG) vom 31.07.2009, Bundesgesetzblatt I S. 2585; Geltung ab 01.03.2010.

Veränderungsprozessen wie dem demographischen und/oder dem wirtschaftlichen Wandel sowie Landnutzungsänderungen zu sehen. Dies gilt zum Beispiel für

- die Anpassung der Kanalsysteme, um Überflutungen von Mischkanalisationen bei Starkregenereignissen zu vermeiden;
- Wasserreservoirs, um Versorgungsengpässe in Trockenzeiten zu vermeiden;
- chemische Trinkwasseraufbereitungen, um der Verkeimung durch zu geringen Rohrdurchfluss oder zu hohe Leitungstemperaturen entgegenzuwirken.⁹⁷

Dementsprechend wird es in der Regel nicht möglich sein, bestimmte wasserwirtschaftliche Maßnahmen eindeutig der Anpassung an den Klimawandel zuzurechnen. Zudem werden möglicherweise Planungen modifiziert und Investitionen verlagert, ohne dass dies notwendigerweise mit Mehrkosten verbunden wäre. Allerdings sind Fälle zu erwarten, in denen die demographische Entwicklung und die Anpassung an den Klimawandel **gegenläufige Anforderungen** stellt: Während zurückgehende Verbräuche und Nutzerzahlen für eine kleinere Dimensionierung sprechen, erfordert die erwartete stärkere Schwankung der Wassermenge die Anpassung der Infrastruktur an eine größere Bandbreite von Situationen – eine größere Kapazität der Trinkwasserförderung in trockenen, heißen Sommern ebenso wie die Anpassung von Kanalisation und Kläranlagen an größere Wassermengen. In der Tendenz ist zu erwarten, dass das **Erfordernis einer größeren Flexibilität der Infrastruktur** zu höheren Kosten führt.

Einbeziehung von Folgen des Klimawandels in das integrierte Flussgebietsmanagement unter der Wasserrahmenrichtlinie

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie⁹⁸ (WRRL) regelt das integrierte Flussgebietsmanagement: das koordinierte, länder- und staatenübergreifende Management von Schutz und Nutzung aller Gewässer in einem Flussgebiet mit dem Ziel, einen guten Gewässerzustand zu erreichen. Die Auswirkungen des Klimawandels werden zukünftig für Gewässer und deren Management zunehmend an Bedeutung gewinnen. Hierbei ist zu prüfen, ob die Monitoringprogramme der WRRL ausreichen, um diese Auswirkungen belastbar zu erfassen und zu bewerten.

Für die WRRL sind daher bei der Aufstellung der Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne (erstmalig bis Ende 2009, danach im 6-Jahreszyklus) Maßnahmenalternativen den Vorzug zu geben, bei denen absehbar ist, dass sie auch unter einem breiten Spektrum von Klimafolgen robust und effizient den Anforderungen entsprechen. Dies gilt insbesondere für investive Maßnahmen mit einer langen Bestandsdauer.

Wirkungen auf die öffentliche Hand

Ausgabenseite

Für die Erhaltung und Modernisierung der **Wasserver- und entsorgungsinfrastruktur** und ihrer Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen werden – auch unabhängig vom

⁹⁷ Bundesregierung (2008), S. 22.

⁹⁸ Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik

Klimawandel – insgesamt in den kommenden Jahrzehnten erhebliche Investitionen erforderlich sein. Dies sind zwar zu einem großen Teil Ausgaben der öffentlichen Hand (im Wesentlichen kommunale Unternehmen), sie werden jedoch durch die Trinkwasser- und Abwassergebühren gedeckt, soweit am Prinzip einer kostendeckenden Preisgestaltung festgehalten wird. Analoges gilt für die Mehrkosten, die entstehen, wenn eine aufwendigere Trinkwasseraufbereitung erforderlich wird. Letztendlich müssen somit die Mehrkosten über steigende Gebühren von den Verbrauchern getragen werden. Gesamtwirtschaftlich ist aufgrund steigender Preise im Wasser- und Abwasserbereich mit Steuermindereinnahmen in anderen Bereichen zu rechnen.

Auch wenn die Wasserver- und entsorgung generell gebührenfinanziert ist, werden dennoch Investitionen in die Wasserentsorgungsinfrastruktur oft anteilig vom Land bzw. der Kommune finanziert; der Anteil hängt von der Art der Maßnahme und den Landesgesetzen ab. So fällt etwa die Entwässerung öffentlicher Straßen und Plätze in die Zuständigkeit der Kommunen. Eine andere Frage ist, inwieweit es künftig erforderlich werden könnte, bestimmte wasserwirtschaftliche Maßnahmen verstärkt aus öffentlichen Haushalten zu finanzieren. Herausforderungen an die kostendeckende Gebührenfinanzierung zeichnen sich heute besonders in demographisch „schrumpfenden“ Regionen ab, in denen steigende Kosten auf eine geringere Anzahl von Nutzern umgelegt werden müssen. Sollten regional also in größerem Maße Investitionen zur Anpassung an den Klimawandel erforderlich werden, wäre eine verstärkte Finanzierung solcher Maßnahmen aus öffentlichen Mitteln zu erwägen. Falls entsprechende Investitionen wegen zu knapper Mittel nicht getätigt werden, ist mit erhöhten Schadenskosten oder mit höheren Anpassungsausgaben außerhalb der Wasserwirtschaft zu rechnen, die dann teilweise auch wiederum auf die öffentliche Hand zurückfallen.

Die Kosten für das **integrierte Flussgebietsmanagement nach der Wasserrahmenrichtlinie** werden in erster Linie von der öffentlichen Hand getragen (Bund, Länder, teilweise EU-Mittel). Soweit der Klimawandel aufwendigere Maßnahmen zur Erreichung eines guten Gewässerzustands erforderlich macht, könnte dies zu Mehrausgaben führen – ob und in welchem Umfang ist jedoch gegenwärtig nicht abzusehen.

Einnahmenseite

Wie bereits oben unter „Ausgaben-Seite“ erwähnt, führen erhöhte Investitionen in Infrastruktur und Trinkwasseraufbereitung zu erhöhten Gebühren und damit einer verstärkten Kostenbelastung für die Verbraucher, die tendenziell zu Mindereinnahmen der öffentlichen Hand an anderer Stelle führen wird. Hinzu kommen mögliche erhöhte Investitionskosten für die Industrie, die in Deutschland nur zu einem geringen Teil an die öffentliche Wasserversorgung gebunden ist und 96% ihres Wasserbedarfs durch Eigenförderung deckt.⁹⁹ Da jedoch die Wasserversorgung in Deutschland nach aktuellem Stand der Erkenntnisse nur in geringem Maße durch den Klimawandel gefährdet ist, ist hier nicht mit Wirkungen auf die öffentlichen Einnahmen zu rechnen. Stärker fallen möglicherweise die gesamtwirtschaftlichen Folgekosten von Schäden durch Starkregenereignisse ins Gewicht.

⁹⁹ ATT et al. (2008).

Abschätzung zur Gesamt-Quantifizierung

Die Gesamtwirkung des Klimawandels im Wasserektor auf die öffentlichen Finanzen zu quantifizieren, ist nicht nur wegen der vielfältigen Unsicherheitsfaktoren schwierig; hinzu kommen die ausgeprägt dezentralen Strukturen der Wasserwirtschaft, mit einer Vielzahl kommunaler Betriebe. Um dennoch eine Abschätzung möglicher Größenordnungen finanzieller Wirkungen zu geben, wird die folgende überschlägige Rechnung vorgenommen:

- Die qualitative Analyse der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels macht wahrscheinlich, dass am meisten die Kosten für die Anpassung von Entwässerungssystemen an zunehmende Starkregenereignisse ins Gewicht fallen. Daher werden aktuelle Schätzungen des Investitionsbedarfs in der Abwasserentsorgung als Grundlage genommen. Kosten können selbstverständlich auch in anderen Bereichen auftreten (z.B. Anpassung der Trinkwasserversorgung; direkte Schadenskosten durch nicht vermeidbare lokale Überschwemmungen).
- Grundlage ist der aktuell geschätzte Investitionsbedarf in der Abwasserentsorgung von 58,2 Mrd. € für 2006-2020 (difu 2008, siehe Kasten), der einen Jahresdurchschnitt von 3,9 Mrd. € ergibt. Als untere Grenze wird angenommen, dass die Mehrkosten durch den Klimawandel 1% ausmachen (rd. 40 Mio. €), als obere Schätzung 20% (rd. 780 Mio. €).
- Es wird unterstellt, dass 3/4 der klimabedingten Mehrinvestitionen aus Gebühren finanziert werden und 1/4 aus den allgemeinen öffentlichen Haushalten (Kommunen, Länder, Bund). Somit würde die **direkte Belastung der öffentlichen Haushalte zwischen 10 und 190 Mio. € jährlich** liegen.
- Für die Zeithorizonte 2050 und 2100 wird keine Differenzierung vorgenommen. Auf der einen Seite kann angenommen werden, dass bestimmte Investitionen in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts getätigt werden und der Investitionsbedarf danach abnimmt; auf der anderen Seite werden sich die Folgen des Klimawandels in der zweiten Jahrhunderthälfte stärker bemerkbar machen. Hierdurch können sowohl umfangreichere Anpassungsmaßnahmen erforderlich werden, als dies in früheren Investitionsentscheidungen berücksichtigt werden konnte, als auch direkte klimabedingte Schäden zunehmen.

Box: Investitionsvolumina im Trinkwasser- und Abwasserbereich

Zwischen 1990 und 2006 haben die deutschen Wasserversorgungs- und Abwasserbeseitigungsunternehmen mehr als 100 Mrd. € investiert.¹⁰⁰ Hiervon entfielen rund 40% auf den Trinkwasser- und 60% auf den Abwasserbereich. Eine aktuelle Studie des Deutschen Instituts für Urbanistik (difu 2008) untersucht den Investitionsbedarf bei der kommunalen Infrastruktur für 2006–2020. Sie führt die Abwasserentsorgung mit 58,2 Mrd. € als den drittgrößten Posten nach Straßen und Schulen auf (8,3% des Gesamtinvestitionsbedarfs). Der Investitionsbedarf in der Trinkwasserversorgung wird mit 29 Mrd. € (4,1%) angegeben.

¹⁰⁰ ATT et al. (2008); vorläufige Zahlen.

Fallstudie 6: Tourismus

Tourismus ist eine der größten und am schnellsten wachsende Bereich der Weltwirtschaft. Zwischen 1995 und 2007 nahm die Anzahl der Auslandstouristen weltweit um durchschnittlich 4% pro Jahr zu und auch der Inlandstourismus, der für die deutsche Tourismuswirtschaft wichtiger ist als die internationalen Gäste, wächst weiter an.¹⁰¹ Deutschland nimmt als Tourismusziel – gemessen in internationalen Ankünften – den siebenten Platz in der Welt und den fünften Platz innerhalb Europas ein (vgl. Tabelle 21).

Tabelle 21: Kennzahlen des internationalen Tourismus in Europa 2007

| | Internationale Ankünfte (Mio.) | Einkünfte aus int. Tourismus (Mrd. US\$) |
|----------------|---------------------------------------|---|
| Frankreich | 81,9 | 54,2 |
| Spanien | 59,2 | 57,8 |
| Italien | 43,7 | 42,7 |
| Großbritannien | 30,7 | 37,6 |
| Deutschland | 24,4 | 36,0 |
| Türkei | 22,2 | 18,5 |

Quelle: UNWTO 2008.

Der Tourismus ist kein klar abgrenzbarer Wirtschaftssektor, sondern eine Form der Konsumnachfrage, die auf verschiedene Sektoren wirkt, insbesondere auf das Hotel- und Gastgewerbe, den Verkehr und den Einzelhandel in den Zielregionen.¹⁰² Je nach Berechnungsmethode erzielte der Querschnittsbereich Tourismus im Jahr 2007 einen Umsatz zwischen 150¹⁰³ und 185 Mrd. € und beschäftigte 2,8 Mio. Menschen.¹⁰⁴ Der Tourismus ist mit einem **Anteil von 3,2 % am BIP** somit ein bedeutender Faktor der deutschen Wirtschaft.

Tourismus und Klima stehen in wechselseitiger Abhängigkeit zueinander. Einerseits gehören die klimatischen Bedingungen im Hinblick auf die Wahl des Reiseziels für viele Touristen zu den bestimmenden Faktoren, so dass davon auszugehen ist, dass die Klimaveränderung die Destinationswahl stark beeinflussen wird. Andererseits trägt der Tourismussektor insbesondere über die verkehrsbedingten Emissionen wesentlich zum Klimawandel bei. Regulatorische Maßnahmen zur Kontrolle der Treibhausgasemissionen wie etwa die Einbeziehung des Luftverkehrs in den EU-Emissionshandel werden sich daher durch eine Verteuerung von Mobilität in besonderem Maße auf die Tourismusbranche auswirken.¹⁰⁵

Im Einzelnen wirken sich folgende **physische Einflussfaktoren** auf Tourismusangebot- und nachfrage aus:

- Ein **Temperaturanstieg** um bis zu 2,5°C im Sommer und bis zu 4°C im Winter bis 2100 hat für den Tourismussektor in Deutschland sowohl Vor- als auch Nachteile. Für den Strand- und Badetourismus an den Küsten bedeutet der Temperaturanstieg größere Attraktivität für Binnen- und Auslandstouristen, zumal traditionelle Ziele am Mittelmeer im

¹⁰¹ UNWTO (2008); DRV (2008).

¹⁰² Ahlert (2003).

¹⁰³ DTV (2008). Die Zahl bezieht sich auf Übernachtungen in Beherbergungsstätten mit neun und mehr Betten.

¹⁰⁴ DZT (2008).

¹⁰⁵ Ehmer und Heymann (2008).

Hochsommer zunehmend unter Hitze- und Trockenperioden leiden werden. Auf der andern Seite verschlechtert die Erwärmung die Bedingungen für den Skitourismus, besonders in den Mittelgebirgen.

- Ein ähnliches Bild zeigt sich beim **Niederschlag**. Abnahmen der Sommerniederschläge um bis zu 20%, wie vom WETTREG-Modell für 2071-2100 prognostiziert, erhöhen ebenfalls die Attraktivität von Nord- und Ostseeküste. Für die Bergregionen wird sich dagegen der Rückgang des Schneefallanteils am Gesamtniederschlag negativ auswirken. Laut den Projektionen des REMO-Modells könnte die Anzahl der Schneetage, d.h. Tage mit einer Schneebedeckung von mind. 3 cm Wasseräquivalent, bis zum Ende des Jahrhunderts von heute über 40 Tagen pro Jahr im Alpenraum, Harz, Thüringer Wald, Bayrischem Wald und Erzgebirge auf 0-20 Tage pro Jahr abnehmen.¹⁰⁶
- **Stürme** können der Tourismusinfrastruktur in Berg- und Küstenregionen stark schaden. Modellierungen mit Hilfe von REMO und von Beniston et al. (2007) gehen davon aus, dass insbesondere an der Nordseeküste die Anzahl der Stürme zunehmen wird.
- Schließlich bergen auch der **Meeresspiegelanstieg** und die steigende Wahrscheinlichkeit von **Sturmfluten** neue Risiken für die Kapitalgüter der Tourismusindustrie. Zusätzliche finanzielle Belastungen sind zudem durch die Zunahme von Erosionen an Küsten und Stränden zu erwarten.

Kosten und Nutzen des Klimawandels für den Tourismus in Deutschland

Alle hier ausgewerteten Studien¹⁰⁷ schlussfolgern übereinstimmend, dass die Auswirkung des Klimawandels auf den Tourismus in Deutschland **unter dem Strich positiv** sein wird. Erste modellgestützte Untersuchungen zur Auswirkungen des Klimawandels auf den internationalen Tourismus prognostizieren, dass im Vergleich zu einem Szenario ohne Klimawandel die Attraktivität der kälteren Länder in Zukunft zunehmen wird, während wärmere Länder internationale Touristen verlieren. Zudem gewinnt in kälteren Ländern der Binnentourismus gegenüber internationalen Reisen an Bedeutung – die Modellierung von Bigano et al. (2007) prognostiziert insbesondere für die beiden wichtigen Entsendeländer Großbritannien und Deutschland eine **Steigerung der Inlandreisen um bis zu 100%** im Vergleich zum Referenzszenario ohne Klimawandel.¹⁰⁸ Da gleichzeitig davon auszugehen ist, dass aufgrund steigender Kosten vergleichsweise weniger häufig Fernreisen unternommen werden und die Mittelmeerregion im Sommer ebenfalls an Attraktivität verlieren, ist nach Hamilton und Tol (2008) **für Deutschland insgesamt ein Nachfragezuwachs zwischen 35 und 40%** allein durch den Klimawandel möglich (ausländische und inländische Touristen).¹⁰⁹ Im Modell entsteht dieser Nachfragezuwachs zusätzlich zu der weit bedeutenderen Nachfragesteigerung durch globalen Bevölkerungszuwachs und BIP-Anstieg: Unter den sozio-ökonomischen Annahmen von A2 verdoppelt sich die Zahl der Inlandsurlaubsreisen und internationalen Ankünfte bis 2100 im Vergleich zu

¹⁰⁶ Jacob et al. (2008).

¹⁰⁷ Ehmer und Heymann (2008); Bigano et al. (2007); Hamilton und Tol (2007); Stock (2007).

¹⁰⁸ Bigano et al. (2007).

¹⁰⁹ Hamilton und Tol (2007). Zu Grunde liegen die SRES-Szenarien B1 und A2. Für A1 ergibt sich ein klimabedingter Anstieg um bis zu 50 %. Basisjahr ist 1995.

2000 und unter B1 findet sogar ein Anstieg um knapp 350% beim Binnentourismus und um 250% bei den ausländischen Touristen statt.¹¹⁰

Im Jahr 2007 hatten 87% der deutschen Urlaubsreisen das Ausland zum Ziel¹¹¹ und die Ausgaben deutscher Touristen im Ausland (58,9 Mrd. €) lagen weit über den Tourismuseinnahmen im Inland (26 Mrd. €)¹¹². Es ist daher Potential für eine weitere Verschiebung der Einnahmen in Richtung Inland vorhanden, die nicht auf Kosten anderer Wirtschaftsektoren in Deutschland, sondern auf Kosten der touristischen Einkommen im Ausland erfolgen wird. Daraus ergeben sich auch **positive Auswirkungen für die öffentliche Hand**, insbesondere für die Kommunen, die derzeit durchschnittlich 2 bis 3% des touristischen Nettoumsatzes durch Gewerbesteuer, Grundsteuer und anteilige Lohn- und Einkommensteuer erhalten.¹¹³ Daneben sind höhere Umsatz- bzw. Mehrwertsteuer-einnahmen zu erwarten. Der positive Gesamttrend verdeckt allerdings regionale Verteilungsunterschiede.

Bade- und Strandtourismus an den deutschen Küsten

Im Tourismussektor gehören die deutschen Küsten zu den potentiellen **Gewinnern des Klimawandels**. Zurzeit ist das Wetter an der Nord- und Ostseeküste noch von verhältnismäßig häufig auftretenden regnerischen und kühlen Tagen sowie abrupten Wetterumschlägen geprägt. Durch die Klimaveränderung könnten sich schon bis Mitte des Jahrhunderts günstigere Bedingungen einstellen:

- Temperaturanstieg und Verlängerung der Bade- und Strandsaison;
- Abnahme der Sommerniederschläge.

Gleichzeitig verlieren traditionelle Destinationen für den Sommertourismus in Südeuropa und Fernreisen an Attraktivität durch:

- Hitzewellen, Trockenheit und daraus resultierender Wassermangel;
- Verschlechterung der Badewasserqualität;
- Extremwetterereignisse, wie Wirbelstürme, Starkregenfälle, Erdbeben und Sturmfluten;
- erhöhte Gefahren durch Infektionskrankheiten;
- steigende Kosten für Flugreisen.¹¹⁴

Neben den positiven Effekten, wächst durch häufiger auftretende Sturmfluten, Stürme und Küstenerosionsereignisse aber auch das **Risiko für Schäden an touristischen Anlagen** (siehe Fallstudien zu Meeresspiegelanstieg und Gebäuden). Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Ereignisse die Destinationswahl nicht negativ beeinflussen werden, da sie mehrheitlich im Winter auftreten werden und alternative Tourismusgebiete noch größeren Gefährdungen ausgesetzt sein werden - bei geringerer Anpassungsfähigkeit.

¹¹⁰ Hamilton und Tol (2007). Diese Anstiegswerte sind unter Vorbehalt zu betrachten, da dem Modell die unrealistische Annahme zu Grunde liegt, dass jede Nachfrage nach Tourismus auf ein entsprechendes Angebot trifft. An einer weiteren Verfeinerung des Modells wird derzeit gearbeitet.

¹¹¹ DTV (2008).

¹¹² Eurostat (2008).

¹¹³ DTV (2008).

¹¹⁴ Stock (2007).

Im Jahr 2007 hatten 10 Mio. der deutschen Urlaubsreisen von über 5 Tagen die Nord- und Ostseeküste zum Ziel, ein Drittel der insgesamt 29,7 Mio. Inlandsreisen, während im selben Jahr 23,8 Mio. deutsche Touristen das Mittelmeer aufsuchten. Auf Grundlage der Ergebnisse von Bigano et al. könnte von einer Verdopplung des Binnentourismus bis 2010 ausgegangen werden, so dass am Ende des Jahrhunderts 20 Mio. deutsche Touristen pro Jahr zu erwarten wären. Ausländische Touristen haben bisher nur einen Anteil von 15% an den Übernachtungen in Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein;¹¹⁵ durch den Klimawandel könnte dieser Anteil aber deutlich ansteigen.

Skitourismus

Im Gegensatz zu den Küsten werden die Wintersportregionen in den deutschen Alpen und Mittelgebirgen klar **Verlierer des Klimawandels** sein. Bis 2100 wird ein Anstieg der Schneefallgrenze um 300m erwartet, so dass nur noch Gebiete oberhalb von 1.500m als schneesicher gelten werden. Durch das höhere Temperaturniveau im Frühjahr verkürzt sich außerdem die Skisaison. In den Mittelgebirgen könnte der Wintersport schon bis 2030 vollständig zum Erliegen kommen,¹¹⁶ und für die Alpen geht die OECD davon aus, dass ein Anstieg der Temperatur um 1°C die Anzahl der schnee sicheren Skigebiete in Deutschland um 60% reduziert – unter den Annahmen des Szenarios A2 wäre dies spätestens 2040 der Fall – und bei 2°C Erwärmung wird ein Rückgang von 87% erwartet.¹¹⁷ Es ist daher mit einer Abwanderung der Touristen in höher gelegene Skigebiete der umliegenden Alpenländer zu rechnen.

Im Jahr 2007 lockten Alpen und Alpenvorland 2,8 Mio. deutsche Urlaubsreisende an (9,4% der Inlandstouristen), wobei in dieser Statistik nicht zwischen Sommer- und Wintertouristen unterschieden wird. Auf Bayern und Baden-Württemberg insgesamt entfallen 33% der Übernachtungen in Deutschland (darunter 15% internationale Touristen). Über die Anzahl der Skitouristen in den Mittelgebirgen liegen keine Erhebungen vor. Allerdings zeigt allein der Vergleich der deutschen Urlaubszahlen zwischen Küste (10 Mio.) und Alpen (2,8 Mio.), dass bereits eine Zunahme des Inlandsstrandtourismus um 30% das vollständige Ausfallen des Wintertourismus in den Alpen kompensieren könnte.¹¹⁸ Die tatsächlichen Kosten für die Volkswirtschaft werden allerdings auch davon abhängen, inwieweit die Klimaprognosen bei Investitionen in Skilifte und andere Wintersportanlagen tatsächlich berücksichtigt werden.¹¹⁹

Kurzfristig sind in Wintersportgebieten zudem **steigende Infrastrukturschäden** aufgrund von auftauenden Permafrostböden sowie häufiger auftretenden Stürmen, Starkniederschlagsereignissen und Lawinen zu erwarten. Studien zur Abschätzung der potentiellen Schadenskosten gibt es bisher nur für die Schweiz. Das Schweizer Forschungsprogramm „Klimawandel und Naturkatastrophen“ schätzt, dass bei einem Temperaturanstieg von 2,3 – 2,7°C bis 2050 und Verschiebungen bei der saisonalen Niederschlagsverteilung jährlich

¹¹⁵ Ehmer und Heymann (2008).

¹¹⁶ Ehmer und Heymann (2008).

¹¹⁷ OECD (2007).

¹¹⁸ Dies gilt nur unter der Annahme, dass eine durchschnittliche Urlaubsreise an beiden Orten vergleichbar viel Einkommen generiert.

¹¹⁹ Stock (2007).

Schadenkosten von 1.780 bis 2.280 Mrd. Schweizer Franken auftreten könnten. Dies entspricht 0,5 bis 0,6% des Schweizer BIP.¹²⁰

Anpassungsmöglichkeiten des Tourismussektors an den Klimawandel

Tourismus an den Küsten

- Küstenschutzmaßnahmen (siehe Fallstudie zu Meeresspiegelanstieg);
- Umstellung des Tourismusangebots auf die Bedürfnisse internationaler Touristen.

Wintersportregionen

- Einsatz von Kunstschnee und andere technologische Anpassungsmaßnahmen (Glättung der Piste, Beschattung)

Bereits heute wird in deutschen und europäischen Skigebieten auf **künstlichen Schnee als Hauptanpassungsstrategie** gesetzt – mit steigender Tendenz. Allein zwischen der Saison 2006/07 und Folgesaison nahm der Anteil der Kunstschnepisten in Bayern von 13% (480 ha) auf 16% (600 ha) zu.¹²¹ In vielen Talstationen, aber auch in höher gelegenen Gebieten, wird Kunstschnee zunehmend zur Voraussetzung für den Erhalt des Wintersports als Einkommensquelle und wird daher von interessierten Akteuren trotz der ungünstigen Klimavorhersagen weiter eingefordert.¹²²

Künstliche Beschneiung ist allerdings eine sehr **kostenintensive Strategie**. Gemäß Durchschnittswerten aus der Schweiz verursacht ein Kilometer beschneibare Piste Investitionen von rund 650.000 € und jährliche Betriebskosten zwischen 33.000 und 50.000 € pro Kilometer (Stand 2004).¹²³ Externe Kosten, die durch den hohen Wasser- Energie- und Landschaftsverbrauch entstehen, bleiben dabei bisher unbeachtet (siehe Verbrauchswerte in Tabelle 22).

Tabelle 22: Wasser- und Stromverbrauch für Kunstschnee in den Alpen

| | 4-Personen-Haushalt | Hektar beschneiter Piste |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Wasserverbrauch pro Jahr | 200 m ³ | 4.000 m ³ |
| Stromverbrauch pro Jahr | 4.500 kWh | 25.000 kWh |

Quelle: CIPRA 2004.

Da ohne Kunstschnee in vielen Orten eine ökonomische Auslastung der Wintersportinfrastruktur nicht mehr gewährleistet werden könnte, ist die Beschneiung zwar eine kostspielige, aber durchaus noch kosteneffiziente Anpassungsstrategie. Mittelfristig wird die Beschneiung allerdings an **technische, betriebswirtschaftliche und möglicherweise auch an regulatorische Grenzen** stoßen (Umweltauflagen). Zum einen steigen die Kosten der Kunstschneeproduktion überproportional mit der Erwärmung und zum anderen können Schneekanonen derzeit nur bis zu einer Temperatur von maximal -2°C eingesetzt werden.¹²⁴ Insofern besteht bereits heute das Risiko, gestrandete Investitionen zu produzieren.

¹²⁰ Institut für Schnee- und Lawinenforschung (2000); Bürki et al. 2003.

¹²¹ Bayrisches Landesamt für Umwelt (2009).

¹²² dwif (2003).

¹²³ CIPRA (2004).

¹²⁴ OECD (2007).

Ausrichtung auf schneeunabhängigen Tourismus

Eine andere Anpassungsstrategie ist die Förderung von alternativen Tourismusangeboten, etwa im Bereich Wellness, Kur, Kultur oder durch die Steigerung des Wandertourismus im Sommer. Eine Unterstützung des Strukturwandels durch die öffentliche Hand ist sicherlich denkbar und hilfreich, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Sie muss aber nicht zwangsläufig in Form von direkter finanzieller Hilfe erfolgen.

Quantifizierung der Nutzen und Kosten des Klimawandels für den Tourismus

Die Quantifizierung beruht auf den Modellierungsergebnissen von Tol und Hamilton (2007) zum klimabedingten Anstieg des Tourismus in Deutschland bis 2100 (vgl. Tabelle 23). Als Basiswert wird die Schätzung von Ahlert (2003) herangezogen, derzufolge der Umsatz durch touristischen Aktivitäten 2000 bei 158 Mrd. € lag.¹²⁵ Der Betrag wird um die Einnahmen aus Geschäftsreisen und die Einnahmen inländischer Tourismusanbieter von Auslandsreisen reduziert (zusammen 35 Mrd. €), da diese beiden Kategorien bei Tol und Hamilton nicht betrachtet werden. Des Weiteren werden Annahmen zur Entwicklung des Tourismus aufgrund normaler Wachstumsprozesse gemacht, die nicht mit dem Klimawandel zusammenhängen. Es wird angenommen, dass der Tourismus mit derselben Rate wie das BIP wächst (gemäß Annahmen in Kapitel 2: reales Wachstum 2011-2050 1%, ab 2051 bis 2100 0,5%).

Auf den aus dieser Berechnung resultierende Referenzwert für die Einnahmen des Tourismus in den Jahren 2050 und 2100 ohne Klimawandel wird der klimabedingte Anstieg nach Tol und Hamilton aufgeschlagen. Dabei wird davon ausgegangen, dass nur 80% des Zusatzeinkommens im deutschen BIP wirksam werden, während die restlichen 20% als Vorleistungen aus dem Ausland importiert werden.¹²⁶ Als Resultat ergibt sich ein BIP-Zuwachs von 0,4% im Jahr 2050 und 0,9 bis 1,1% im Jahr 2100.

Tabelle 23: Klimabedingter Anstieg der Urlaubsreisen nach Tol und Hamilton (2007)¹²⁷

| | 2050 | BIP-Zuwachs | 2100 | BIP-Zuwachs |
|-----------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Binnentourismus | 15% | 0,4% | 27 bis 32% | 0,9 – 1,1% |
| Ausländische Ankünfte | -8 bis -4% | | 8 bis 13% | |

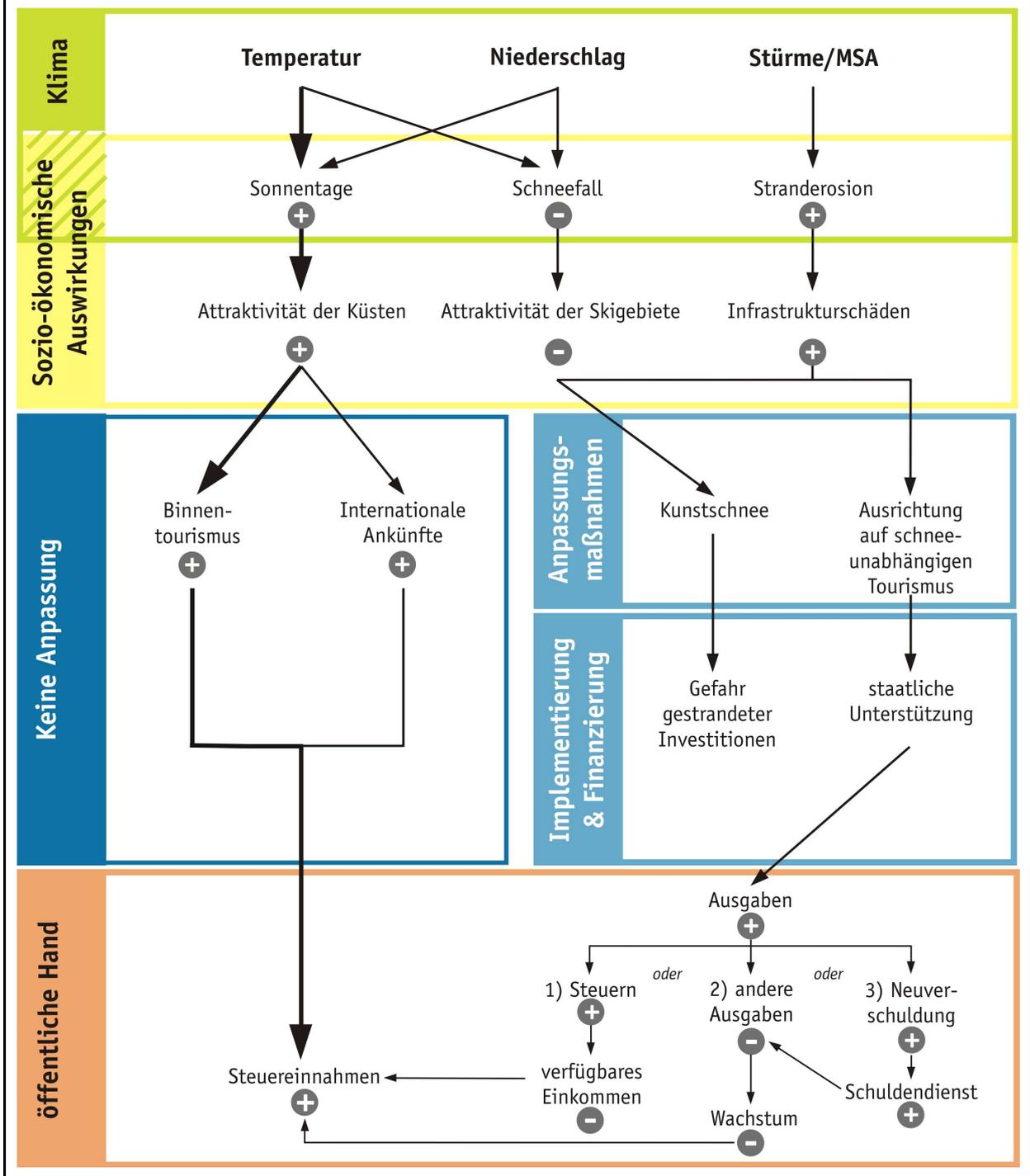
Diese Berechnung kann natürlich nur eine Größenordnung angeben und muss mit Vorsicht betrachtet werden. So müssten beispielsweise die Verluste gegengerechnet werden, die im Skitourismus zu erwarten sind, da Tol und Hamilton nicht nach Saison oder Urlaubsaktivität unterscheiden und sich der Temperaturanstieg im Model ausschließlich positiv auf die Nachfrage auswirkt. Allerdings liegen derzeit keine Zahlen zum Ist-Zustand der Einnahmen aus dem Skitourismus vor. Hier besteht weiterhin dringender Forschungsbedarf.

¹²⁵ Der Wert umfasst die gesamte Inlandsnachfrage von In- und Ausländern nach Gütern und Art des Tourismus.

¹²⁶ Dies entspricht der durchschnittlichen Importquote in Deutschland nach Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen.

¹²⁷ Hamilton und Tol (2007), S. 165, Abbildungen 1 und 3 jeweils rechte Grafik, Werte für A2 und B1.

Abbildung 16: Wirkungspfade Tourismus



Fallstudie 7: Verkehr

Der Klimawandel wird erhebliche Auswirkungen auf das Verkehrssystem (Güter und Personen), dessen Verfügbarkeit und Effizienz haben. Die möglichen Einflusskanäle wurden in mehreren Studien für Deutschland (qualitativ) sowie für Großbritannien (GB) und die USA (qualitativ und quantitativ) bereits dargestellt.¹²⁸

Angewendete Methodik in der Fallstudie Verkehr

Der Klimawandel kann über verschiedene Einflusskanäle Auswirkungen auf das Verkehrssystem haben:

- **Extreme Wetterereignisse** stellen eine Belastung für die Verkehrsinfrastrukturen dar. Unwetter, Überschwemmungen aber auch große Hitze verringern die durchschnittliche Lebensdauer der Infrastrukturen und führen zu erhöhten Reparaturkosten oder sogar zu einem frühzeitig notwendigen Ersatz von Infrastrukturen. Zudem kann der Meeresspiegelanstieg zur Überflutung einzelner exponierter Verkehrsinfrastrukturen führen, die ggf. an weniger gefährdeten Lagen verlagert werden müssen (z.B. Zugverbindungen an der Küste). Da der Bau von Verkehrsinfrastrukturen sowie der Betrieb des öffentlichen Verkehrs weitgehend mit staatlichen Mitteln finanziert sind, schlagen die Auswirkungen des Klimawandels zum großen Teil **direkt auf die Ausgaben der öffentlichen Hand** durch.
- Klimabedingte Extremereignisse können beim motorisierten Individualverkehr, im Güterverkehr sowie im öffentlichen Verkehr zu Behinderungen und Verzögerungen führen und **reduzieren somit die Effizienz des gesamten Verkehrssystems**. Die entstehenden Arbeitszeitverluste, Flexibilitätsverluste sowie erhöhte Produktionskosten wirken sich über eine Reduktion der Wertschöpfung **indirekt** auf die öffentliche Hand aus.
- Zudem führt ein Anstieg von Extremereignissen zu **zusätzlichen Unfällen** im Straßen- und Schienenverkehr aufgrund zusätzlicher Gefahren durch Stürme, Überschwemmungen oder Starkniederschläge.
- Über einen Anstieg der Wintertemperatur und einen Rückgang von Schnee und Frosttagen ergeben sich durch den Klimawandel jedoch auch positive Effekte im Bereich Verkehr. Frostschäden an der Infrastruktur sowie Ausgaben durch den Winterdienst gehen zurück und Verkehrsbehinderungen durch Schnee und Eis werden reduziert.

Für Deutschland liegen leider noch keine quantitativen Untersuchungen vor. Jedoch konnten bereits in der Vergangenheit Auswirkungen von Extremereignissen, wie z.B. das Elbehochwasser 2002 oder der Hitzesommer 2003 auf das Verkehrssystem beobachtet werden. Aus Schadensbilanzen dieser Ereignisse bzw. aus Analysen von Zeitreihen zu Staatsausgaben im Bereich Verkehr, Unfallzahlen usw. können Aussagen für repräsentative Extremereignisse gemacht werden und – auf Grundlage der Annahmen in Kapitel 2 – für die Zukunft fortgeschrieben werden.

Auf Basis einer ähnlichen Vorgehensweise wurden bereits für Großbritannien die Auswirkungen des Klimawandels auf das Verkehrssystem bewertet (im Weiteren: GB-

¹²⁸ Macroeconomica Limited (2006); Zebisch et al. (2005); Transportation Research Board (2008).

Studie),¹²⁹ auf die hier zurückgegriffen wird. Die prognostizierten Schäden werden mit Hilfe von Daten zu den Verkehrsinfrastrukturen und Transportleistungen auf Deutschland übertragen. Da Großbritannien kleiner ist als Deutschland, müssen die für Großbritannien ausgewiesenen Schäden hochgerechnet werden. Zur Anpassung der Schäden auf das deutsche Niveau werden auf Basis von Daten zur Infrastruktur sowie zum Verkehrsaufkommen und -volumen Anpassungsfaktoren hergeleitet, mit Hilfe derer ein Transfer der Schadenswerte auf Deutschland möglich ist.

Tabelle 24: Anpassungsfaktoren für Schadenstransfer von GB nach Deutschland

| | GB | Deutschland | Faktor |
|--|-----------|--------------------|---------------|
| Länge der Gleise (in km), 2002 | 34.497 | 70.875 | 2 |
| Fahrgastaufkommen Schiene (Mio. Pkm), 2007 | 50.171 | 79.116 | 1.6 |
| Straßen | | | |
| Autobahnstrecken (km), 2002 | 3.611 | 12.037 | |
| Europa-Straßen (km), 1998 | 4.181 | 10.417 | |
| Sonstige überörtliche Straßen (km) | 126.820 | 208.500 | |
| Überörtliche Straßen gesamt (km) | 134.610 | 231.000 | 1.6 |
| Verkehrsvolumen PKW (Bn. Pkm), 2004 | 678 | 869 | 1.3 |

Quellen: Eurostat außer für „sonstige überörtliche Straßen Deutschland“ (Statistisches Bundesamt) und „sonstige überörtliche Straßen UK“: Department for Transport.¹³⁰

Die verschiedenen Einflusskanäle des Klimawandels auf das Verkehrssystem werden im Folgenden qualitativ beschrieben und, wenn möglich, auf Basis von Schadensbilanzen historischer Ereignisse quantifiziert.

Beschädigung bzw. Zerstörung und Unterhalt von Verkehrsinfrastrukturen

Verschiedene Aspekte des Klimawandels führen zu Schäden oder sogar zur vollständigen Zerstörung von Verkehrsinfrastrukturen:

- Der Temperaturanstieg sowie extreme Hitzeereignisse führen zu Schäden am Straßenbelag sowie zu Verformungen von Schienen. So hat z.B. der Hitzesommer 2003 im Großbritannien zu 100 hitzebedingten Schienenverformungen geführt mit Reparaturkosten von 1,3 Mio. GBP (Macroeconomica Limited 2006). Bei den Straßen sind die Hitzewirkungen gemäß der GB-Studie nur für untergeordnete Straßen mit niedrigeren Baustandards relevant. Gleichzeitig ist zu beachten, dass Frostschäden an Straßen sowie Ausgaben des Winterdienstes abnehmen werden.
- Extremereignisse wie Starkniederschläge oder Stürme können zu Beschädigungen der Verkehrsinfrastruktur führen und es können zusätzliche Unterhaltskosten durch Umsturz von Bäumen und zusätzliche Straßenreinigung entstehen. Bei Überschwemmungen können Straßen, Schienen und Brücken beschädigt werden (z.B. durch die Erosion des Straßenbetts).

¹²⁹ Macroeconomica Limited (2006).

¹³⁰ In der GB-Studie sind alle Straßen aufgeführt. Um eine Vergleichbarkeit mit Deutschland zu schaffen, wurden alle Kategorien der „urban roads“ sowie die „unclassified rural roads“ rausgerechnet.

- Der Meeresspiegelanstieg kann zur Überflutung einzelner Verkehrsinfrastrukturen führen. So ist es möglich, dass einzelne Küstenstraßen oder Zugstrecken entlang der Küste bei Sturmfluten beschädigt werden oder temporär geschlossen werden müssen.

In Deutschland konnten die meisten der beschriebenen Effekte bereits während Extremereignissen wie dem Hitzesommer 2003, dem Elbehochwasser 2002 oder schweren Unwettern beobachtet werden. Die folgende Tabelle stellt die Schadensbilanzen der historischen Ereignisse sowie die Hochrechnungen für unsere Betrachtungszeitpunkte vor. In den Fällen, in denen für Deutschland keine differenzierten Schadensbilanzen vorliegen, wird auf die Ergebnisse der GB-Studie zurückgegriffen. Das Szenario „medium-high“ wird als Hauptwert verwendet. Die Ergebnisse des Szenarios „high“ dienen als obere Schätzwerte.

Tabelle 25: Schadensbilanzen im Bereich Verkehrsinfrastruktur

| Ereignis | Schäden an Verkehrsinfrastrukturen GB | Eintrittswahrscheinlichkeit** | Mögliche Schäden D*** |
|---------------------|---|--|---|
| Hitzesommer 2003 | Straßen: Bodenabsenkung: ¹³¹ 2050: 27 Mio. GBP = 34 Mio. € 2080: 58 Mio. GBP = 73 Mio. € 2100*: 79 Mio. GBP = 99 Mio. € Schienen: Verformung 2050: 1,2 Mio. GBP = 1,5 Mio. € 2080: 2,6 Mio. GBP = 3,3 Mio. € 2100:* 3,5 Mio. GBP = 4,4 Mio. € | Bereits in Ergebnissen der GB-Studie enthalten | 2050: 56 Mio. € 2100: 162 Mio. € 2050: 3,1 Mio. € 2100: 9,1 Mio. € |
| Elbehochwasser 2002 | Müncher Rück (2003): ¹³² ca. 3,4 Mrd. €. → 3 Mrd. € Wiederaufbauhilfe v. Bund und Ländern | 2050: Jedes 5. Jahr 2100: Jedes 2. Jahr | 2050: 0,6 Mrd. € 2100: 1,5 Mrd. € |
| Orkan Kyrill 2007 | Schäden bei DB: ca. 20 Mio. € | 2050: Jedes 2. Jahr 2100: Jedes Jahr | 2050: 10 Mio. € 2100: 20 Mio. € versichert, keine direkte Wirkung auf die öff. Hand |

* In der GB-Studie liegen keine Werte für 2100 vor. Die Werte für 2100 wurden linear extrapoliert.

** Die Annahmen für die Eintrittswahrscheinlichkeit sind in Kapitel 2.4 dargestellt.

** Berechnung mit Hilfe der in Tabelle 24 dargestellten Anpassungsfaktoren.

Diesen zusätzlichen Ausgaben sind die **positiven Wirkungen des Klimawandels auf die Verkehrsinfrastruktur** entgegenzustellen. Durch die milderen Winter und den Rückgang der Schneetage sinken die Kosten des Winterdienstes deutlich. Leider liegen auch für diesen Bereich für Deutschland noch keine Schätzungen vor. Als Näherung können jedoch die Ergebnisse aus der GB-Studie auf Deutschland übertragen werden. Da in Großbritannien die Winter bereits milder sind als in Deutschland, gehen wir davon aus, dass dies den unteren Wert der in Deutschland möglichen Kostenersparnis darstellt.

¹³¹ Im High-Szenario liegen die Schäden bei:
Strasse 2050: 49 Mio. GBP = 62 Mio. € → angepasst auf deutsche Struktur: 101 Mio. €
Strasse 2100: 129 Mio. GBP = 162 Mio. € → angepasst auf deutsche Struktur: 266 Mio. €
Schiene 2050: 3,3 Mio. GBP = 4,1 Mio. € → angepasst auf deutsche Struktur: 8,5 Mio. €
Schiene 2100: 8,6 Mio. GBP = 10,8 Mio. € → angepasst auf deutsche Struktur: 22,3 Mio. €.

¹³² Munich Re (2003).

Tabelle 26: Reduktion der Kosten für den Straßen-Winterdienst

| Ereignis | Auswirkungen auf Winterdienstkosten in GB | Anpassungs-faktor | Auswirkungen auf Winterdienstkosten in D |
|----------------|--|---|--|
| Wärmere Winter | Rückgang der Kosten im „high“ Szenario: ¹³³ 2050: -148 Mio. GBP = -186 Mio. € 2080: -340 Mio. GBP = -427 Mio. € 2100:* -468 Mio. GBP = -588 Mio. € | Gesamtes über-örtliches Straßennetz: Faktor 1,7 | 2050: -320 Mio. € 2100: -1.010 Mio. € |

*In der GB-Studie liegen keine Werte für 2100 vor. Die Werte für 2100 wurden linear extrapoliert.

Zum potentiellen Rückgang von Frostschäden an Verkehrsinfrastrukturen liegen leider derzeit noch keine Schätzungen vor, so dass in diesem Bereich eine Quantifizierung nicht möglich ist.

Verspätungen und Behinderungen im Personen- und Güterverkehr

Klimabedingte Extremereignisse und lang anhaltende Trockenperioden können die Effizienz des Verkehrssystems deutlich beeinträchtigen. Im Personenverkehr entstehen Reisezeitverluste, welche sich negativ auf die Arbeitsproduktivität auswirken (bei Geschäftsreisen direkt, bei Arbeitspendlern z.B. dadurch, dass der Arbeitsweg länger und mühsamer wird und die zeitliche Flexibilität sinkt). Verzögerungen und Beeinträchtigungen im Güterverkehr wirken sich auf die Produktivität der betroffenen Sektoren aus. Grundsätzlich wird die Möglichkeit der „just-in-time“ Produktion beeinträchtigt. Bei der Gefährdung eines reibungslosen Zulieferbetriebs müssen die Betriebe eventuell die Lagerhaltung anpassen, was mit entsprechenden Effizienzverlusten bzw. mit einem Anstieg der Kosten verbunden ist.

Bei Hitze entstehen im Schienenverkehr zusätzliche Risiken durch **Verformung der Gleise**. In Großbritannien wurde z.B. im Hitzesommer 2003 ein Teil der Züge mit reduzierten Geschwindigkeiten betrieben. Die wirtschaftlichen Schäden durch die daraus resultierenden Reisezeitverluste werden auf 2,2 Mio. GBP geschätzt (Defra 2006). Ähnliche Effekte entstehen im Güterverkehr.

Bei Extremereignissen wie starken Stürmen oder Niederschlägen können **Straßen** behindert oder versperrt werden. In Städten sind Tunnel bzw. Unterführungen gefährdet, welche bei starken Niederschlägen voll laufen können. Gleichzeitig ist jedoch zu beachten, dass im Winter die Behinderungen durch Schnee und Eis abnehmen.

Im **Flugverkehr** entstehen neue Behinderungen durch Extremereignisse, gleichzeitig werden die Behinderungen durch Schnee und Eis im Winter abnehmen. Das Wetter zählt bereits heute zu den bedeutendsten Störfaktoren im Luftverkehr, insbesondere an stark ausgelasteten Flughäfen wie Frankfurt oder München, die wenig Flexibilität aufweisen.¹³⁴ So hat z.B. das starke Unwetter im Juni 2007 mit Starkniederschlägen in Frankfurt zur Streichung von 100 Flügen geführt.¹³⁵ Den Zusatzkosten sind die eingesparten Kosten für Enteisungen

¹³³ Für die Kosten des Winterdienstes sind die Ergebnisse nur für zwei Szenarien „low“ und „high“ in der GB-Studie dargestellt. Als unteren Rand der Bandbreite werden die Kosten des „low“ Szenarios verwendet:

Winterdienst 2050: -64 Mio. GBP = -80 Mio. € → Angepasst auf deutsche Struktur: -138 Mio. €
Winterdienst 2100: -127 Mio. GBP = -160 Mio. € → Angepasst auf deutsche Struktur: -274 Mio. €.

¹³⁴ Hauf et al. (2004).

¹³⁵ Weltonline (2007).

und Winterdienst gegenüber zu stellen (Enteisung kann pro Flugzeug bis zu 15.000 € kosten).¹³⁶ Wetterbedingte Kosten entstehen beim Flugverkehr nicht nur durch Verspätungen sondern in erheblichem Maße auch durch Ausfallzeiten im Bodenbetrieb (Starkregen, Hagel-/Schnee-/Eisglätte, Blitzschlag). Besonders kostenintensiv ist das Vorhalten von Bereitschaftspersonal z.B. für die Schneeräumung. Der Flughafen München hat dazu im Rahmen des Projekts RegioExAKT Kosten im Bereich von 100.000 € pro Tag für die frühe, vorsorgliche Alarmierung des Bereitschaftspersonals.¹³⁷

In der **Binnenschifffahrt** führen sowohl Niedrigwasser durch lange Trockenperioden als auch starke Hochwasserstände zu Behinderungen. Wenn die Unsicherheiten beim Transport auf den schiffbaren Flüssen zunehmen, ist davon auszugehen, dass der Güterverkehr stärker auf die Straße oder Schiene ausweichen wird. Bei der Binnenschifffahrt sind in den langen Datenreihen sowohl im Jahr 2003 als auch im Hitzesommer 1995 Rückgänge zu erkennen (in Höhe von ca. 10.000 t Gütern), da Hitze zu Niedrigpegelständen führte und Schiffe pro Fahrt weniger laden konnten.

Tabelle 27: Verspätungen, Behinderungen, Transportengpässe

| Ereignis | Schäden GB | Zuk. Eintrittswahrscheinlichkeit | Mögliche Schäden D |
|----------------------------|--|---|--|
| Hitze-sommer 2003 | Monetarisierter Zeitverluste Schiene („medium-high“) ¹³⁸ 2050: 2,8 Mio. GBP = 3,5 Mio. € 2080: 6,1 Mio. GBP = 7,6 Mio. € 2100:* 8,3 Mio. GBP = 10,4 Mio. € | Bereits in Ergebnissen für GB enthalten | Anpassung mit Faktor „Fahrgastaufkommen“: 2050: 5,5 Mio. € 2100: 16,4 Mio. € |
| Elbehochwasser 2002 | Monetarisierter Zeitverluste Schiene 2050: 1,3 Mio. GBP = 1,6 Mio. € 2080: 2,5 Mio. GBP = 3,2 Mio. € 2100:* 3,4 Mio. GBP = 4,3 Mio. € | | Anpassung mit Faktor „Fahrgastaufkommen“ 2050: 2,5 Mio. € 2100: 6,7 Mio. € |
| Kyryll 2007 ¹³⁹ | vorsorgliche Geschwindigkeitsreduktion der DB; Vollständig Einstellung des Betriebs während des Sturms. | | → Produktivitätseinbußen |

*In der GB-Studie liegen keine Werte für 2100 vor. Die Werte für 2100 wurden linear extrapoliert.

Zusätzliche Unfallrisiken und Gesundheitsschäden

Klimabedingte Extremereignisse können zu **zusätzlichen Unfällen im Straßen- und Schienenverkehr** führen. Insbesondere bei starken Niederschlägen und Stürmen steigt die Gefahr von Aqua-Planing, herabfallenden Äste o.ä. Bei einer zunehmenden Zahl von Unfällen mit Personenschäden steigen die Ausgaben im Gesundheitssystem. Zudem

¹³⁶ Hauf et al. (2004).

¹³⁷ Ergebnisse des Projekts RegioExAKT, persönlicher Kontakt mit Dr. Nikolai Dotzek, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik

¹³⁸ Als obere Bandbreite werden die Kosten des „high“ Szenarios der GB-Studie verwendet:
Zeitkosten Hitze 2050: 7.7 Mio. GBP = 9.7 Mio. € → angepasst auf dt. Struktur: 15.2 Mio. €
Zeitkosten Hitze 2100: 20.2 Mio. GBP = 25.4 Mio. € → angepasst auf dt. Struktur 40 Mio. €
Zeitkosten Überschwemmung 2050: 4.6 Mio. GBP = 5.8 Mio. € → angepasst auf dt. Struktur: 9.1 Mio. €
Zeitkosten Überschwemmung 2100: 12.6 Mio. GBP = 15.8 Mio. € → angepasst auf deutsche Struktur: 25 Mio. €

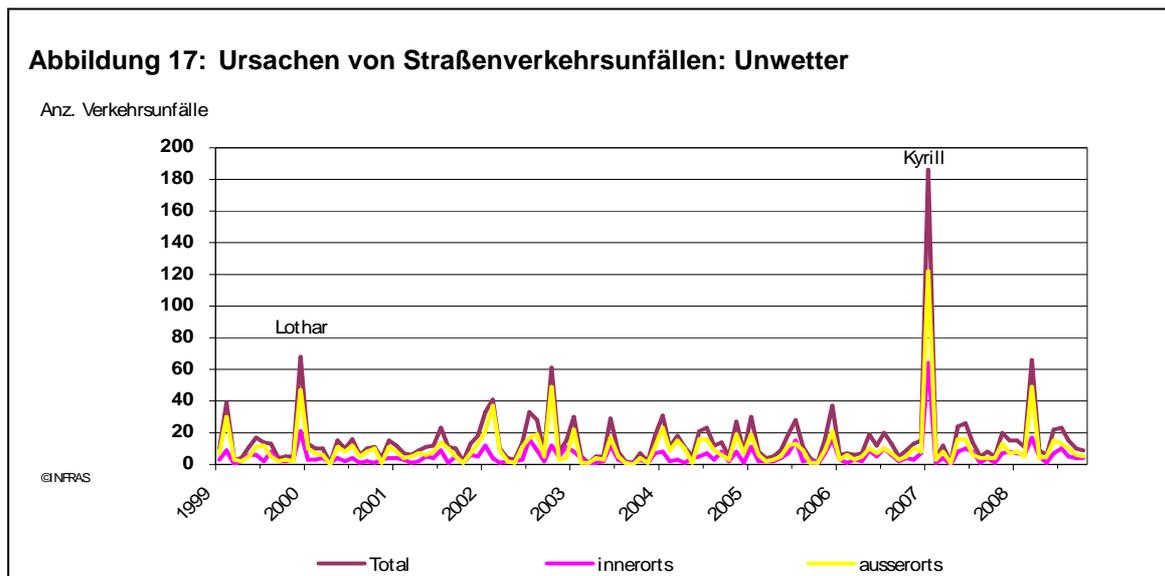
¹³⁹ Deutsche Bahn AG (2007).

entstehen durch Unfälle zusätzliche Verkehrsbehinderungen und somit Reisezeitverzögerungen und Produktivitätsverluste (s.o.).

Der Temperaturanstieg im Winter führt aber auch zu einer Abnahme der Unfälle durch Glätte und Nebel. 2007 gab es in Deutschland 15.000 Unfälle mit Personenschäden, welche auf diese Witterungsbedingungen im Winter zurückzuführen waren (Statistisches Bundesamt).

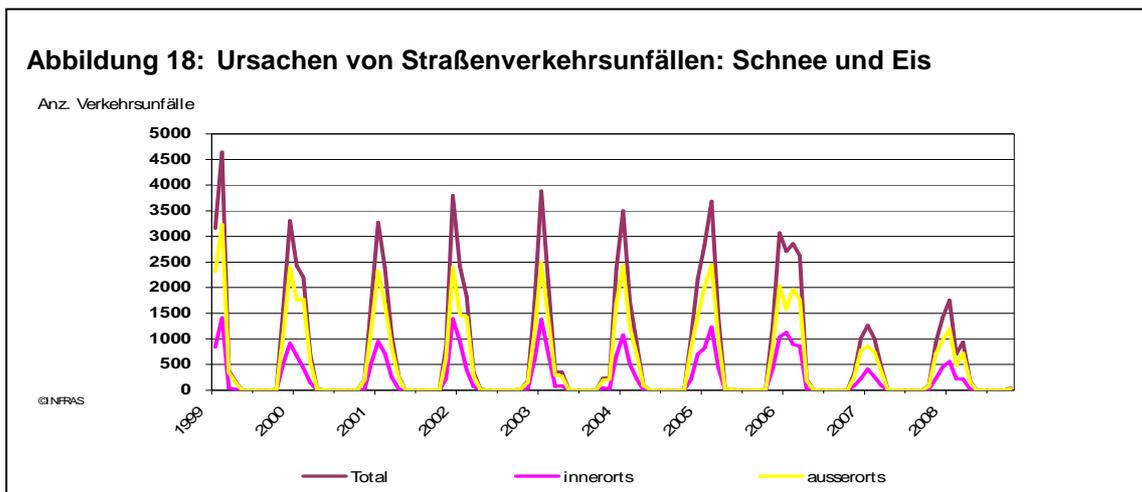
Bei den öffentlichen Verkehrsmitteln schwindet mit der Zunahme von Verspätungen und Verzögerungen die Attraktivität. Zudem müsste der öffentliche Verkehr stärker klimatisiert werden, um Kreislaufbeschwerden bei den Passagieren zu vermeiden, wie ein Vorfall in der Londoner U-Bahn im Sommer 2003 gezeigt hat: nach einem 90-minütigen Stopp im Tunnel mussten 10 der betroffenen 4.000 Passagiere im Krankenhaus behandelt werden.¹⁴⁰

Bisher liegen keine quantitativen Aussagen zu den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Unfallrisiko vor. Daher wird in dieser Studie in diesem Teilbereich auf eine Quantifizierung verzichtet. Zur Illustration wurde jedoch die Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes ausgewertet, um mögliche Wirkungen bisheriger Extremereignisse darzustellen. Bei den Unfällen, die Unwettern zugeordnet werden können, ist zu den Zeitpunkten der Orkane Lothar und Kyrill ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Andererseits kann in den milderen Wintern der Jahre 2007 und 2008 ein Rückgang der Unfallzahlen verursacht durch Schnee und Eis festgestellt werden.¹⁴¹



¹⁴⁰ Department for Transport (2004).

¹⁴¹ Statistisches Bundesamt (2009).



Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs und Sturmfluten

Grundsätzlich erscheint es möglich, bei einem geringen Meeresspiegelanstieg Schäden an den Verkehrsflächen durch bessere Schutzmaßnahmen zu vermeiden. Eine Mikroanalyse für einzelne Gemeinden und Städte untersucht die Auswirkungen von Deichbrüchen durch Sturmfluten (siehe Tabelle 28). In der Mikroanalyse werden die Auswirkungen einer Sturmflut mit Sturmflutwasserständen auf 6,6 m über Normalnull (mittlerer Meeresspiegel) für 1,5 h betrachtet, die sich durch einen Deichüberlauf und einen Deichbruch ergeben.

Tabelle 28: Schäden an Straßen- und Schieneninfrastruktur durch Sturmfluten

| | Sankt Peter-Ording | Timmendorfer Strand | Kiel | Kaiser-Wilhelm-Koog | Nord-Fehmarn |
|---|--------------------|---------------------|--------|---------------------|--------------|
| Szenario 1 mit 100 m Deichbruchbreite (€) | 4,1 Mio. | 0,5 Mio. | 6 Mio. | 2,0 Mio. | 2,5 Mio. |
| Szenario 2 mit 200 m Deichbruchbreite (€) | 4,3 Mio. | 1,8 Mio. | k.A. | 2,4 Mio. | 3,2 Mio. |

Quelle: Sterr 2009.

Die Darstellung in Tabelle 28 macht deutlich, dass bereits in den vier betrachteten Gemeinden und der Stadt Kiel bei einer Sturmflut Schäden an Verkehrsinfrastrukturen zwischen 15 und 17,5 Mio. € entstehen könnten. Weitere große Städte mit wichtigen Verkehrsinfrastrukturen wie Hamburg, Bremen, Bremerhaven, etc. sind in dieser Schätzung nicht enthalten, hätten aber vermutlich ein Mehrfaches der Schäden der Stadt Kiel. Schäden in Milliardenhöhe scheinen nicht ausgeschlossen. Da diese Schäden bereits in der Fallstudie Meeresspiegelanstieg berücksichtigt wurden, sind sie im Bereich Verkehr in der Quantifizierung nicht berücksichtigt.

Wirkungen für die öffentliche Hand

Da ein Großteil der Verkehrsinfrastrukturen im Eigentum der öffentlichen Hand ist, schlagen sich höhere Ausgaben zur Aufrechterhaltung der Funktion und der Qualität der Verkehrsinfrastrukturen direkt auf die öffentlichen Finanzen durch. Insbesondere die Schäden an Verkehrsinfrastrukturen durch Hitze, Überschwemmungen sowie Stürme erhöhen die Ausgaben für den Straßen- und Schienenunterhalt. Gleichzeitig reduzieren wärmere Winter die Ausgaben für den Winterdienst.

Tabelle 29: Klimawirkungen auf die Ausgaben der öffentliche Hand im Bereich Verkehr

| | | 2050 | 2100 |
|---|-----------------------------------|---------------------|----------------------|
| <i>Direkte Erhöhung der öffentlichen Ausgaben</i> | | | |
| Höhere Ausgaben durch Extremereignisse (€) | Hitze Straße | 56 bis 101 Mio. | 162 bis 266 Mio. |
| | Hitze Schiene | 3 bis 8 Mio. | 9 bis 22 Mio. |
| | Überschwemmungen Straße & Schiene | 600 Mio. | 1.500 Mio. |
| | Stürme | k.A. | k.A. |
| Einsparungen Winterdienst | Straße | -138 bis – 320 Mio. | -274 bis -1.010 Mio. |
| Gesamtauswirkungen auf öffentliche Ausgaben | | 0,4 bis 0,5 Mrd. | 0,8 bis 1,4 Mrd. |

Neben den direkten Auswirkungen des Klimawandels führen Beeinträchtigungen an der Verkehrsinfrastruktur zu Reisezeitverlusten und Ineffizienzen. Die für Hitzesommer und Überschwemmungen exemplarisch dargestellten Reisezeitverluste machen die Größenordnung deutlich.

Tabelle 30: Klimawirkungen auf die Einnahmen der öffentlichen Hand im Bereich Verkehr

| | | 2050 | 2100 |
|---|-----------------|---------------------|--------------------|
| <i>Auswirkungen auf Produktivität - Reisezeitverluste</i> | | | |
| Auswirkungen Extremereignisse | Hitze - Schiene | 5,5 bis 15,2 Mio. € | 16,4 bis 40 Mio. € |
| | Hitze - Straße | 2,5 bis 9,1 Mio. € | 6,7 bis 25 Mio. € |
| Gesamte Reisezeitverluste | | 8 bis 24 Mio. € | 23 bis 65 Mio. € |

Im Bereich Verkehr liegen für die negativen Wirkungen deutlich bessere Schätzungen vor als für die positiven Effekte. Von den positiven Effekten sind lediglich die Einsparungen im Winterdienst quantifizierbar, die im besten Fall einen Teil der negativen Effekte kompensieren. Andere positive Effekte des Klimawandels – reduzierte Frostschäden an der Infrastruktur und geringere Behinderungen im Verkehr durch Schnee und Eis – sind zu diesem Zeitpunkt nicht quantifizierbar. Grundsätzlich gehen wir davon aus, dass dies das Vorzeichen im Bereich Verkehr nicht ändert, da auch einige der negativen Effekte nicht quantifiziert werden können.

Anpassungsmaßnahmen

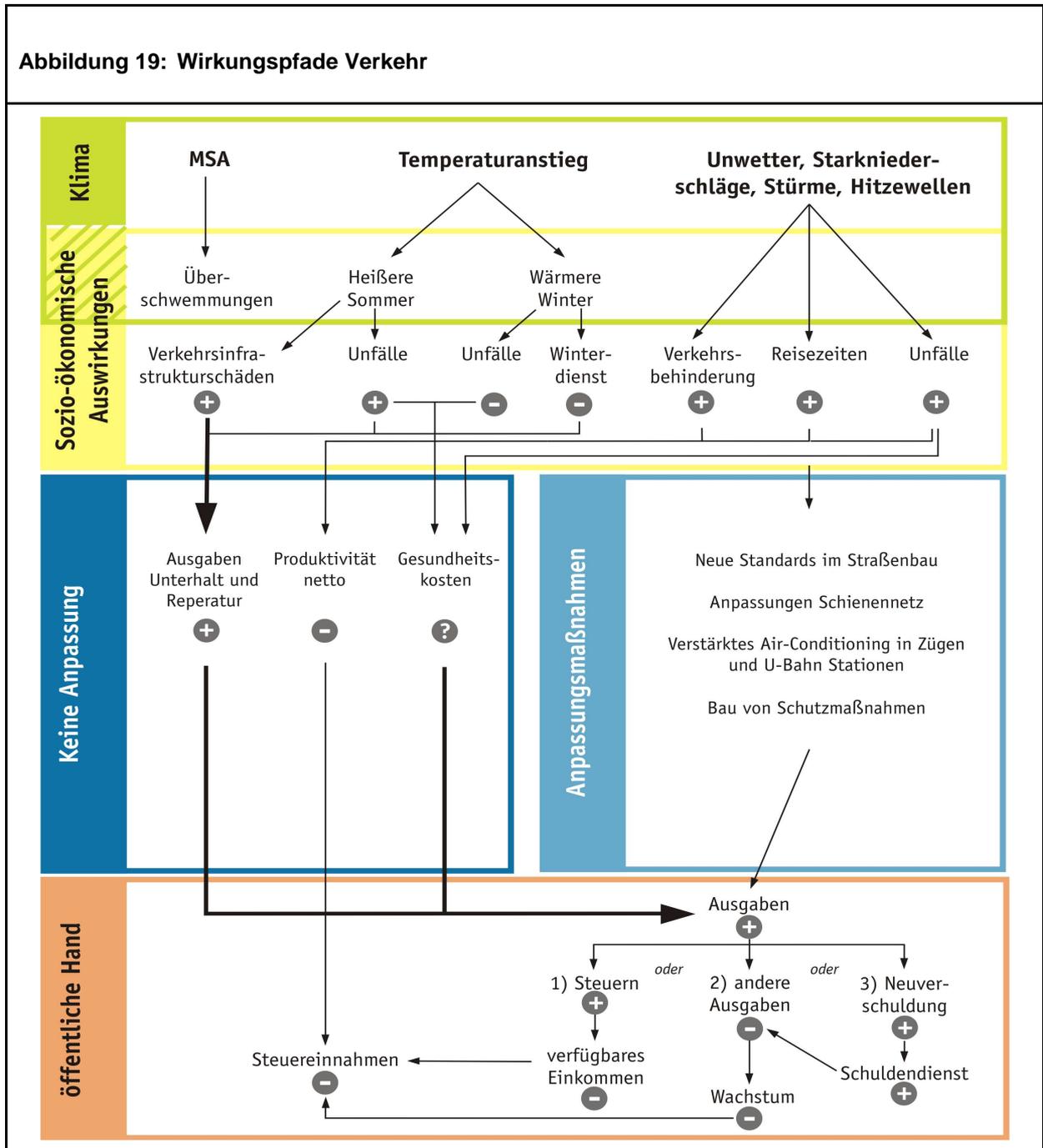
Ein Teil der Schäden im Bereich Verkehr kann durch Anpassungsmaßnahmen vermieden oder reduziert werden:

- Der Einsatz von Drainagen und hitzeresistenten Materialien können die Anfälligkeit von Verkehrsinfrastrukturen mindern.¹⁴² Die Höhe der potentiell entstehenden Mehrkosten ist bisher nicht untersucht worden. Insbesondere im Fall der Schienen ist jedoch mit erheblichen Kosten zu rechnen. Zudem wird die Anpassung in diesem Bereich durch die im Vergleich zu Straßen längeren Erneuerungszyklen erschwert;
- Raumplanerische Maßnahmen können dazu beitragen eine starke Exponierung von Verkehrsinfrastrukturen zu vermeiden (z.B. Verlagerung von Küstenstraßen);
- Schutzbauten können Verkehrsinfrastrukturen in Küstennähe schützen;

¹⁴² Macroeconomica Limited (2006), Transportation Research Board (2008).

- Wartungsmaßnahmen, z.B. regelmäßige Kontrolle von Straßenabläufen, Abflussrohren, Wasserleitungen verringern das Risiko von Überschwemmungen bei Starkregen;
- Frühwarnsysteme zur Verbesserung der Notfallplanung vor Extremereignissen und zur frühzeitigen Umleitung von Reisenden können die Kosten von Verspätungen senken.

Abbildung 19: Wirkungspfade Verkehr



Fallstudie 8: Versicherungswirtschaft

In dieser Fallstudie wird untersucht, inwieweit auch zukünftig ein Teil der Schäden durch den Klimawandel von der Versicherungswirtschaft getragen werden kann. Heute sind die meisten Gebäude, öffentlichen Infrastrukturen sowie sonstige Sachwerte gegen Elementarschäden versichert. So konnte ein Teil der Auswirkungen bisheriger Extremereignisse vom privaten Versicherungssektor aufgefangen werden. Zukünftig jedoch könnte der Klimawandel durch eine stärkere Häufung von Extremereignissen und durch höhere Schäden die Versicherungswirtschaft an die Grenzen der Versicherbarkeit bringen und vermehrt den Staat als „lender of last resort“ fordern. Das folgende Kapitel diskutiert die Gefahr dieser Grenzen der Versicherbarkeit und mögliche Anpassungsmaßnahmen im Versicherungssektor.

Versicherungsschäden bisheriger Extremereignissen

Wie in den vorangehenden Fallstudien aufgezeigt, führt der Klimawandel über die Zunahmen von Extremereignissen zu erheblichen Schäden an öffentlichen und privaten Bauten, Infrastrukturen und landwirtschaftlicher Nutzfläche. Ein großer Teil dieser Güter ist heute gegen Elementarschäden versichert. Bisher war die Eintrittswahrscheinlichkeit von verschiedenen Schadensereignissen für die Versicherungen im Rahmen von Risikoanalysen relativ gut kalkulierbar. Aufgrund der Klimaveränderung sind Ergebnisse mit unsicherer Eintrittswahrscheinlichkeit vom Ausmaß einer Katastrophe sowie das mögliche Zusammenfallen von verschiedenen Extremereignissen nun jedoch deutlich schwerer zu kalkulieren.¹⁴³ Die Versicherungswirtschaft steht hier vor großen Herausforderungen, damit auch bei einer Zunahme klimabedingter Extremereignisse die Zahlungsfähigkeit gesichert werden kann. Nach Aussagen der Münchner Rück könnten sich die Jahresschadenssätze als Folge von Winterstürmen bis zur Periode 2070-2100 gegenüber der Referenzperiode (1960-1990) mehr als verdoppeln (plus 114%).¹⁴⁴ Bisherige Ereignisse zeigen, dass die versicherten Schäden eines größeren Einzelereignisses schnell in den zwei- bis dreistelligen Milliardenbereich ansteigen können (vgl. Tabelle 31). Während bis vor kurzen in der Versicherungswirtschaft ein Schaden im Bereich von 10 Mrd. US\$ als Extremereignis eingeschätzt wurde, wurde spätestens mit dem Hurrikan Katrina mit einem Schaden von über 60 Mrd. US\$ eine neue Dimension erreicht.

¹⁴³ Dowlatabadi Und Cook (2006).

¹⁴⁴ Munich Re (2007).

Tabelle 31: Versicherungsschäden bisheriger Extremereignisse

| Ereignis | Volkswirtschaftliche Kosten | Kosten für die Versicherungswirtschaft |
|--|-----------------------------|--|
| Hurrikan Katrina 2005 (Maßstab für bisher höchsten Schaden) | 125 Mrd. US\$ | 61,6 Mrd. US\$ |
| Wintersturm Lothar 1999 | 11,5 Mrd. US\$ | 5,9 Mrd. US\$ |
| Hochwasser 2002 | 16,5 Mrd. US\$ | 3,4 Mrd. US\$ |
| Sturm Kyrill 2007 | 10,0 Mrd. US\$ | 5,8 Mrd. US\$ |
| Waldbrände USA, Okt.-Nov. 2007 | 2,7 Mrd. US\$ | 2,3 Mrd. US\$ |
| (Prognose für Hochwasser am Rhein) | | (5 Mrd. €) |

Quelle: Münchner Rück Datenbank der Naturkatastrophen, NatCatSERVICE, Munich Re 2007.

Die globale Schadensentwicklung der letzten Jahre zeigt eine deutlich positive Trendentwicklung. Dies ist auf drei Faktoren zurückzuführen: 1) Anstieg der extremen Wetterereignisse, 2) Ausmaß der Schäden von Naturkatastrophen, 3) Anstieg der versicherten Werte. Positive Aspekte des Klimawandels, z.B. geringere Schäden durch kalte Winter, sind in der für die Versicherungswirtschaft relevanten globalen Perspektive bisher nicht zu erkennen. Die Münchner Rück arbeitet derzeit an einer Trendanalyse, welche Informationen zu den zukünftigen durch den Klimawandel verursachten Schäden bereitstellen soll.

Abbildung 20 zeigt die Entwicklung der globalen Schäden aus großen Naturkatastrophen sowie die Trendentwicklung. Die in der Abbildung gezeigten globalen Gesamtschäden im Jahr 2005 von ca. 240 Mrd. US\$ entsprechen ca. 0,5% des globalen BIP. Allein die versicherten Schäden des Hurrikan Katrina lagen in Höhe von 0,15% des globalen BIP.

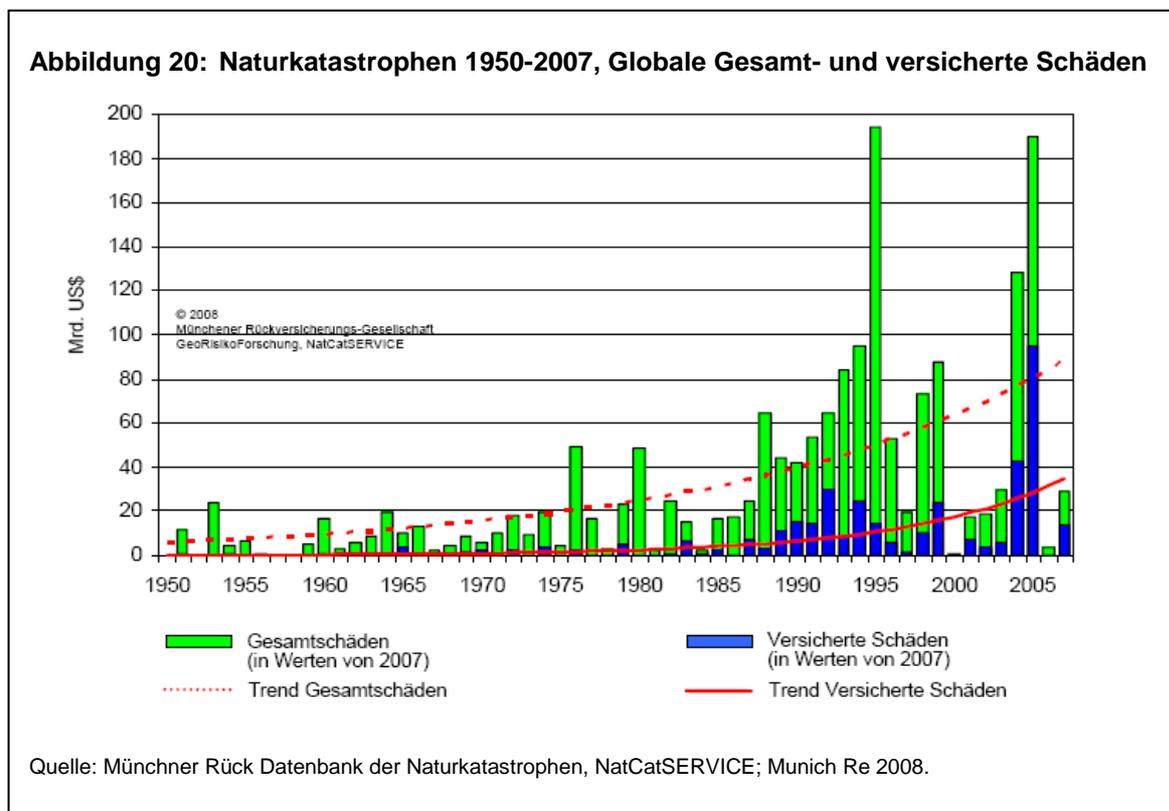


Tabelle 31 macht deutlich, dass in den verschiedenen Schadensbereichen ein unterschiedlicher Anteil der volkswirtschaftlichen Schäden von Versicherungen abgedeckt

ist. Während Waldbrände in USA fast vollständig versichert sind, ist die Deckung von Stürmen bereits deutlich geringer, beim Elbehochwasser 2002 waren sogar nur 20% der volkswirtschaftlichen Schäden versichert. Dies ist auf unterschiedliche Versicherungsdichten bei den Gefahren zurückzuführen. Bei Sturm und Hagel beträgt die Versicherungsdichte in Deutschland bei Privaten 75-80%; bei Überschwemmungen liegt sie dagegen unter 10% (Munich Re 2007). Entsprechend haben bisherige Schäden die öffentliche Hand unterschiedlich belastet: Nach dem Wintersturm Lothar hat die bayrische Landesregierung zusätzliche Fördermittel von 15 Mio. DM bereitgestellt, zur Bewältigung des Elbehochwassers waren dagegen 9,2 Mrd. € notwendig.¹⁴⁵

Da die versicherten Werte (z.B. der Wert einzelner Immobilien oder Fahrzeugen) in Deutschland weiterhin steigen, ist davon auszugehen, dass zukünftige Ereignisse zu höheren Schäden führen werden.¹⁴⁶

Wirkungen von stärkeren Temperatur- und Niederschlagsschwankungen auf die Versicherungswirtschaft

Gleichzeitig eröffnet der Klimawandel der Versicherungsbranche auch neue Chancen. Bereits heute bietet die Versicherungsindustrie Möglichkeiten zur **Abfederung von wetterbedingten Produktionsschwankungen**. Solche Wetterderivate wurden bisher vor allem im US-Energiemarkt angewendet. Die Liste potentieller Endnutzer ist jedoch lang und reicht von der Tourismusindustrie bis zur Landwirtschaft. Wetterderivate können entweder zur Gegenfinanzierung staatlicher Sicherheitsnetze oder auch als Mikroversicherung gefährdeter Bauern eingesetzt werden.¹⁴⁷ Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der klimabedingten Zunahme von Temperatur- und Niederschlagsschwankungen die Nachfrage nach Wetterderivaten steigen wird.

Mögliche Anpassungsmaßnahmen

1) Anpassungsmaßnahmen bei Zunahme von versicherten Schäden durch Extremereignisse

Um den neuen Herausforderungen gerecht zu werden, müssen Anpassungen in der Versicherungswirtschaft stattfinden. Den Versicherern stehen dazu die folgenden Möglichkeiten zur Verfügung:

Erhöhung der Risikoprämien für Unternehmen und private Haushalte: Um die Versicherbarkeit für solche Extremereignisse auch zukünftig gewährleisten zu können, müssen die Prämien erhöht werden.

Einschränkung der Versicherbarkeit: In stark durch den Klimawandel gefährdeten Gebieten kann der Versicherungsdeckungsgrad zurückgehen bzw. eine Versicherung nur noch mit entsprechend hohen Prämienzahlungen oder Selbstbehalten erworben werden. Ein Beispiel für die Differenzierung der Prämienzahlungen stellt die heutige Elementarschaden-Zusatzdeckung dar, bei der zwischen Regionen je nach Hochwassergefährdungsgrad unterschieden wird (Schwarze und Wagner 2002). Wenn die öffentliche Hand auch zukünftig

¹⁴⁵ Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2000); Munich Re (2003), mit NatCatSERVICE-Info: Volkswirtschaftliche Konsequenzen der August-Überschwemmungen in Deutschland – eine Bestandsaufnahme.

¹⁴⁶ Schwarze und Wagner (2002).

¹⁴⁷ Deutsche Bank Research (2007).

mit Hilfszahlungen bei Schäden einspringt wie z.B. beim Elbehochwasser, führt die Einschränkung der Versicherbarkeit jedoch nicht zu den gewollten Anreizen zur Reduktion der Bautätigkeit in exponierten Lagen. Eine enge Kooperation zwischen Versicherern, dem Bund, Ländern und Gemeinden erscheint hier dringend notwendig. Im Hochwasserschutzgesetz (2005) wurden bereits Regelungen eingeführt, die den Staat gegen zukünftige Ansprüche bei Schadensereignissen besser schützen und gleichzeitig bessere **Anreize für die Schadensvermeidung** bei den privaten Wirtschaftsakteuren setzen. So werden betroffene Personen dazu verpflichtet, geeignete Vorsorgemaßnahmen zum Schutz vor Hochwasser und zur Schadensminderung zu unternehmen.¹⁴⁸

Höhere Rückversicherung: Versicherungen werden auf höhere Rückversicherungsgrade zurückgreifen müssen. Jedoch werden möglicherweise auch Rückversicherer bei der Kumulation von mehreren Extremereignissen der Grenze der Versicherbarkeit immer näher kommen. Eine Möglichkeit wäre, die Auslagerung des Risikos auf den Kapitalmarkt zu verstärken, etwa durch neue Finanzmarktinstrumente:¹⁴⁹

- Cat-Bonds: Katastrophenanleihen werden meist mit dem Referenzzinssatz im Interbankengeschäft zuzüglich einer angemessenen Risikoprämie verzinst. Tritt ein zuvor definierter Schadenfall ein, verliert der Investor das eingesetzte Kapital. Die Anleihe wird von einer Zweckgesellschaft, einem sog. Special Purpose Vehicle (SPV), emittiert, welches mit dem Sponsor (Versicherter) einen Versicherungsvertrag abschließt.
- Cat-Risk CDO (Collateralized Debt Obligation): verschiedene Katastrophenrisiken werden gebündelt und in einzelnen Risikotranchen verkauft.
- Sidecars: Kapitalmarktfinanzierte Quotenrückversicherungen: Anleger werden je nach zuvor festgelegter Quote anteilsmäßig an einem Verlust beteiligt.
- Industry Loss Warrants: Form von kapitalmarktfinanzierter Schaden(rück)versicherung, die an einen Branchenschadenindex geknüpft ist.

Ob eine verstärkte Verlagerung der Risiken in den Kapitalmarkt zukünftig möglich ist, bleibt jedoch fraglich. Um dies zu beurteilen, müssen die internationalen Einflusskanäle, insbesondere die Wirkungen des Klimawandels auf den globalen Finanz- und Kapitalmarkt berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die globale Kapitalnachfrage durch den Klimawandel ansteigt. So wird international vermehrt Kapital zum Bau von Schutzmaßnahmen bzw. zum Wiederaufbau nach Extremereignissen benötigt, welches auf dem Kapitalmarkt nicht frei zur Verfügung steht. Insbesondere in den vulnerablen Gebieten in Asien, wo sich erhebliche Sachwerte und zentrale Infrastrukturen an der Küste befinden, entsteht durch den Meeresspiegelanstieg und durch die Häufung von tropischen Stürmen eine erhebliche Kapitalnachfrage. Bei knapperem Kapital steigt der Zinssatz. Damit die Übernahme von Risiken für Kapitalgeber attraktiv ist, müssten entsprechend hohe Risikoprämien bzw. Zinsen gezahlt werden. Die Investition z.B. in Katastrophenbonds wäre bei gleich bleibenden Renditeerwartungen deutlich unattraktiver als heute, da zukünftig das Zinsniveau insgesamt höher läge. Das Risiko-Outsourcing wäre für die Rückversicherer entsprechend teurer, sie müssten die höheren Kosten an ihre Kunden (die Versicherer) weitergeben. Diese können sich bei gleichem Budget bzw. bei erhöhten

¹⁴⁸ Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes, 3. Mai 2005, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2005 Teil I Nr. 26, In Kraft seit 10. Mai 2005.

¹⁴⁹ Deutsche Bank Research (2007).

Prämien leicht steigendem Budget wiederum nur eine geringere Rückversicherungsdeckung leisten. Dieser Aspekt ist bei der Bewertung der Grenzen der Versicherbarkeit zu beachten.

2) Anpassung bei Wetterderivaten:

Um diesem Nachfrageanstieg nachzukommen und die Finanzierung zu gewährleisten, kann die Versicherungswirtschaft folgendermaßen reagieren:

- Erhöhung der „Trigger“ bei denen Zahlungen fällig werden (z.B. Erhöhung der Anzahl Hitzetage, bevor Zahlungen an die Energiewirtschaft fällig werden).
- Erhöhung der Selbstbehalte.

Beide Reaktionsmöglichkeiten führen dazu, dass der Anteil der versicherbaren Produktionsausfälle sinkt und somit klimabedingte Temperatur- und Niederschlagschwankungen die Wertschöpfung der betroffenen Unternehmen reduzieren. Dies kann sich einerseits über eine Reduktion des BIP und somit über reduzierte Steuereinnahmen auf die Einnahmenseite der öffentlichen Hand auswirken. Andererseits ist es vorstellbar, dass in extremen Situationen direkte Hilfszahlungen an bestimmte Branchen (z.B. die Landwirtschaft) oder ein staatlicher Ausgleich für die Mehrkosten im Betrieb (z.B. in der Energiewirtschaft) notwendig werden.

3) Pflichtversicherung und staatliche Versicherungen

Um eine möglichst breite Diversifizierung der Risiken zu ermöglichen und dem Problem der adversen Selektion (Negativauslese) vorzubeugen, besteht die Möglichkeit zur **Einführung einer Pflichtversicherung**. Heute sind private Haushalte und Unternehmen in Deutschland gegen Elementarschäden unterversichert. Dies liegt einerseits daran, dass die Risiken von Extremereignissen unterschätzt werden, andererseits setzen das „Fürsorgeverhalten“ des Staates und die Spendenfreundlichkeit der Bevölkerung nach Naturkatastrophen falsche Anreize.¹⁵⁰ Zudem findet bereits heute eine adverse Selektion bei den Risiken statt, da Versicherer die Übernahme von „schlechten Risiken“ z.B. von Kunden, die in den letzten Jahren Hochwasserschäden hatten, ablehnen können. Ähnlich wie bei der Krankenversicherung könnte im Zuge der Pflichtversicherung auch bei Elementarschäden ein gesetzlicher **Anspruch auf Versicherungsschutz** eingeführt werden.

Nach dem Elbehochwasser 2002 hat das DIW die Einführung einer Pflichtversicherung vorgeschlagen, in der alle Elementarschäden enthalten sind. Pro Jahr könnte diese Pflichtversicherung eine Erst- und Rückversicherungskapazität von bis zu 6 Mrd. € ermöglichen. Ein Vergleich mit den Schäden bisheriger Ereignisse (vgl. Tabelle 31) macht jedoch deutlich, dass diese Kapazität nicht ausreichend ist, um eine vollständige Schadensdeckung zu ermöglichen. Hier ist auch nach Aussagen des DIW bei „Megaschäden“ weiterhin eine Mitbeteiligung des Staates notwendig.¹⁵¹

Die Vorteile einer solchen Pflichtversicherung sind jedoch fraglich. Wenn für Versicherungsunternehmen damit ein Kontrahierungszwang einhergeht, setzt eine solche Pflichtversicherung **falsche Anreize**. So würde weiterhin in gefährdeten Gebieten gebaut, statt mit Hilfe von raumplanerischen Maßnahmen eine Akkumulation von Versicherungswerten in gefährdeten Gebieten zu vermeiden. Zudem wurde vorgeschlagen, die Prämien für

¹⁵⁰ Schwarze und Wagner (2002).

¹⁵¹ Schwarze und Wagner (2003).

alte Bausubstanz in Hochrisikogebieten staatlich zu subventionieren.¹⁵² Damit würden spezifische Risiken weiterhin staatlich unterstützt und sich die Situation gegenüber dem heutigen „Fürsorgeverhalten“ nicht grundlegend ändern.

Daneben ist auch eine stärkere Bedeutung des öffentlichen Sektors in der Versicherung von Elementarschäden denkbar. So gibt es z.B. in Frankreich ein Public Private Partnership für die Versicherung von bisher als „unversicherbar“ betrachteten Naturgefahren.¹⁵³ Es ist auch vorstellbar, dass die Versicherung für einzelne, stark gefährdete Sektoren zukünftig stärker von der öffentlichen Hand reguliert bzw. durchgeführt wird. Heute gibt es solche Konstruktionen bereits in Ländern mit niedrigen und mittleren Einkommen, wie z.B. eine staatliche Versicherung für Landwirte in Indien zur Deckung von wetterbedingten Ernteaussfällen.¹⁵⁴

Wirkungen für die öffentliche Hand

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Versicherungsbranche und die entsprechenden Anpassungsreaktionen wirken über folgende Kanäle auf die öffentliche Hand:

Erhöhung der Risikoprämien für Unternehmen und private Haushalte: Bei höheren Risikoprämien für Versicherungen sinkt das verfügbare Einkommen der Haushalte sowie die Wertschöpfung der Unternehmen mit entsprechenden indirekten Wirkungen auf die öffentliche Hand. Falls in stark gefährdeten Gebieten auch die Selbstbehalte erhöht werden, entsteht in diesen Gebieten ein Risiko, dass der Staat als „lender of last resort“ einspringen muss (s.u.). Gleichzeitig ist jedoch auch zu beachten, dass heute auf Versicherungen eine Versicherungssteuer von 19% erhoben wird, so dass höhere Risikoprämien auch zu höheren Einnahmen für die öffentliche Hand führen.¹⁵⁵

Einschränkung der Versicherbarkeit: In Gebieten, in denen die Versicherbarkeit mit Hilfe von Finanzmarktinstrumenten zukünftig nicht mehr gewährleistet ist, muss verstärkt der Staat als „lender of last resort“ bzw. mit Hilfszahlungen einspringen. Es ist nicht realistisch, dass stark durch den Klimawandel gefährdete Gebiete schnell völlig aufgegeben werden und der Staat keine Unterstützung mehr bereitstellt. Ähnlich wie bei bisher nicht finanzierten Schäden durch Extremereignisse, muss und kann der Staat als letzte Finanzierungsinstanz auftreten. Die zusätzlichen Ausgaben für die Schadensbewältigung stehen an anderer Stelle nicht zur Verfügung. Ähnlich wie bereits im Hochwasserschutz-Gesetz könnte der Staat sich jedoch besser gegen Ansprüche für Hilfszahlungen sichern und notwendige Anreize für eine Verlagerung von Sachwerten in weniger verwundbare Gebiete setzen. Um Einschränkungen bei der Versicherbarkeit zu vermeiden, könnte der Staat den Versicherern bzw. Rückversicherern auch eine Bürgschaft anbieten. Somit könnte zumindest ein Teil des Risikos weiterhin vom privaten Sektor getragen werden.

¹⁵² Schwarze und Wagner (2002).

¹⁵³ Marcellis-Warin und Michel-Kerjan (2001).

¹⁵⁴ Hofman und Brukoff (2006).

¹⁵⁵ Versicherungssteuergesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. Januar 1996 (BGBl. I S. 22), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 29. Juni 2006 (BGBl. I S.1402).

Höhere Rückversicherung: Wenn auch die Rückversicherer die Schäden nicht mehr mit neuen Finanzinstrumenten abdecken können, ist auch hier eine Begrenzung der Auszahlungen im Schadensfall möglich. Auch in diesem Fall läge das Restrisiko beim Staat.

Staatlich initiierte Anpassungsmaßnahmen können dazu führen, dass die Schäden durch Extremereignisse und somit die Auswirkungen über die Versicherungswirtschaft reduziert werden:

Schutzbauten: Senken die Schäden durch Extremereignisse und somit die zusätzliche Herausforderung für die Versicherungswirtschaft. Die Rolle des Staates als „lender of last resort“ sowie die Wirkungen über den Anstieg der Versicherungsprämien können reduziert werden. Da jedoch auch mit Schutzbauten ein Restrisiko verbleibt, können die Auswirkungen auf die öffentliche Hand nicht vollständig vermieden werden. Die Anpassungsmaßnahmen gehen außerdem mit Kosten einher. Nur eine detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse kann im Einzelfall zeigen, welcher Effekt überwiegt.

Raumplanerische Vorsorge: In stark gefährdeten Gebieten kann mit Hilfe von raumplanerischen Instrumenten ein weiteres Wachstum vermieden werden bzw. sogar aktiv eine Umsiedlung von Einwohnern und Industrie angestrebt werden. Die Auswirkungen über die oben beschriebenen Kanäle könnten reduziert werden. Gleichzeitig kommen auf den Staat Kosten zu, z.B. durch Entschädigungszahlungen.

Fazit: Führt der Klimawandel an die Grenzen der Versicherbarkeit für die private Versicherungswirtschaft?

Aufgrund der Vielzahl der Wirkungskanäle und der großen Anzahl möglicher Anpassungsmaßnahmen sind die Wirkungen für die öffentliche Hand im Bereich der Versicherungen in dieser Studie **nicht quantifizierbar**. Die Schadensbilanzen bisheriger Ereignisse machen aber deutlich, welche Summen für die öffentliche Hand anfallen würden, wenn die Schadensdeckung über private Versicherungen nicht mehr garantiert werden kann. Daher ist die zentrale Frage, ob die Versicherungswirtschaft trotz der zunehmenden Risiken in Zukunft noch einen breiten Versicherungsschutz zur Verfügung stellen kann, oder ob sie an die Grenzen der Versicherbarkeit stößt.

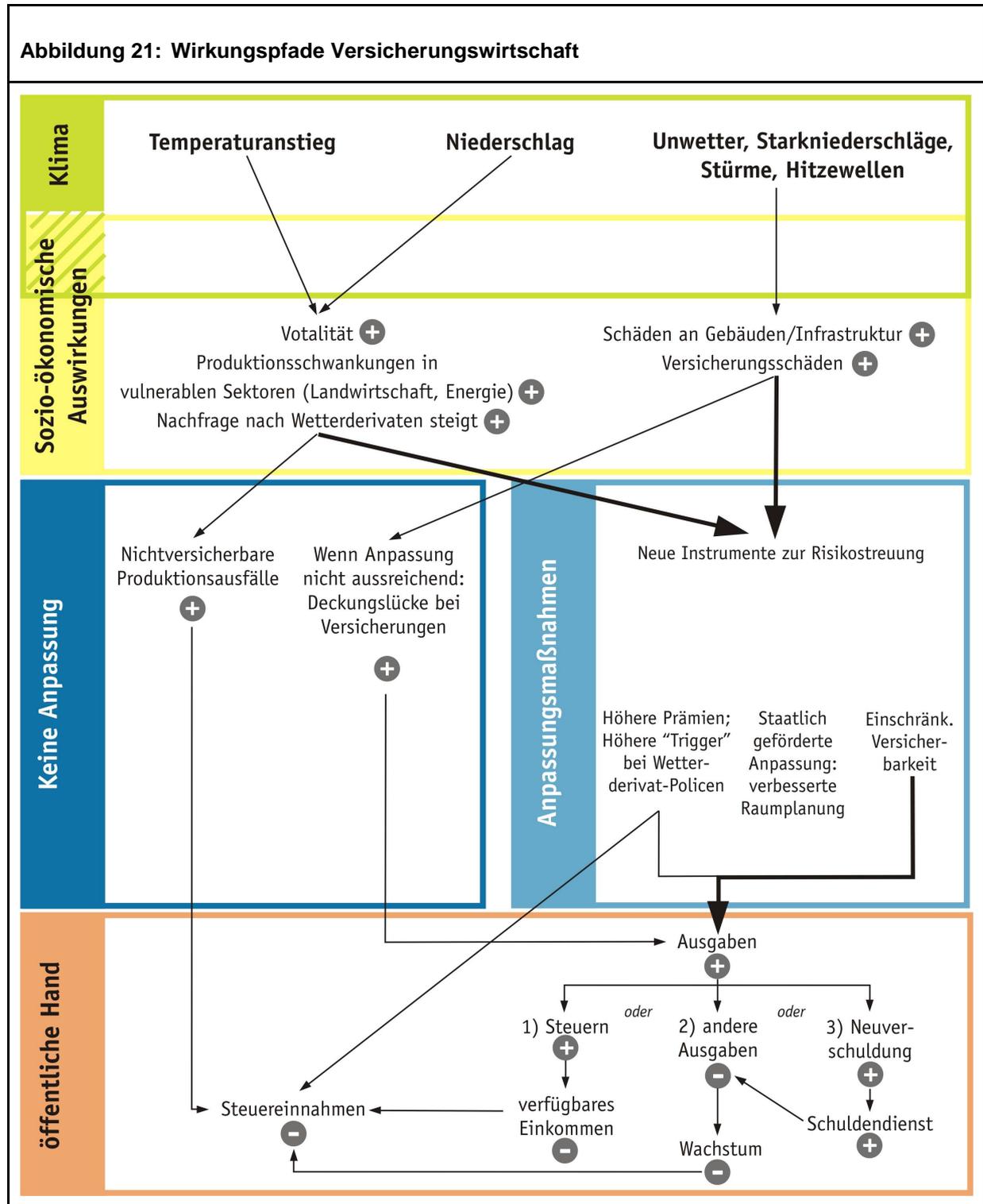
Auf dem Expertenworkshop zu diesem Projekt wurde von einem Vertreter der Münchner Rück darauf hingewiesen, dass bis 2020 die Versicherbarkeit weiterhin garantiert ist. Da der Klimawandel jedoch v.a. nach 2050 in Form von Extremereignissen zu spüren sein wird, ist für diese Fragestellung eher der Zeithorizont zwischen 2050 und 2100 relevant.

Vor allem beim gehäuften Auftreten mehrerer Ereignisse scheint es möglich, dass die Rückversicherer und die Versicherungsbranche insgesamt an ihre Grenzen stoßen. Die Münchner Rück und andere Rückversicherer arbeiten derzeit an einer differenzierten Trendanalyse, welche die zu erwartenden Dimensionen aufzeigen sollen.

Für die Top 10 Rückversicherer betragen die gezeichneten Nettoprämien 72 Mrd. US\$ in 2005 (für die Top 20: 90 Mrd. US\$). Diesem Kapital standen im Jahr 2004 weltweit Versicherungszahlungen nach Naturkatastrophen in Höhe von 49 Mrd. US\$ gegenüber, im Jahr 2005 sogar 86 Mrd. US\$.¹⁵⁶ Selbst wenn davon auszugehen ist, dass sich ein solches Verhältnis von Prämien zu Schäden nicht in jedem Jahr ergibt, die Versicherer über erhebliche Rücklagen verfügen und neue Finanzmarktinstrumente verstärkt nutzen,

¹⁵⁶ Charpentier (2008).

erscheint möglich, dass die private Versicherungswirtschaft eine vollständige Schadensdeckung zukünftig nicht mehr vollständig garantieren können. Dies kann dazu führen, dass der Staat dadurch als „lender of last resort“ gefordert wird.



Fallstudie 9: Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Die Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf die menschliche Gesundheit sind bereits relativ gut erforscht.¹⁵⁷ Die Arbeitsgruppe 2 des IPCC hat im 4. Sachstandbericht von 2007 die wissenschaftliche Literatur zu den globalen Auswirkungen ausgewertet,¹⁵⁸ darunter auch ökonomische Schätzungen zu den global zu erwartenden Kosten durch klimabedingte Gesundheitsschäden.¹⁵⁹ Daneben legte der WWF im Jahr 2007 eine umfassende Untersuchung zu den Folgen des Temperaturanstiegs für die Entwicklung der Gesundheitskosten in Deutschland vor.¹⁶⁰

Relevante Klimaparameter

Menschen leiden insbesondere an den mit dem Temperaturanstieg verbundenen Extremereignissen, wie die Hitzewelle im Sommer 2003 eindrücklich gezeigt hat. Deshalb gehören zu den relevanten physischen Parametern neben den **Temperaturmaxima**, die Zahl der **Sommertage** pro Jahr ($> 25\text{ °C}$), die Anzahl der **Hitzetage** ($> 30\text{ °C}$) sowie der **tropischen Nächte**, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C sinkt. Darüber hinaus sind die Länge von Hitzeperioden und die **gefühlte Temperatur**, eine Kombination aus Temperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit, relevant. Gleichzeitig sind aufgrund der seltener auftretenden Frosttage ($< 0\text{ °C}$) positive Wirkungen möglich.

Auswirkungen auf die Gesundheit

Hohe Temperaturen belasten das Wohlbefinden aller Menschen, treffen aber durch Alter oder Krankheit ohnehin weniger belastbare Gruppen in besonderer Weise und können bei extremer, langanhaltender Hitze zu zusätzlichen Todesfällen besonders in diesen Gruppen führen. Gleichzeitig ist ein Rückgang der Mortalitätsrate im Winter möglich. Die Forschung ist hier allerdings noch nicht konklusiv: Während beispielsweise Kovats et al. (1999) einen Rückgang der durch extreme Kälte verursachten Todesfälle prognostizieren, weist Jendritzky (2007) darauf hin, dass die Wirkungszusammenhänge zwischen Kältestress und höherer Mortalitätsrate bisher ungeklärt sind. Empirische Studien zeigen, dass die Wintermortalität nicht mit der Durchschnittstemperatur korreliert. Einige Regionen mit milderem Winter (z.B. Großbritannien) haben höhere Mortalitätsraten als Ländern mit strengen Wintern (z.B. Schweden).¹⁶¹ Menschen sind der thermischen Umwelt im Winter allgemein weniger stark ausgesetzt als im Sommer, da sie sich häufiger in beheizten Räumen aufhalten. Die höhere Mortalitätsrate im Winter könnte daher lediglich ein Anzeichen für eine höhere Infektionsgefahr sein, wobei offen bleibt, ob und wenn ja in welchem Umfang mildere, aber feuchtere Winter zu einer Verringerung der Mortalität beitragen werden.¹⁶²

¹⁵⁷ Vgl. Literaturüberblick in Jendritzky (2007).

¹⁵⁸ IPCC (2007).

¹⁵⁹ Bosello et al. (2005).

¹⁶⁰ WWF (2007).

¹⁶¹ Eurowinter Group (1997).

¹⁶² Jendritzky (2007).

Dagegen belegen bisher erhobene Daten klar den **Anstieg der Mortalitätsraten bei Hitzeereignissen**, wobei es sich zum Teil um vorverlagerte Todesfälle handelt.¹⁶³ Hinsichtlich des Nettoeffekts kommt der WWF (2007) nach Modellierung für Deutschland auf Basis der REMO-Daten und unter Berücksichtigung der erwarteten demographischen Entwicklung zu dem Ergebnis, dass sich die hitze- und kältebedingte Folgen in der Mitte Deutschland in etwa die Waage halten werden, während im Nordosten leicht positive Effekte und im Süden und Südwesten eine Nettozunahme der Todesfälle zu erwarten ist. Aufgrund der Unsicherheit der zugrundeliegenden Wirkungszusammenhänge sind weitere Forschungen in diesem Bereich unerlässlich.

Neben zusätzlichen Todesfällen wird bei anhaltender Hitze die Zunahme von **Herz-Kreislauferkrankungen** und **Allergien** beobachtet. In städtischen Ballungsräumen entstehen bei entsprechenden Wetterlagen zusätzliche Belastungen der **Atemwege** durch Luftpartikel und erhöhte Ozonwerte. Ein weiterer Faktor erhöhter Gesundheitsbelastung ist das erwartete verstärkte Auftreten bestimmter **Krankheitsüberträger** (wie Zecken und Stechmücken) und -erreger (wie Bakterien, Viren). Dieses kann durch höhere Überlebensraten in milden Wintern, eine Verlängerung der jährlichen Aktivitätsperiode oder die stärkere Verbreitung wärmeliebender Arten bedingt sein.¹⁶⁴ In ähnlicher Weise wird die stärkere räumliche und zeitliche Verbreitung allergieauslösender Pflanzen und Tiere erwartet. **Lebensmittelvergiftungen** aufgrund verdorbener Lebensmittel, etwa durch Salmonellen, gehören ebenfalls zu den hitzebedingten Gesundheitsrisiken. Inwieweit Rückgänge bei Krankheitsfällen im Winter zu erwarten sind, ist bisher nicht empirisch untersucht worden und es gibt keine Schätzungen zu den Implikationen für die Gesundheitskosten. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Neben dem erhöhten Krankheits- und Mortalitätsrisiko fällt aus ökonomischer Sicht außerdem der **Rückgang der Leistungsfähigkeit von Arbeitnehmern** bei langanhaltender Hitze ins Gewicht. Dies gilt insbesondere für Berufsgruppen, die im Freien arbeiten, betrifft aber auch die Arbeit in aufgeheizten Innenräumen. Inwiefern sich geringere Wintertemperaturen positiv auf die Produktivität von Arbeitnehmern auswirken, ist bisher nicht untersucht worden. Grundsätzlich sind nur Arbeiten im Außenbereich betroffen, da Innenräume beheizt werden können. Zu erwarten ist beispielsweise, dass sich die Bausaison verlängert, d.h. dass die Bautätigkeit gleichmäßiger über das Jahr verteilt wird und saisonale Arbeitslosigkeit in geringerem Umfang auftritt (vgl. dazu Fallstudie Schäden an Gebäuden und Wirkungen auf die Bauwirtschaft). Ebenso wird sich die Anbausaison in der Landwirtschaft verlängern (vgl. dazu Fallstudie Land- und Forstwirtschaft). Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass mildere Winter im nennenswerten Maße zu einem Anstieg der Leistungsfähigkeiten von Arbeitnehmern führen.

Anpassungsmaßnahmen

In vielen Industrieländern mit vergleichbarem wirtschaftlichem Einkommen herrschen schon heute klimatische Bedingungen, die denen für Deutschland zum Ende des Jahrhunderts erwarteten Bedingungen ähneln. Dadurch wird deutlich, dass die hier skizzierten negativen Gesundheitseffekte und Leistungsverringerungen bei Erwerbstätigen nicht unausweichlich

¹⁶³ Laschewski und Jendritzky (2002).

¹⁶⁴ BMU (2008).

sind, sondern durch umfassende Anpassung vermieden werden können. Wie in den methodischen Einführungen dargestellt, beschränken wir uns bei der Quantifizierung jedoch auf ein Szenario ohne Anpassung, da die Vielfalt der Anpassungsoptionen eine ausführliche Kosten-Nutzenanalyse jeder einzelnen Maßnahme erfordern würde. Allgemein ist jedoch davon auszugehen, dass die erforderlichen Umstellungen in Gesundheitssystem, Städtebau und Gebäuden erhebliche Kosten verursachen werden, die anders als in bereits angepassten Volkswirtschaften etwa in der Mittelmeerregion in Deutschland erst noch geleistet und finanziert werden müssen.

Eine wichtige Anpassungsoption wird die zunehmende Verbreitung von Klimaanlageanlagen sein. Es sei angemerkt, dass unter den Anforderungen nachhaltigen Wirtschaftens der Einbau energieintensiver **Klimaanlagen** sicher keine optimale Lösung ist und aufgrund tendenziell steigender Energiekosten auch keine kostengünstige Option. Es ist davon auszugehen, dass die durch den Einbau von Klimaanlageanlagen verursachten Anpassungskosten von den Unternehmen getragen werden und keine direkten Kosten für die öffentliche Hand verursachen, abgesehen von den Kosten für den Umbau von öffentlichen Gebäuden. Je nachdem ob die Unternehmen die Kosten auf die Kunden überwälzen können oder andere produktive Investitionen der Unternehmen verdrängt werden, können allerdings über Einkommens- oder Wachstumsrückgänge indirekte Wirkungen für die öffentlichen Haushalte entstehen. Das gleiche gilt für die höheren Ausgaben von Privaten für Anschaffung und Betrieb von Klimaanlageanlagen.

Eine weitere Anpassungsmaßnahme, die Unternehmen ohne staatliche Lenkung durchführen können, besteht darin, die **Arbeitszeiten** den veränderten klimatischen Bedingungen anzupassen, um Überlastungen in der Mittagshitze zu vermeiden.

Demgegenüber erfordern die folgenden Anpassungsmaßnahmen staatliches Handeln:

- Einführung von Frühwarnsystemen und Notfallplänen für Hitzewellen;
- Aufklärungskampagnen über den Umgang mit Hitze;
- Programme zur Eindämmung von Gesundheitsgefahren durch neu oder verstärkt auftretende Krankheitserreger und -überträger (z.B. Beobachtung, Impfprogramme);
- Maßnahmen zur Luftreinhaltung zur Verhinderung von Ozonakkumulation in Städten;
- Nutzung stadtplanerischer Mittel zur Verringerung des Hitzestress in Städten;
- Änderung der Bauordnungen und anderer rechtlicher Vorgaben in Bezug auf Isolierung, Beschattung und Lüftung von Wohn- und Büroneubauten.

Auswirkungen auf die öffentliche Hand

Mit Blick auf die fiskalischen Wirkungen sind insbesondere drei sozio-ökonomische Wirkungen relevant: 1. gesamtwirtschaftliche Produktivitätsrückgänge aufgrund von hitzebedingten Leistungseinbußen, 2. steigende Gesundheitskosten durch hitzebedingte Krankheitsfälle und 3. Opportunitätskosten durch Mehrausgaben für Anpassungsmaßnahmen.

Im Einzelnen ist mit **steigenden Ausgaben für die Krankenversicherung** zu rechnen, die entweder über erhöhte Beiträge oder einen Steuerzuschuss zu finanzieren sein werden. Als Gegenargument wird häufig darauf hingewiesen, dass der vorzeitige Tod von gesundheitlich

anfälligen Personen zur Einsparung bestimmter Aufwendungen für Gesundheit und Rentenzahlungen führt. Zu dieser Frage gibt es allerdings noch keine quantitativen Untersuchungen, sicher nicht zuletzt deshalb, weil ethische Bedenken in dieser Frage jedem Versuch einer Kosten-Nutzen-Abschätzung entgegenstehen.

Auf der Ausgabenseite sind des Weiteren die oben angeführten Anpassungsmaßnahmen wie Informationskampagnen, Einführung von Frühwarn- und Monitoringsystemen etc. zu berücksichtigen, die zumindest teilweise staatlich finanziert werden müssten. Allerdings dürfte ein größter Teil dieser Kosten in der Anfangsphase (Erarbeitung und Etablierung gewisser Routinen) anfallen. In der Tendenz werden diese Ausgaben dazu führen, höhere Gesundheitskosten und Steuerausfälle zu reduzieren, die hier für den Fall eines Szenarios ohne Anpassung berechnet werden. Abschätzung, was diese Anpassungsmaßnahmen kosten würden, gibt es zurzeit noch nicht.

Der Produktivitätsverlust durch **Leistungsrückgänge bei Arbeitnehmern** wirkt sich stärker auf der Einnahmeseite aus. Es sind Rückgänge beim Aufkommen der Einkommenssteuer sowie der Umsatzsteuer und aus der Besteuerung von Unternehmensgewinnen möglich.

Quantifizierung

Quelle für die Quantifizierung ist die Studie des WWF (2007), die bisher einzige Abschätzung der Gesundheitsfolgekosten des Klimawandels für Deutschland. Die Studie benutzt die Prognosen des REMO-Modells zur Zunahme der gefühlten Temperatur (HumIndex) nach dem A1B-Szenario, das ähnliche Erwärmungswerte vorhersagt wie A2¹⁶⁵ und berücksichtigt auch die Alterung der Gesellschaft. In der Studie wird zum einen der Produktivitätsrückgang bei hohen Temperaturen berechnet; zu Grunde liegen Labortestreihen. Die Leistungseinbußen werden als Verringerung der Arbeitsleistung in gleicher Höhe mit dem durchschnittlichen Arbeitseinkommen bewertet. Gesamtwirtschaftliche Rückkopplungseffekte und Anpassungsmaßnahmen werden dabei nicht berücksichtigt. Da in unserer Studie davon ausgegangen wird, dass existierende Anpassungsmaßnahmen wie Klimaanlage fortgeführt werden und in der WWF-Studie keine kostensenkenden Wirkungen durch mildere Winter quantifiziert wurden, wird der konservative Schätzwert des WWF für die Quantifizierung benutzt.

Tabelle 32: Direkte Kosten und BIP-Verluste durch die Auswirkung des Klimawandels auf die Gesundheit

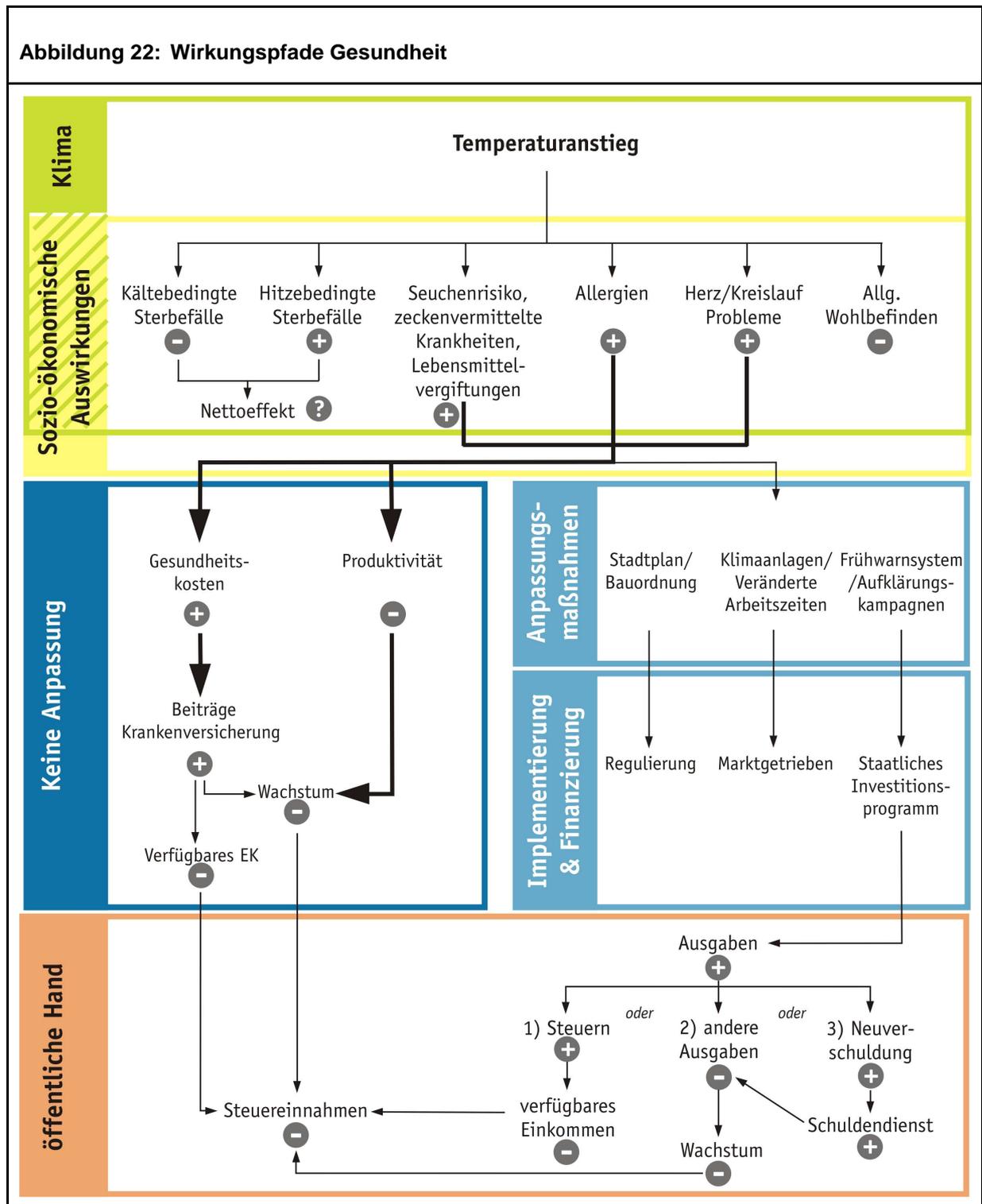
| | 2050 | 2100 |
|--|--------------------|--------------------|
| Krankenhauskosten | 225 – 525 Mio. €/a | 300 – 700 Mio. €/a |
| Rückgang des BIPs durch Leistungseinbußen* | - 0.07% | - 0,09 – 0,37% |

* Der prozentuale Rückgang bezieht sich jeweils auf das BIP des genannten Jahres, wobei ein Wirtschaftswachstum gemäß den Annahmen aus Kapitel 2 zu Grunde gelegt wird.

Die Kosten für Behandlung hitzebedingter Krankheiten wird über den beobachteten Zusammenhang zwischen Hitzewellen und Krankenhauseinweisungen, auf Basis gemittelter Kosten für Krankenhausbehandlung und unter Berücksichtigung der Alterung errechnet.

¹⁶⁵ Vgl. Seite 10, Abb. 7.

In der Studie gibt es keine Daten für 2050, vermutlich deshalb, weil mithilfe von REMO Hitze- und Sommertage bisher nur für die Periode 2071-2100 modelliert wurden. Um für die Quantifizierung für 2050 ebenfalls einen Wert einsetzen zu können, wird von einem linearen Kostenverlauf ausgegangen, d.h. die Werte für das Jahr 2050 werden ausgehend von den Werten für 2100 extrapoliert. Tabelle 32 zeigt die Ergebnisse der Berechnung im Überblick.

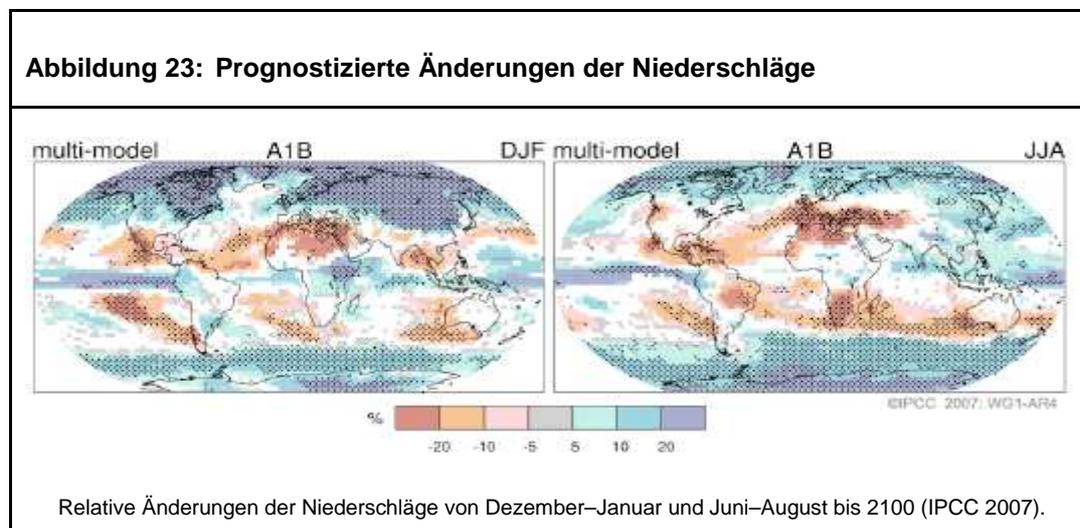


3.3 Fallstudie Internationale Einflusskanäle

Physische/klimatische Einflussfaktoren

Wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt werden konnte, wirkt sich der Klimawandel signifikant auf die deutsche Wirtschaft aus, trotz der im internationalen Vergleich nur mäßigen physischen Auswirkungen. Für andere Regionen sind sehr viel stärkere Belastungen zu erwarten, da nicht nur stärkere physische Wirkungen prognostiziert werden, sondern wirtschaftlich schwächere Länder zum Teil über ein geringeres Adaptionspotenzial verfügen. Deutschland gehört zu den export- und importstärksten Ländern der Welt und ist somit stärker über die internationale Arbeitsteilung mit den übrigen Weltregionen verflochten als andere Staaten. Veränderungen in der wirtschaftlichen Entwicklung anderer Weltregionen wirken sich daher vergleichsweise stark aus. Deshalb ist es bei der Frage nach den Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland wichtig, auch auf die Einflüsse über die Handelsströme zu schauen. Die Auswirkungen auf die deutsche Exportwirtschaft sollen im Rahmen dieses Kapitels abgeschätzt werden.

Niederschlagszunahmen werden insbesondere in den hohen Breiten erwartet, während es in den subtropischen Gebieten von Nord- und Südamerika, Afrika, dem Mittelmeerbecken und in Westasien vermehrt zu Niederschlagsverlusten kommen wird (Abbildung 23). Die Trends unterscheiden sich in fast allen Weltregionen im Sommer- und Winterhalbjahr. Z.B. nehmen die Niederschläge im Monsunklima Asiens im Sommer stark zu, während im Winter eine Abnahme prognostiziert wird.



Durch den Meeresspiegelanstieg entstehen erhebliche Risiken für die bevölkerungsreichen Küstenregionen, v.a. in den asiatischen Megadeltas, in den niedrig gelegenen Küstenregionen Asiens und Afrikas und den kleinen Inselregionen. Insbesondere wenn der Meeresspiegelanstieg durch ein verstärktes Abschmelzen des Grönlandeises oder durch andere Kippeffekte stark ansteigt, sind in diesen Küstenregionen Einwohner und Vermögenswerte gefährdet mit negativen Effekten auf das Wirtschaftswachstum dieser Regionen. IPCC (2007) bestätigt, dass die verschiedenen Weltregionen unterschiedlich vom Klimawandel beeinträchtigt sind. Westeuropa gehört dabei nicht zu den besonders stark

betroffenen Regionen, in Bezug auf die klimatischen Lebensbedingungen gar zu den relativ gesehen begünstigten Standorten.

Kurzbeschreibung der Internationalen Einflusskanäle des Klimawandels

Deutschland ist als offene, exportorientierte Volkswirtschaft in vielfältiger Weise mit dem Ausland verflochten. Wenn der Klimawandel in anderen Weltregionen zu (oft stärkeren) wirtschaftlichen Einbußen führt, so wirkt sich dies direkt oder indirekt auch auf Deutschland aus. Deshalb ist es zentral, neben den direkten Wirkungen des Klimawandels in Deutschland auch die möglichen Auswirkungen über die internationalen Einflusskanäle einzubeziehen. In der Größenordnung sind diese Einflüsse aus den übrigen Weltregionen mit großer Wahrscheinlichkeit gravierender als die Wirkungen in Deutschland direkt, wie z.B. eine Analyse für die Schweiz gezeigt hat.¹⁶⁶ Wichtige Kanäle, wie sich die Auswirkungen des Klimawandels in anderen Weltregionen auf Deutschland auswirken können, sind (Infras et al. 2007):

Handelsströme (Exporte und Importe): Der Klimawandel führt weltweit zu wirtschaftlichen Einbußen und Schäden. Dies mindert die Kaufkraft der Weltregionen und auch die Struktur der Nachfrage. Ansteigen werden Ausgaben für Reparaturmaßnahmen zur Behebung der Klimaschäden, während gleichzeitig Lebensmittel wegen zunehmender Trockenheit in bevölkerungsreichen und bisher vergleichsweise fruchtbaren Gebieten knapper werden. Beeinträchtigt werden können auch die politische Stabilität wegen zunehmender wirtschaftlicher und ökologischer Probleme und damit auch die internationale Sicherheit (WBGU 2007). Insgesamt ist im Vergleich zum Referenzszenario aus den vom Klimawandel stärker betroffenen Weltregionen mit einer sinkenden Nachfrage nach Importen von Waren und Dienstleistungen zu rechnen.

Migration: Es gibt erst wenige Studien, die die Wirkungszusammenhänge zwischen Klimawandel und Migration beleuchten (z.B. University of Oxford 2008). Der Anstieg des Meeresspiegels, die Änderungen der regionalen Klimabedingungen sowie die Verschiebung von Vegetationszonen können die wirtschaftlichen Grundlagen ganzer Regionen beeinträchtigen und neue Migrationsströme auslösen, die die bisherigen Migrationsbewegungen weit übersteigen. So liegen z.B. 30 der 50 größten Städte der Welt am Meer. In Indien beispielsweise würde ein Meeresspiegelanstieg von einem Meter die Lebensgrundlage von sieben Millionen Menschen gefährden (vgl. Biermann 2001, S. 26). Das IPCC (2007b) geht davon aus, dass die Anzahl der Klimaflüchtlinge stark steigen und allein die Zahl an Migranten aus Bangladesch, China, Indien, Ägypten sowie kleinen Inselstaaten bis 2050 mehrere zehn Millionen erreichen könnte (Infras et al. 2007).¹⁶⁷ Direkte Folgen für Deutschland können heute jedoch nicht abgeleitet werden, da dies maßgeblich von der zukünftigen Einwanderungspolitik Deutschlands abhängen wird. Angesichts des relativen Wohlstands und der auch unter den Verhältnissen des Klimawandels vergleichsweise

¹⁶⁶ Eine Analyse für die Schweiz macht deutlich, dass allein der Wirkungskanal des Klimawandels über die Handelsströme bereits zu höheren BIP-Einbußen führen, als die Wirkungen des Klimawandels über die nationalen Einflusskanäle. Dabei sind die weiteren internationalen Einflusskanäle nicht quantifiziert. Siehe Ecoplan (2007), Infras et al. (2007).

¹⁶⁷ Im Einzelnen ist die Definition von Migranten als Klimaflüchtlinge jedoch mit vielen Schwierigkeiten behaftet, da in der Praxis oft ein Bündel von Gründen zur Auswanderung führt.

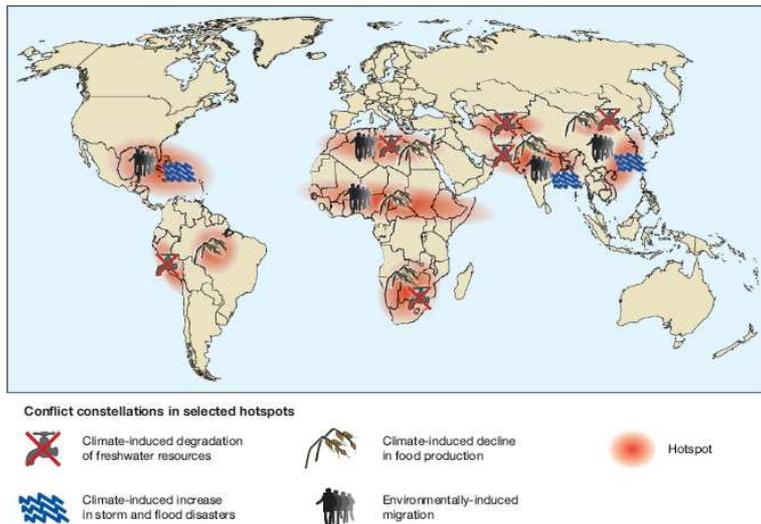
günstigen klimatischen Bedingungen ist mit einer steigenden Zahl von Einreiseanträgen zu rechnen.

Devisen- und Kapitalmarkt: Der Klimawandel könnte auch einen erheblichen Einfluss auf die Kapitalmärkte haben. Wenn nicht frühzeitig in Vermeidungsmaßnahmen investiert wird, kann der Klimawandel die Nachfrage nach Kapital für die Behebung von Klimaschäden erhöhen. Dies ergibt sich aus dem steigenden Investitionsbedarf zur Reparatur und Abfederung von Schäden durch den Klimawandel und für nötige Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Insgesamt könnte in den Weltregionen mit hoher Verwundbarkeit der Kapitalbedarf für solche Maßnahmen erheblich ansteigen. Dieses Kapital kann entsprechend nicht für alternative Investitionen verwendet werden, die möglicherweise einen innovativen und stärker Wachstum fördernden Charakter hätten. So kann das zukünftige Produktionspotential im Vergleich zum Referenzszenario aufgrund dieses Verdrängungseffekts geringer ausfallen. Es steigt die Gefahr, dass gewisse Anpassungsmaßnahmen nur noch vom Staat finanziert werden und somit generell die Belastung der öffentlichen Haushalte steigt. Weiter sind erhebliche Veränderungen an den Devisenmärkten möglich, wenn sich für einige Regionen die Fundamentalfaktoren (geringeres Wachstumspotential, höhere Risiken) ändern. Europa und somit auch Deutschland können als relativ sichere Gebiete diesbezüglich eingeschätzt werden und somit unter Umständen für Finanzanlagen attraktiver werden. Wenn diese Anlagen in Form von Direktinvestitionen erfolgen, könnte dies zu einer Verbesserung des Potentialwachstums beitragen. Andererseits könnte der Euro auch verstärkt als Reservewährung verwendet werden. Dies könnte zu einer Aufwertung des Euro führen, mit möglicherweise dämpfenden Effekten auf die Exporte.

Technologische Entwicklung: Technologieentwicklungen beeinflussen zukünftig die Produktionsbedingungen und –kosten und die Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel. So werden z.B. technologische Entwicklungen in den Bereichen Wasserversorgung und Landwirtschaft ausschlaggebend für die zukünftigen Lebensbedingungen in den trockenen Weltregionen sein. In diesem Sinne wirken sich technologische Entwicklungen indirekt auf die Handelsströme aus. Daneben haben Technologieentwicklungen jedoch auch eine direkte Bedeutung für die Handelsströme. In Regionen, die notwendige Technologien zur Anpassung nicht selbst produzieren, wird eine Nachfrage nach entsprechenden ausländischen Produkten entstehen. Der Technologietransfer wird insbesondere in Entwicklungsländer für die Finanzierung und Durchführung von Anpassungsmaßnahmen von steigender Bedeutung sein.

Sicherheit: Der Klimawandel hat in den Weltregionen unterschiedliche Folgen, verringert in vielen Fällen die Wohlfahrt der Bevölkerung, verändert die Verteilung der günstigen Wirtschaftsbedingungen zum Teil erheblich führt zu verstärkten Verteilungskämpfen und bedroht somit die internationale Stabilität und Sicherheit. WBGU (2007) hat ausgewählte regionale Brennpunkte näher untersucht: Das südliche Afrika und das Gangesdelta erscheinen in einer Mehrkriterienanalyse als besonders gefährdet. In diesen Regionen könnte der Klimawandel die wirtschaftlichen Potenziale weiter schwächen, die Bedingungen für menschliche Sicherheit verschlechtern und die Leistungsfähigkeit der Staaten überfordern. Afrika ist im weltweiten Vergleich schon heute durch Destabilisierung und Gewalt am meisten gefährdet. Dort sind Millionen von Menschen in den regionalen Brennpunkten bereits auf der Flucht vor Bürgerkrieg und Verelendung.

Abbildung 24: Der Klimawandel als Risikofaktor der internationalen Sicherheit



Quelle: WBGU (2007): Klimawandel bedroht weltweit Stabilität und Sicherheit. Als Konfliktursachen wurden untersucht: Degradation von Süßwasserressourcen, abnehmende Ernährungssicherheit, klimainduziertes Überschwemmungsrisiko und Umweltflüchtlinge.

Der Klimawandel könnte schwelende Konflikte weiter verstärken. Amazonien wird als Beispiel angeführt, wo der Kollaps des Regenwalds unabsehbare wirtschaftliche und gesellschaftliche Folgen hätte. Neben den Entwicklungsländern sind aber auch wirtschaftlich aufstrebende Regionen wie etwa die Ostküste Chinas gefährdet: Hier sind dicht besiedelte Großstädte und industrielle Ballungszentren wachsenden Sturm- und Flutrisiken ausgesetzt, mit erheblichen ökonomischen

und sozialen Folgen. Insgesamt können durch diese Risiken die Wachstumsperspektiven bis 2050 in allen G5-Ländern (China, Indien, Brasilien, Südafrika, Mexiko) beeinträchtigt werden (Infras et al. 2007).

Von den genannten Einflusskanälen sind die Auswirkungen auf die Handelsströme, die Finanzmärkte und die internationale Sicherheit wohl am bedeutendsten. Die Auswirkungen der genannten Einflüsse sind aus heutiger Sicht jedoch zumeist nicht quantifizierbar. Am Beispiel der Warenexporte Deutschlands zeigen wir im Folgenden auf, in welcher Größenordnung die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels über die internationalen Handelsströme auf die Wirtschaft und die öffentliche Hand in etwa liegen können.

Auswirkungen des Klimawandels auf die Warenexporte Deutschlands

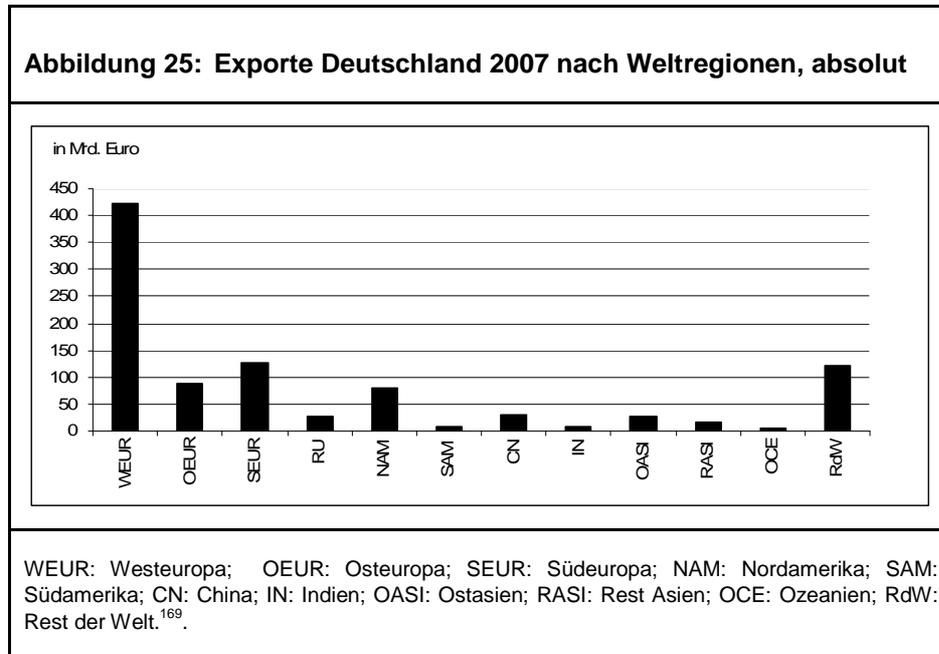
Bedeutung heute

Das BIP betrug in Deutschland 2008 2.490 Mrd. €. Der Wert der Warenexporte betrug im selben Jahr gut 1000 Mrd. €, dies entspricht einer Exportquote von 40% des BIP. Die Importe im gleichen Jahr kosteten knapp 850 Mrd. €. Der Beitrag des Außenhandels (Exporte minus Importe) zum BIP machte rund 158 Mrd. € bzw. 6,6% aus. Deutschland ist somit (seit 1998 wieder) ein Nettoexporteur und die Exporte spielen eine bedeutende Rolle für die Prosperität der Wirtschaft. Weltweit hat Deutschland den höchsten Anteil an Warenexporten am BIP aufzuweisen und wird deshalb auch als Exportweltmeister bezeichnet.¹⁶⁸ Deutschland weist klassisch bei den Waren einen Außenhandelsüberschuss und bei den Dienstleistungen ein Außenhandelsdefizit auf.

¹⁶⁸ Z.B. <http://www.factcheck-deutschland.de>.

Um die klimawandelbedingte Betroffenheit des deutschen Außenhandels zu prognostizieren, bedarf es eines zweistufigen Vorgehens. Zum einen müssen die für die nächsten Jahrzehnte wichtigsten Handelspartner identifiziert werden zum anderen muss der Einfluss des Klimawandels auf die betreffenden Wirtschaften abgeschätzt werden.

Die folgende Abbildung zeigt auf, welche Weltregionen die Warenexporte Deutschlands gekauft haben. Weitaus die wichtigsten Abnehmer sind die Länder Europas, deutlich dahinter liegen Nordamerika, China und Ostasien und der Rest der Welt.



Bedeutung morgen

Im Folgenden wird untersucht, wie die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels in den Weltregionen die Nachfrage nach Exporten aus Deutschland dämpfen können und in welcher Größenordnung dies das BIP mindern und dann auch die

öffentliche Hand belasten kann. Es geht explizit nicht darum, eine Prognose der genauen Folgen zu erarbeiten, sondern darum aufzuzeigen, welcher Anteil des BIP in Deutschland durch den Klimawandel gefährdet wird. Die Analyse wird für das Jahr 2050 durchgeführt, da für diesen Zeitpunkt in der Literatur noch Projektionen zur wirtschaftlichen Entwicklung der Weltregionen vorliegen.¹⁷⁰ Im Jahr 2100 können die Strukturen der Volkswirtschaften weltweit ganz andere Merkmale aufweisen als heute, die Weltordnung stark verändert sein. Deshalb werden wir für 2100 nur eine grobe Fortschreibung der für 2050 erarbeiteten Ergebnisse im Sinne einer Orientierungsgröße der Bedeutung dieses Einflusskanals für Deutschland vornehmen.

Grundlage

Deutschland importiert Güter (Waren und Dienstleistungen) aus den unterschiedlichsten Regionen der Welt, die hier als Vorleistungen zur Herstellung inländischer Güter dienen oder die direkt für die Endnachfrage (z.B. in privaten Haushalten oder für Investitionen) bestimmt

¹⁶⁹ Genaue Länderzuteilung zu den Weltregionen: Westeuropa (Norwegen, Schweden, Finnland, Dänemark, Grossbritannien, Irland, Niederlande, Belgien, Luxemburg, Frankreich, Deutschland, Österreich, Schweiz), Südeuropa (Portugal, Spanien, Italien, Griechenland), Osteuropa (Polen, Tschechien, Slowakei, Ungarn), Russland (Russland), Nordamerika (USA, Kanada), Südamerika (Brasilien, Argentinien), China (China), Indien (Indien), Ostasien (Japan, Südkorea, Taiwan), Rest Asien (Indonesien, Türkei), Ozeanien (Australien, Neuseeland), Rest der Welt (Rest der Ländern; inkl. Länder, für die keine eigene IO-Tabelle verfügbar war und die deshalb aggregiert behandelt werden).

¹⁷⁰ EIA (2008); Kemfert (2007) entsprechend der Verwendung in Infrass et al. (2007).

sind. Andererseits liefert Deutschland Güter ins Ausland, die dort wiederum als Vorleistungen für die Produktion oder direkt in die Endnachfrage (Konsum, Investitionen) fließen. Um die Liefer- und Bezugsverflechtungen Deutschlands mit anderen Ländern einschätzen zu können, ist es notwendig, nicht nur die direkten Güterströme zu betrachten, sondern auch indirekte Verflechtungen, die über Drittländer verlaufen. Für die Abschätzung der Verwundbarkeit der Volkswirtschaft Deutschlands gegenüber einer Veränderung der Warenströme unter Einfluss des Klimawandels wurden die Ergebnisse einer Modellanalyse für die Schweizer Exporte auf Deutschland angewendet (Infras et al. 2007). In der Studie für die Schweiz wurde mit einem Mehr-Länder-Input-Output-Modell (Multireg) gearbeitet. Dieses Modell bildet die weltweite wirtschaftliche Verflechtung der Weltregionen mit der übrigen Welt über die Warenimporte und -exporte ab. Dabei werden nicht nur die direkten Güterströme erfasst, sondern auch die oben angesprochenen indirekten Verflechtungen, die über Drittländer verlaufen. Das heißt, wenn ein Land A weniger Exporte in eine Weltregion verkaufen kann, dann berücksichtigt das Modell, dass das Land A auch weniger Importe von anderen Ländern benötigt, die für die Herstellung des Exportgutes des Landes A benötigt werden. Für die Studie wurde das Modell auf zwölf Weltregionen mit je 18 Wirtschaftssektoren aggregiert. Exportseitig ermöglicht es die Analyse von Veränderungen der Endnachfrage in den einzelnen Weltregionen auf die Exporte eines Landes und letztlich auf die Bruttowertschöpfung der betreffenden Volkswirtschaft.

Vorgehen

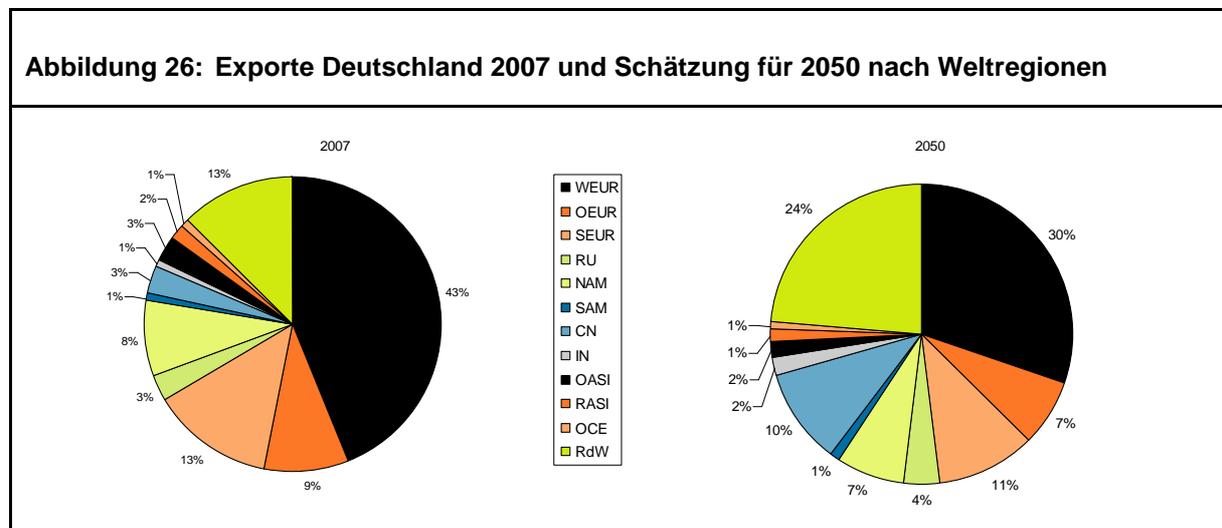
Diese Analyse für Deutschland zum internationalen Einflusskanals des Klimawandels über die Warenexporte lehnt sich in Methodik und Vorgehen an die Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels über die internationalen Einflusskanäle an (Infras et al. 2007).

Die Analyse der Auswirkungen des Klimawandels über die Güterexporte auf die deutsche Wirtschaft geht von der Struktur der Warenexporte 2007, wie oben dargestellt, aus. Die Exportstruktur wird einerseits durch die Veränderung der Kaufkraft in den Weltregionen beeinflusst. Der Klimawandel verringert das Wirtschaftswachstum in den Weltregionen, so dass dementsprechend die Endnachfrage geringer ausfällt als im Basisszenario ohne Klimawandel (Mengeneffekt). Zudem führt der Klimawandel zu einer veränderten Nachfragestruktur, insbesondere bei den Investitionen (Struktureffekt). Durch Klimaschäden bedingte Anpassungsmaßnahmen ziehen notwendige Investitionen nach sich, v.a. zusätzliche bauliche Maßnahmen, die Investitionen in anderen Bereichen verdrängen.

Um abzubilden, wie sich die Exporte Deutschlands mengenmäßig und in ihrer Verteilung auf die Weltregionen im Jahr 2050 ohne Klimawandel darstellen würden, braucht es Annahmen zur Entwicklung der Weltregionen bis 2050. Für die zwölf Weltregionen haben wir die Erarbeitung einer Wirtschaftsstruktur 2050 auf den International Energy Outlook der Energy Information Administration (EIA 2008) gestützt, welche folgende Wachstumsfaktoren für das BIP der Weltregionen bis 2050 ergeben.

Mit den je Weltregion unterstellten Wachstumsraten wird sich das BIP in den anderen Weltregionen deutlich dynamischer entwickeln als in Europa und Nordamerika. Vor allem in China und in Indien, aber auch in Russland und dem Rest der Welt wird ein deutlich stärkeres Wachstum erwartet. Unter der Prämisse, dass stärker wachsende Weltregionen mit entsprechend zunehmender Kaufkraft auch mehr Exportgüter aus Deutschland nachfragen, führt das unterstellte Wachstum der Weltregionen zu einer Veränderung der

Struktur der Exporte im Jahr 2050. Der Anteil der Exporte Deutschlands in andere europäische Länder verringert sich deutlich von 65% auf unter 50%, während stark wachsenden Regionen wie Russland, China, Indien und der Rest der Welt prozentual deutlich mehr Güter aus Deutschland nachfragen als 2007.



Es ist wichtig, diese erwarteten Änderungen der relativen Bedeutung der Zielregionen deutscher Exporte in die Analyse einzubeziehen, weil die stark wachsenden Regionen überproportional stark vom Klimawandel betroffen sind und die Risikoexposition der deutschen Exporte 2050 entsprechend höher sein wird als heute. Trotz der hohen Wachstumsraten bleiben die wirtschaftlich aufstrebenden Weltregionen gemäß Referenzentwicklung real und erst recht in einer Pro-Kopf-Betrachtung noch deutlich hinter Nordamerika oder Europa zurück.

Nach diesem Schritt gilt es nun festzulegen, wie sich der Klimawandel auf die Wirtschaftssysteme der Weltregionen auswirkt und wie sich dadurch die Einkommen in den Weltregionen ändern. Für diese Annahmen stützen wir uns auf die Ergebnisse des Weltmodells WIAGEM ab, mit dem diese Frage untersucht wurde (Kemfert 2002). Da gemäß heutigem Wissensstand wichtige Wirkungszusammenhänge (etwa die Wechselwirkung zwischen Veränderungen in Ökosystemen mit der Sozioökonomie des ländlichen Raumes) ökonomisch noch nicht hinreichend beschrieben werden können und die Schadenswirkungen nach neuen Erkenntnissen bisher tendenziell unterschätzt werden, bezeichnen wir die von Kemfert (2002) ermittelten Wohlfahrtsverluste als **Variante ‚Mittel‘**.

Als **Variante ‚Hoch‘** definieren wir eine Entwicklung, die sich hinsichtlich der regionalen Unterschiede ebenfalls auf Kemfert (2002) bezieht, in der Gesamtwirkung auf das BIP weltweit jedoch Aussagen zu Sensitivitäten der Klimaentwicklung, der Berechnungen von Klimaschäden sowie die Schäden an nicht-marktgängigen Gütern berücksichtigt. In Anlehnung an Stern (2006)¹⁷¹ wird angenommen, dass die wirtschaftlichen Auswirkungen weltweit in einem Sensitivitätsszenario ‚Hoch‘ knapp dreimal höher ausfallen als bei Kemfert/WIAGEM und zu wirtschaftlichen Einbußen von bis zu 5% des globalen BIPs bis 2050 führen können:

¹⁷¹ Bei Stern (2006) wird deutlich, dass die Differenz zwischen dem Szenario baseline climate ohne non-market impacts und dem Szenario high climate mit non-market impacts knapp dem Faktor 3 entspricht. Auch die Sensitivität innerhalb der Szenarien, genauer dem Verhältnis des mean-Schätzers und dem 95%-Perzentil, entspricht knapp einem Faktor 3 (vgl. Abbildung 30).

Tabelle 33: Wertschöpfungsänderung je Weltregion wegen Klimawandel 2050

| Weltregion | Veränderung Wertschöpfung gegenüber Referenzszenario | |
|---------------------|--|-----------------|
| | Variante ‚Mittel‘ | Variante ‚Hoch‘ |
| Westeuropa (WEUR) | -0,7% | -1,9% |
| Südeuropa (SUER) | -0,7% | -1,9% |
| Osteuropa (OEUR) | -1,3% | -3,6% |
| Russland (RU) | -1,3% | -3,6% |
| Nordamerika (NAM) | -0,7% | -2,0% |
| Lateinamerika (SAM) | -2,2% | -6,1% |
| China (CN) | -3,5% | -9,7% |
| Indien (IN) | -5,9% | -16,4% |
| Ostasien (OASI) | -0,7% | -1,9% |
| Rest Asien (RASI) | -2,3% | -6,4% |
| Ozeanien (OCE) | -0,8% | -2,2% |
| Rest der Welt (RDW) | -1,8% | -2,2% |
| Total | -1,8% | -5% |

Quellen: Infras et al. 2007, basierend auf Kemfert 2002 und Stern 2006

Zusätzlich ist in der Analyse ein Struktureffekt berücksichtigt, der erwartete Klimaanpassungsmaßnahmen sowohl bei der Endnachfrage nach Waren und Investitionen sowie die veränderten Produktionsverhältnisse spezifischer Sektoren in den Weltregionen aufnimmt (Infras et al. 2007):

Relevante Sektoren für Anpassungs- bzw. Reparaturmaßnahmen: Investitionen in Anpassungs- und Reparaturmaßnahmen dürften sich in höheren Investitionen in den Sektoren Bau, Metallverarbeitung (relevant für Stahlbauten), Maschinenbau, Ressourcen und Energieversorgung niederschlagen. Für die Analyse ist unterstellt, dass in allen Regionen die Investitionsnachfrage in den genannten Sektoren um 5% im Vergleich zum Basisszenario ansteigt. Da einige Länder besonders stark von Extremereignissen wie Hurrikanen, Tornados, Taifunen oder dem El Niño- Effekt betroffen sind, erhalten die jeweiligen Sektoren einen zusätzlichen Zuschlag von 1%-Punkt, so dass sich die Investitionsnachfrage insgesamt um 6% erhöht (relevant für Nord- und Südamerika, Ostasien und Restasien).¹⁷²

Chemie- und Pharmaindustrie: Durch die Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit (stärkere Ausbreitung von Krankheiten, Seuchengefahren etc.) gehen wird davon aus, dass der Anteil der Chemieexporte an den Gesamtexporten Deutschlands um 5% steigt. Die Annahmen basieren auf Modellrechnungen von Kemfert (2002) und Erkenntnissen aus Infras et al.(2007).¹⁷³ Entsprechend wird die verfügbare Kaufkraft für andere Güter vermindert, was bei diesen zu einem Minderkonsum führt.

Luxusgüter: Durch höhere Ausgaben im Bereich Anpassung, Gesundheit und zur Sicherung der allgemeinen Lebensgrundlage steht den Konsumenten eine geringere Kaufkraft zur Verfügung. Wir unterstellen, dass dies in allen Regionen zu einem etwas überproportionalen Rückgang beim Konsum von Luxusgütern führt (Uhren, Schmuck, teure Bekleidung und Schuhe, etc.). Entsprechend sinkt der Anteil der relevanten Sektoren an den Gesamtexporten Deutschlands um 5%.

¹⁷² Weitere Informationen zu diesen Annahmen sind in Infras et al(2007) zu finden.

¹⁷³ Vgl. Wirkungsmatrizen nach Regionen in Infras et al.(2007).

Andere Sektoren: Um das Gesamtvolumen der Exporte konstant zu halten, wird die Nachfrage in den anderen Sektoren anteilig reduziert.

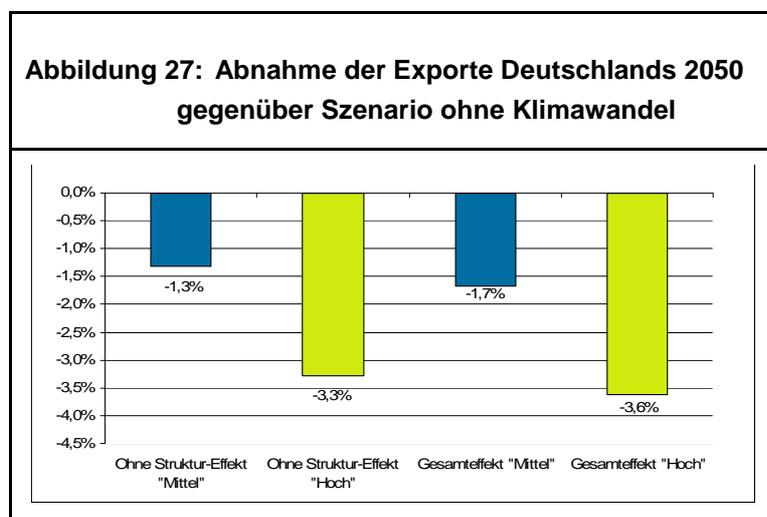
Für die Grobschätzung 2100 wurden Wachstumsraten für die einzelnen Weltregionen zwischen 2050 und 2100 unterstellt (Kemfert 2002, abgeschwächtes Wachstum). Die Wirtschaftsstrukturen wurden ab dem Jahr 2050 aus Transparenzgründen überall konstant gehalten, da es für diesen langen Zeithorizont keine belastbaren Prognosen gibt. Hierfür wurde unterstellt, dass 2100 die Wachstumseinbußen durch den Klimawandel weltweit dreimal höher sind als die Schäden für 2050 nach Kemfert 2002. Begründet ist dies in der Annahme, dass sich die Schäden nicht linear sondern deutlich überproportional zur Temperaturwirkung entwickeln (Stern 2006, IPCC 2007b).

In der quantitativen Analyse werden der Einkommens- und Struktureffekt als wichtigste Einflussfaktoren betrachtet. Zusätzlich könnte ein technologischer Effekt berücksichtigt werden, der insbesondere aufzeigt, welche Sektoren von einem Technologietransfer profitieren werden. Welche Möglichkeiten der technologische Wandel in der Zukunft in welchen Branchen mit sich bringt wird und wie diese in den unterschiedlichen Weltregionen genutzt werden ist jedoch bisher mit großen Unsicherheiten verbunden und wird sicher auch durch die zukünftige Klimapolitik beeinflusst. Daher haben wir diesen Effekt in der quantitativen Analyse nicht berücksichtigt.

Wenn aus einer Weltregion die Nachfrage nach Exporten aus Deutschland abnimmt, dann wird bei der Berechnung der daraus resultierenden Veränderung des deutschen BIP berücksichtigt, dass dann auch entsprechend weniger Inputgüter für die Produktion von Exportgütern nach Deutschland importiert werden müssen. Entsprechend zeigt die ausgewiesene Gesamtänderung des deutschen BIP die erwartete Veränderung des exportinduzierten Bruttoinlandprodukts.

Ergebnisse

Wenn die Welt 2050 in der Simulation den Wirkungen des Klimawandels ausgesetzt wird, ergeben sich folgende Auswirkungen auf die Exporte Deutschlands:



Wie Abbildung 27 zeigt, nehmen die Exporte bis zum Jahre 2050 zwischen 1,3% (mittel) bis 3,6% (hoch) ab. Dabei zeigt sich, dass die Abnahme des BIP je Weltregion die Hauptursache für die Abnahme der Nachfrage nach Exporten ist. Die dargelegten Annahmen zu Veränderungen in der Struktur der aus Deutschland nachgefragten Güter wirken sich dagegen nur schwach aus.

Abbildung 28: Abnahme der Nachfrage nach Exporten aus Deutschland je Weltregion 2050 gegenüber Szenario ohne Klimawandel

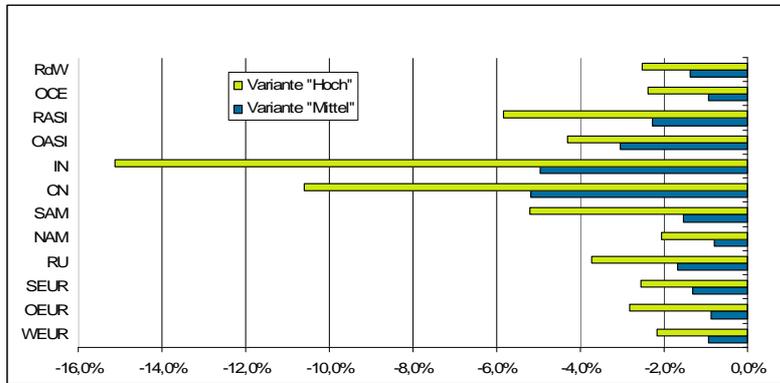
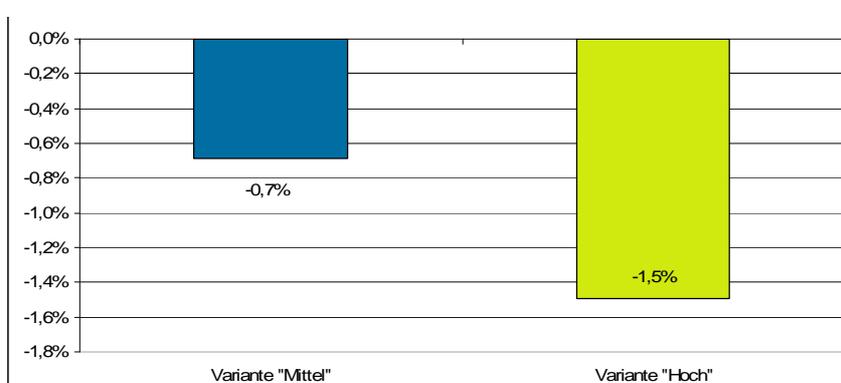


Abbildung 28 zeigt, dass in eher stärker vom Klimawandel betroffenen Weltregionen der größere Teil der Nachfrageabnahme nach Exporten aus Deutschland zu erwarten ist. Dies liegt darin begründet, dass einige besonders vom Klimawandel betroffene Weltregionen bis 2050 deutlich an Bedeutung in der Weltwirtschaft und als Nachfrager nach Exporten gewinnen werden.

Der errechnete Rückgang der Nachfrage nach Exporten aus Deutschland im Jahr 2050 ist mit einer geminderten Wertschöpfung im Inland verbunden, die zwischen 0,7% und 1,5% des BIP ausmacht. In der Analyse ist berücksichtigt, dass mit einer Veränderung der Nachfrage nach Exporten aus Deutschland auch eine Veränderung der Nachfrage nach Importen verbunden ist, welche zur Produktion dieser Exporte benötigt werden. Das bedeutet, wenn die Exporte Deutschlands sinken, nehmen die Importe nach Deutschland ebenfalls etwas ab. Ausgewiesen als BIP-Effekt ist die Nettowirkung, also die exportinduzierte Wertschöpfung. Diese Wertschöpfung aus den Exporten ist durch den weltweiten Klimawandel besonders gefährdet. Die Aussage dieser Analyse bedeutet nicht, dass dieser exponierte Teil des BIP im Jahr 2050 in jedem Fall wegfallen würde. Die effektive Wirkung hängt vom Verhalten der Exporteure und der Gesamtwirtschaft ab sowie der Fähigkeit, andere Märkte mit neuen Produkten und neuen Technologien zu erschließen.

Der errechnete Rückgang

Abbildung 29: Gefährdetes BIP über Exposition der Exporte 2050 gegenüber Szenario ohne Klimawandel



Würde man gedanklich den bis 2050 erwarteten Klimawandel auf die Wirtschafts- und Exportstruktur von 2007 treffen lassen, so wären die zu erwartenden Auswirkungen über die Warenexporte Deutschlands weniger stark als für 2050 ausgewiesen. Grund hierfür ist, dass die Exposition Deutschlands in Zukunft gegenüber Weltregionen

zunimmt, die vulnerabler gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels sind. Bis 2050 entwickeln sich v.a. China, Indien und der Rest Asiens wirtschaftlich sehr stark. Die sich

stark entwickelnden Weltregionen werden vom Klimawandel stärker betroffen sein, beherbergen die Mehrheit der Weltbevölkerung, machen aber heute noch eine vergleichsweise geringe Nachfrage nach Exporten aus. Bis 2050 wird ihr Anteil an den Exporten Deutschlands aber deutlich höher ausfallen. Deshalb wird die Wirkung des Klimawandels über diesen Einflusskanal künftig zunehmen. Allerdings sind auch einige positive Effekte denkbar. So dürften Umwelt- und Klimaschutzgütern, bei denen Deutschland eine starke Marktposition hat, weltweit stärker gefragt werden (DIW 2008).

Basierend auf diesen Resultaten für 2050 wurde grob abgeschätzt in welcher Größenordnung die Exposition der Warenexporte Deutschlands durch den Klimawandel im Jahr 2100 in etwa liegen könnte. Bei einer linearen Fortschreibung der beschriebenen Mengen- und Struktureffekte sowie einer Zunahme der negativen Folgen des Klimawandels bis 2100 um den Faktor $2,5^{174}$ führt der Klimawandel in den Weltregionen zu einem weiteren Rückgang der deutschen Exporte. In 2100 wären 2,5% bis 5,5% des deutschen BIP somit gefährdet. Diese Abschätzung stellt keine Prognose für die Weltwirtschaft und die Klimafolgen bis 2100 dar, sondern dient als grobe Richtgröße für die Bedeutung dieses Einflußkanals, die in der Monte-Carlo-Simulation in der Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Gesamtwirkungen für die öffentliche Hand in Deutschland einbezogen wird.

Auswirkungen auf die öffentliche Hand

Bei der Analyse der Einflüsse des Klimawandels auf die Volkswirtschaft Deutschlands müssen die internationalen Einflusskanäle unbedingt einbezogen werden, da sie von starker Bedeutung sind. Die Wirkungen auf die Devisen- und Kapitalmärkte, die Migrationsfolgen und die Auswirkungen auf die internationale Stabilität sind nicht quantitativ fassbar, aber deswegen nicht minder relevant für die Volkswirtschaft und die öffentliche Hand. Die Analyse zu den Warenexporten Deutschlands hat gezeigt, dass über diesen Einflusskanal dämpfende Wirkungen auf die deutsche Wirtschaft zu erwarten sind. Die Analyse verdeutlicht, dass Länder, die in Zukunft für die deutschen Exporte wichtiger werden, im Durchschnitt stärker vom Klimawandel betroffen sind. Zudem dürften Importe aus vom Klimawandel betroffenen Regionen zum Teil erheblich teurer werden, was die Produktionsbedingungen für die deutsche Wirtschaft verschlechtert. Die Wirkungen über die Importe sind nicht in die quantitative Analyse einbezogen worden. Die Folgen des weltweiten Klimawandels auf Import- und Exportströme bis 2050 haben insgesamt eine dämpfende Wirkung auf die Steuereinnahmen und erhöhende Wirkung auf der Ausgabenseite der öffentlichen Hand zur Folge. Die dargestellten Berechnungen fokussieren auf relative Änderungen und stellen keine Prognosen über die absolute Höhe der Exporte dar. Die Quantifizierung zeigt nicht, welche Menge an Exporten und schlussendlich an Wertschöpfung in Deutschland klimabedingt *wegfallen*. Sie zeigt, welcher Anteil der Exporte bzw. des BIP dadurch *gefährdet* ist, dass der Klimawandel die weltweite Kaufkraft und damit auch Exportnachfrage mindert und daraus abgeleitet das mögliche Ausmaß der damit drohenden Zusatzbelastung der öffentlichen Hand durch Steuermindereinnahmen.

¹⁷⁴ Diese Annahme bildet die erwartete exponentielle Entwicklung der Schäden zwischen 2050 und 2100 in moderatem Umfang ab (siehe Verläufe der ökonomischen Schäden z.B. bei Stern 2006).

4 Gesamtbetrachtung

4.1 Übersicht zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Hand

Die Fallstudien machen deutlich, dass der Klimawandel über eine Vielzahl von Kanälen Auswirkungen auf die Ausgaben und Einnahmen der öffentlichen Hand hat. In den meisten Fallstudien konnte zumindest ein Teil der Auswirkungen quantifiziert werden. Daneben gibt es aber i. d. R. noch weitere nicht (oder schwer) quantifizierbare Aspekte. Bei rein quantitativer Betrachtung besteht entsprechend die Gefahr, dass alle nicht quantifizierbaren Effekte in den Berechnungen unberücksichtigt bleiben und sich so ein verfälschtes Bild ergeben könnte. Die folgenden beiden Tabellen geben daher eine Übersicht über die prognostizierten Kosten bzw. Nutzen des Klimawandels – die quantitativen Auswirkungen – sowie über die zusätzlichen qualitativen Effekte, d.h. Effekte, die nur in ihrer Wirkungsweise bekannt sind, nicht aber in ihrem Ausmaß. Die Pfeile bei den qualitativen Wirkungen beschreiben, inwieweit die abgeschätzten Schäden durch die zusätzlichen Wirkungen verstärkt oder abgeschwächt werden. Eine Interpretation der Pfeile im Einzelnen findet im Anschluss statt.

**Tabelle 34: Übersicht Auswirkungen Klimawandel auf öffentliche Hand –
Direkte Wirkungen auf der Ausgabenseite**

| Fallstudie | Erhöhte Ausgaben für die öffentliche Hand | | Zus. Effekte auf Grund qualitativer Überlegung |
|---------------------------|---|------------------------------------|---|
| | 2050 | 2100 | |
| Meeresspiegelanstieg | Küstenschutz: 25 Mio. €/a | Küstenschutz: 100 Mio. €/a |  |
| Gesundheit | 250 Mio. €/a | 490 Mio. €/a |  |
| Tourismus | keine direkten Wirkungen | | |
| Energie | keine direkten Wirkungen | | |
| Wasserwirtschaft | 0,1 Mrd. €/a | 0,1 Mrd. €/a |  |
| Verkehr | 0,45 Mrd. €/a | 1,1 Mrd. € |  |
| Gebäude und Bauwirtschaft | Hochwasser und Sturm: 0,9 Mrd. €/a | Hochwasser und Sturm: 2,0 Mrd. €/a |  |
| Versicherung | Nicht quantifizierbar | Nicht quantifizierbar |  |
| Internationale Kanäle | Nicht quantifizierbar | Nicht quantifizierbar |  |

Beschreibung der qualitativen Aspekte:

- Beim **Meeresspiegelanstieg** werden die quantitativen Wirkungen sowohl auf der Ausgaben- als auch auf der Einnahmenseite durch weitere qualitative Aspekte verstärkt. So sind weitere Anpassungsmaßnahmen (Raumplanerische Maßnahmen, Verlagerung Infrastruktur, Drainage) noch nicht bei den Ausgaben berücksichtigt worden, da noch keine Schätzungen vorliegen. Zudem wird der Meeresspiegelanstieg weitere BIP-Effekte

haben, z.B. entstehen Produktivitätsverluste, wenn Einwohner umgesiedelt werden müssen. Insgesamt stellen die dargestellten Zahlen somit eine untere Grenze dar.

Tabelle 35: Übersicht Auswirkungen Klimawandel auf öffentliche Hand – Indirekte Wirkungen auf der Einnahmenseite über BIP-Veränderungen

| Fallstudie | Auswirkungen auf BIP (Schätzwert bei +2°C) | | Zus. Effekte auf Grund qualitativer Überlegung |
|------------------------------|---|--|---|
| | 2050 | 2100 | |
| Meeres- spiegelanstieg | Sturmfluten: - 0,6 Mrd. €/a | Sturmfluten: -1,7 Mrd. €/a |  |
| Gesundheit | Rückgang Arbeitsleistung: - 0,07% des BIP | Rückgang Arbeitsleistung: - 0,3% des BIP |  |
| Tourismus | Nachfrageanstieg + 4,1 Mrd. €/a | Nachfrageanstieg + 19,9 Mrd. €/a |  |
| Land- und Forstwirtschaft | Nicht quantifizierbar | |  |
| Energie | Produktionsverluste: -5 Mrd. €/a | Produktionsverluste: -5 Mrd. €/a |  |
| Wasser- wirtschaft | Überschwemmungen Grundwasserversalzung -0,3 Mrd. €/Jahr | Überschwemmungen Grundwasserversalzung -0,3 Mrd. €/a |  |
| Verkehr | Verspätungen durch Hitze:16 Mio. €/a | Verspätungen durch Hitze: -44 Mio. €/a |  |
| Gebäude und Bauwirtschaft | Hochwasser und Sturm: -0,3 Mrd. €/a | Hochwasser und Sturm: -0,6 Mrd. €/a |  |
| Internationale Kanäle | Exportrückgänge: -0,7% des BIP | Exportrückgänge: -4,5% des BIP |  |

- Die positiven Wirkungen im **Tourismus**, die hier quantifiziert wurden, berücksichtigen ausschließlich die zu erwartenden Zugewinne beim Strand- und Badetourismus. Daneben müsste auch den Verlusten beim Wintertourismus in Mittelgebirgen und Alpen Rechnung getragen werden, zu denen aber bisher keine Daten vorliegen. Auch wenn der Skitourismus einbezogen wird, ist jedoch insgesamt mit einer positiven Entwicklung im Tourismus zu rechnen.
- Zu den ökonomischen Auswirkungen der **Land –und Forstwirtschaft** ist bisher keine Quantifizierung möglich, da regionale Effekte zu unterschiedlich für eine Aggregation sind. Ferner besteht große Unsicherheit in Bezug auf die Entwicklung der zukünftigen Weltmarktpreise für Agrarprodukte, was ebenfalls keine belastbaren Prognosen zur Betroffenheit der deutschen **Landwirtschaft** ermöglicht. Insgesamt ist aber mit steigenden Preisen und damit positiven Einkommenseffekten für die Landwirtschaft zu rechnen. In der **Forstwirtschaft** gibt es dagegen noch keinen Konsens über die Richtung des Gesamteffektes.
- Die quantitative Schätzung der Auswirkungen in der **Wasserwirtschaft** basiert auf derzeit prognostizierten Investitionsvolumina in der Abwasserentsorgung unter der Annahme, dass ein gewisser Anteil für die Anpassung an vermehrte Starkregenereignisse aufgewendet werden muss. Eine Trinkwasserversorgung in ausreichender

Menge erscheint durch den Klimawandel kaum gefährdet. Nicht quantifiziert wurden allerdings mögliche Mehraufwendungen, um unter schwierigeren Bedingungen eine gleichbleibende Wasserqualität aufrecht zu erhalten, daher sind zusätzliche Aufwendungen wahrscheinlich.

- In der **Energiewirtschaft** dominieren die hier quantifizierten indirekten Wirkungen auf die öffentliche Hand, d.h. Belastungen durch Steuerausfälle. Es ist jedoch auch denkbar, dass der Staat vereinzelt Investitionen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, zumindest mitfinanziert, um häufige Versorgungsunterbrechungen zu verhindern. Diese treten insbesondere bei Hitzewellen auf, wenn gleichzeitig die Kapazität sinkt und andererseits der Verbrauch steigt. Hier können jedoch Ansätze zur Umgestaltung der Stromnetze, z.B. intelligente Stromnetze (smart grids) Abhilfe schaffen.
- Unberücksichtigt bei den Schätzungen im **Verkehrssektor** auf der Ausgabenseite blieb, dass extreme Wetterbedingungen zu einem erhöhten Unfallrisiko führen können mit damit verbundenen höheren Ausgaben im Gesundheitssystem. Zudem sind Verlagerungen von Verkehrsinfrastrukturen aus gefährdeten Gebieten nicht berücksichtigt. Auf der Einnahmenseite sind v.a. weitere Behinderungen im Güter- und Personenverkehr zu erwarten, mit negativen Auswirkungen auf Produktivität und BIP.
- Auf der Ausgabenseite im Bereich **Gebäude** erscheint es möglich, dass zusätzliche staatliche Hilfszahlungen notwendig werden. Einige Extremereignisse wurden bei der Quantifizierung nicht berücksichtigt. Zudem hängt die Höhe der staatlichen Hilfszahlungen stark von der zukünftigen Versicherungsdichte ab. Auf der Einnahmenseite können Behinderungen bei der Nutzung von Gebäuden (z.B. bei Behinderung der wirtschaftlichen Tätigkeit bei starken Stürmen) zu weiteren Steuereinbußen führen.
- Der Einfluss auf die öffentliche Hand über die Belastungen im **Versicherungssektor** kann nicht quantifiziert werden. Die Wirkungen sind stark davon abhängig, ob der Klimawandel die Versicherer an die Grenzen ihrer wirtschaftlichen Belastbarkeit bringt, in wie stark neue Finanzmarktinstrumente genutzt werden können und welche staatlichen Vorgaben im Bereich Versicherungen zukünftig gemacht werden. Insgesamt verfügt dieser Einflussbereich über erhebliches Potential zur Erhöhung der staatlichen Ausgaben.
- Bei den **internationalen Kanälen** sind nur die fiskalischen Wirkungen, die sich über die Handelsströme ergeben, quantifiziert worden. Weitere Einflusskanäle, wie die Zunahme von Migration, Wirkungen über den Devisen- und Kapitalmarkt sowie eine mögliche Verschlechterung der internationalen Sicherheitslage wurden nicht berücksichtigt. Insgesamt können diese Effekte sowohl auf der Einnahmen- als auch auf der Ausgabenseite zu erheblichen zusätzlichen Auswirkungen führen.

4.2 Ermittlung der Gesamtbetroffenheit der öffentlichen Finanzen durch den Klimawandel mittels Monte-Carlo-Simulation

Wie die vorangegangenen Fallstudien gezeigt haben, ist die Schätzung, welche Folgen der Klimawandel 2050 und 2100 auf die öffentlichen Finanzen hat, mit großen Unsicherheiten behaftet, da viele ergebnisrelevante Parameter eine Zukunftsbetrachtung verlangen und nur ungenau ermittelt werden können. Unsicherheit besteht auf drei Ebenen: (1.) Unsicherheit bezüglich des Temperaturanstiegs bis 2050 und 2100 sowie hinsichtlich des Meeresspiegelanstiegs. (2.) Unsicherheit besteht ferner darüber, welche Schäden und damit einhergehend, welche Kosten durch diese Veränderungen verursacht werden. (3.) Unsicher ist zudem, wie sensibel die in dieser Studie identifizierten Folgen bei einer veränderten CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und somit einer anderen Temperaturentwicklung und einem anderen Meeresspiegelanstieg als in unseren Annahmen reagieren. Zu jeder der relevanten Ebenen kann eine Bandbreite der möglichen Wirkungen abgeschätzt werden und es liegen Hinweise zur Charakteristik der Wahrscheinlichkeitsverteilung innerhalb dieser Bandbreite vor.

Die Monte-Carlo-Simulation ist ein geeignetes Verfahren, um die Unsicherheiten von komplexen Berechnungen, die sich nicht oder nur schwer analytisch lösen lassen, zu berücksichtigen. Das Prinzip ist das Folgende: Für jeden mit Unsicherheit behafteten Parameter einer Berechnung wird ein Unsicherheitsbereich und eine Wahrscheinlichkeitsverteilung innerhalb dieses Bereichs bestimmt. Die Simulation generiert dann für jeden Parameter Zufallszahlen innerhalb dieses Bereichs entsprechend der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilung. Kombiniert man die dadurch resultierenden Zahlen gemäß dem für die Fragestellung verwendeten Algorithmus, kann für die gesamte Berechnung eine Unsicherheit bestimmt werden. Das Verfahren wird so lange wiederholt, bis ein stabiler Ergebniszustand erzielt wird.

Umgesetzt auf unsere Fragestellung bedeutet dies: Wir haben verschiedene Schadensbereiche in den Fallstudien betrachtet, wie sich die Folgen des Klimawandels auf die Finanzen der öffentlichen Hand auswirken können. Jede dieser Schätzungen ist mit Unsicherheiten verbunden, welche offen gelegt wurden. Für das Monte-Carlo-Verfahren wird nun zunächst exogen festgelegt, in welcher Bandbreite die Temperaturerhöhungen durch den Klimawandel liegen könnten. Danach simuliert das Monte-Carlo-Verfahren, wie die Wahrscheinlichkeitsverteilung der erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen für die einzelnen Wirkungskanäle und in der Summe über alle betrachteten Schadensbereiche und innerhalb der definierten Temperaturbandbreite aussehen. Dank der Simulation können so die einzelnen Unsicherheiten zu einer Gesamtwahrscheinlichkeit verdichtet werden, welche Wirkungen der Klimawandel insgesamt für die öffentlichen Finanzen in Deutschland haben könnte.

Vorgehen bei der Monte-Carlo Simulation

Für die vorliegende Studie wurde die Monte-Carlo-Simulation wie folgt ausgestaltet: In einem ersten Schritt wurden zu den Angaben zur Temperaturerhöhung bis zum Jahr 2050 bzw. 2100 jeweils eine Bandbreite und eine Wahrscheinlichkeitsverteilung bestimmt (vgl. Tabelle 36). Die Wahl dieser Parameter basiert auf den aktuellen wissenschaftlichen Grundlagen.

Tabelle 36: Unsicherheit und Wahrscheinlichkeitsverteilung der Temperaturerhöhung

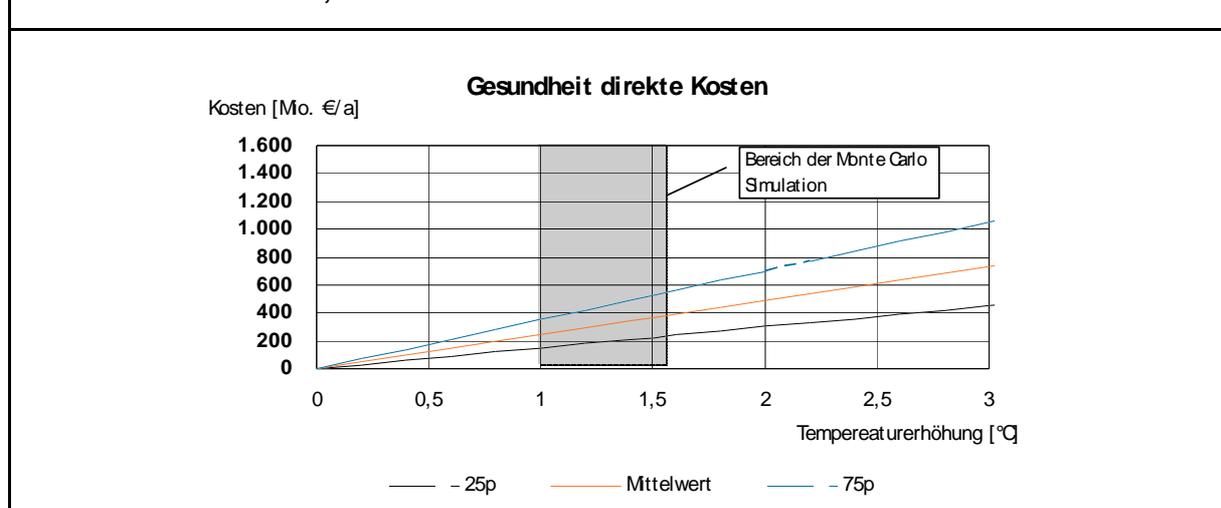
| Jahr | Minimum | Maximum | Verteilung |
|------|---------|---------|------------|
| 2050 | 1°C | 1,6°C | Dreieck |
| 2100 | 1,5°C | 3,5°C | Dreieck |

Die Dreieckverteilung ermöglicht es, „fixe“ Endpunkte für die Wahrscheinlichkeitsverteilung zu wählen. Modelliert werden also nur die Kosten, die aufgrund einer Temperaturerhöhung von min. 1°C und max. 1,6°C bis zum Jahr 2050 an fallen (1,5°C bis 3,5°C bis im Jahr 2100). Es werden nur diese beiden Temperaturbereiche berücksichtigt. Temperaturerhöhungen über bzw. unter diesen Werten fließen nicht in die Monte-Carlo-Simulation ein.

In einem zweiten Schritt wurde für jede Schadenskategorie jeweils eine Kostenfunktion (d.h. eine Funktion, die den Verlauf der Kosten mit zunehmender Temperatur beschreibt) basierend auf den verfügbaren Informationen zu der Schadenskategorie definiert. Die berücksichtigten Schadenskategorien werden in den Tabellen 34 und 35 aufgeführt. Gemäß der Fallstudienmethodik wurde dabei zwischen den direkten und den indirekten Kosten bzw. Nutzen unterschieden.

Als Beispiel zeigt Abbildung 30 die Kostenfunktion für die Schadenskategorie „Gesundheitskosten“. Je nach Schadenskategorie verläuft die Kostenfunktion anders (linearer, exponentieller, logarithmischer Anstieg oder Mischform). Jeder Kostenfunktion wurden ebenfalls eine Unsicherheit und eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zugeordnet.

Abbildung 30: Kostenfunktion in Abhängigkeit der Temperaturerhöhung – Beispiel Gesundheit, direkte Kosten



Erläuterung: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% sollten die Gesundheitskosten bei einer Temperaturerhöhung von 1,5°C zwischen 225 und 525 Mio. € pro Jahr betragen (Bereich zwischen den gestrichelten Linien: 25%- und 75%-Perzentile). Die Monte-Carlo-Simulation wählt für das Jahr 2050 zufällige Werte aus dem grau markierten Bereich.

Die Kombination der Temperaturerhöhung mit den jeweiligen Kostenfunktionen ergibt für jede Schadenskategorie eine Schätzung der jährlichen Kosten bzw. Entlastungen. Die Simulation berechnet die damit verbundene Unsicherheit. Addiert man die Kosten der einzelnen Schadenskategorien, ergeben sich die gesamten direkten bzw. indirekten Kosten für die öffentliche Hand sowie die entsprechende Unsicherheit. Die numerische Simulation wurde mit der Software Crystal Ball v.7.2.1 durchgeführt. Die Simulation wurde jeweils für die Jahre 2050 und 2100 durchgeführt.

Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Monte-Carlo Simulationen vorgestellt. Dabei erfolgt wieder die Unterteilung in direkte und indirekte Wirkungen. Bei der weiteren Interpretation der Ergebnisse ist es wichtig zu berücksichtigen, dass nur die direkten Wirkungen effektive Folgen für die öffentlichen Finanzen darstellen. Die dargestellten indirekten Wirkungen dürfen dagegen nicht direkt als Steuerausfall interpretiert werden. Der Klimawandel führt lediglich dazu, dass bestimmte Bereiche der Volkswirtschaft in ihrer Leistungsfähigkeit gefährdet sind. Die genannten Wirkungen treten nur dann vollständig ein, wenn es keine dynamischen Effekte gibt, z.B. kein Erschließen neuer Exportmärkte bei den Handelsströmen. So ist in der Realität davon auszugehen, dass durch veränderte Angebotsstrukturen die Einbußen zumindest teilweise abgefedert werden können. Andererseits konnten in unserer Analyse weitaus nicht alle Einflusskanäle des Klimawandels quantifiziert werden, so dass die Angaben auch nicht als Maximalschätzung der Wirkungen interpretiert werden können. Die berechneten Werte geben eine Größenordnung der Herausforderung an, welche der Klimawandel für die Finanzen der öffentlichen Haushalte in Deutschland mit sich bringen wird. Dies lässt auch eine Einordnung der Bedeutung des Klimawandels für die öffentlichen Finanzen im Vergleich zu anderen kommenden Herausforderungen wie dem demographischen Wandel zu.

Jahr 2050

Für das Jahr 2050 ergibt sich bei einer unterstellten klimabedingten Temperaturerhöhung zwischen +1°C bis +1,6°C eine durchschnittliche Zunahme der jährlichen **Ausgaben der öffentlichen Hand** (über die direkten Kosten) zwischen 1,3 Mrd. € und 2,7 Mrd. €. Dies würde einem Anteil von 0,1% bis 0,2% an den voraussichtlichen Ausgaben der öffentlichen Hand im Jahr 2050 entsprechen¹⁷⁵ (vgl. Tabelle 37).¹⁷⁶ Dies entspricht einer Belastung auf der Ausgabenseite in Höhe von 0,03 bis 0,07% des BIP. Die höchsten Kosten werden durch die Zunahme der Sturmfluten sowie die Schäden an der Verkehrsinfrastruktur in Folge von Überschwemmungen verursacht, welche Mehrausgaben der öffentlichen Hand bedingen (Katastrophenhilfe, Deicherhöhungen, Reparatur Straßeninfrastruktur).

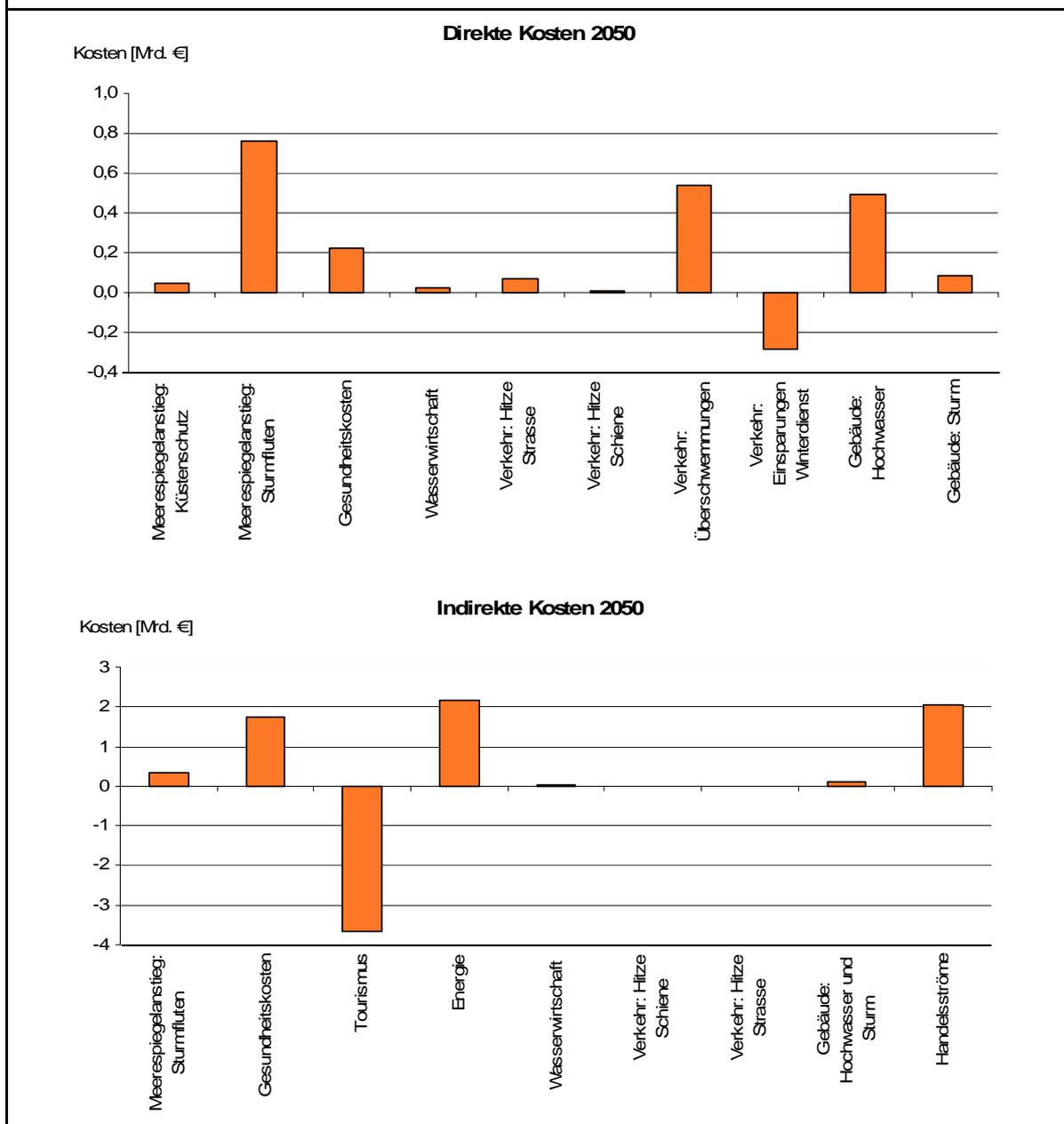
Die Wirkung des Klimawandels auf die volkswirtschaftliche Leistungsfähigkeit Deutschlands (indirekte Wirkung) ist ambivalent. Je nachdem, welche Wahrscheinlichkeit für die unterschiedlichen Schadensfunktionen angenommen wird, würden sich im Jahr 2050 zusätzliche **Einnahmen der öffentlichen Hand** in der Höhe von 3,9 Mrd. € oder aber Mindereinnahmen von bis zu 9,2 Mrd. € ergeben. Im Verhältnis zum Haushalt der öffentlichen Hand handelt es sich um einen positiven Effekt von bis zu 0,2% bzw. einer zusätzlichen Belastung von bis zu 0,6%. Im Bezug zum BIP entspricht dies einer Ent- bzw. Belastung zwischen -0,1 bis +0,25% des BIP.¹⁷⁷ Eine Betrachtung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der jeweiligen Effekte zeigt, dass es nicht unbedingt zu einer Mehrbelastung des Haushaltes kommen muss. Unter günstigen Bedingungen (Eintrittswahrscheinlichkeit ca. 27%) bestünde im Jahr 2050 die Möglichkeit, dass über die indirekten Wirkungen ein positiver Impuls erfolgt. Hauptursache hierfür wäre die prognostizierte klimabedingte Zunahme des Binnentourismus.

¹⁷⁵ Dabei ist unterstellt, dass die Staatsquote gegenüber heute unverändert bei 44% verharrt.

¹⁷⁶ Alle Angaben zu Preisen von 2007.

¹⁷⁷ Der positive Effekt wird hier mit einem negativen Vorzeichen gekennzeichnet (vgl. Tabelle 37).

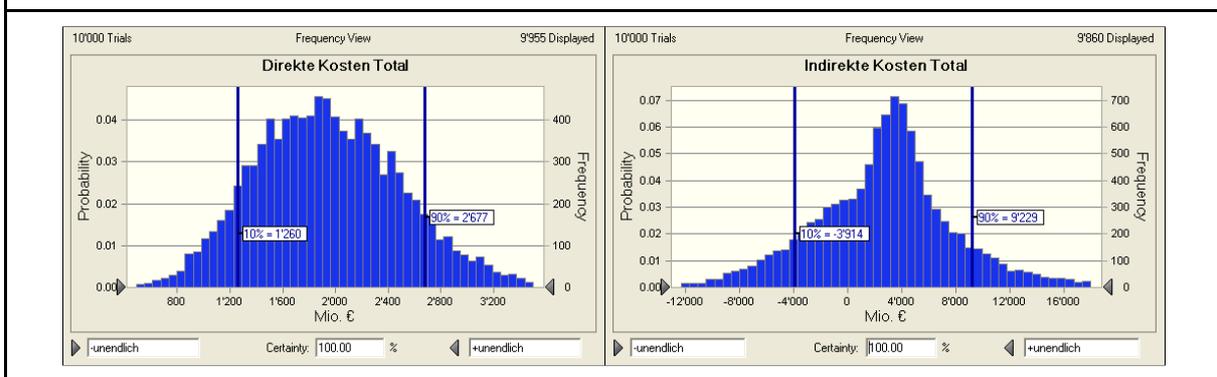
Abbildung 31: Wirkungen 2050 nach Wirkungspfaden, Mittelwert



Wie Abbildung 31 zeigt, sind die wichtigsten Komponenten, die zu indirekten Wirkungen über Produktivitätsverluste führen, klimabedingte gesundheitliche Folgen sowie hemmende Wirkungen im Außenhandel von Gütern. Zu zusätzlichen Steuereinnahmen sollte die günstige Entwicklung des Tourismusbereiches beitragen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden die negativen Wirkungen den positiven Effekt aus dem Tourismus überkompensieren, so dass netto über die Steuereinnahmen ebenfalls eine deutliche Zusatzbelastung der öffentlichen Finanzen 2050 wahrscheinlich ist (mit gut 70% Eintrittswahrscheinlichkeit).

Die Abbildung 32 zeigt die Wahrscheinlichkeitsverteilung der zu erwartenden Wirkungen auf die öffentlichen Finanzen 2050 unterteilt nach direkten und indirekten Wirkungen.

Abbildung 32: Kosten für die öffentlichen Hand 2050: Wahrscheinlichkeitsverteilung



Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf die Finanzen der öffentlichen Hand im Überblick. Zudem sind die Belastungen in Bezug zum BIP dargestellt, wobei sich dieser aggregierte Wert aus den Effekten auf der Einkommens- und Ausgabenseite ergibt.¹⁷⁸

Tabelle 37: Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Hand, 2050

| Veränderung Ausgaben/Einnahmen der öff. Hand (Mio. €/ a, reale Werte zu Preisen 2007) | | |
|--|------------------------|------------------------|
| | 10% - Perzentil | 90% - Perzentil |
| Direkte Wirkung: Mehrausgaben | 1.260 | 2.680 |
| Indirekte Wirkung: Mindereinnahmen | -3.910 | 9.230 |
| Gesamtwirkung | -1.920 | 11.460 |
| Anteil an den Staatseinnahmen und – ausgaben 2050 | | |
| | 10% - Perzentil | 90% - Perzentil |
| Direkte Wirkung: Mehrausgaben | 0,1% | 0,2% |
| Indirekte Wirkung: Mindereinnahmen | -0,2% | 0,6% |
| Gesamtwirkung | -0,1% | 0,7% |
| Auswirkungen auf die öffentliche Hand im Bezug zum BIP | | |
| | 10% - Perzentil | 90% - Perzentil |
| Direkte Wirkung: Mehrausgaben | 0,03% | 0,07% |
| Indirekte Wirkung: Mindereinnahmen | -0,11% | 0,25% |
| Gesamtwirkung | -0,05% | 0,31% |

Erläuterung: Werte mit negativem Vorzeichen stellen positive Effekte dar, Werte ohne Vorzeichen sind negative Auswirkungen.

¹⁷⁸

Dieser aggregierte BIP-Wert darf nicht verwechselt werden mit den Effekten auf der Einkommenseite, die in den Fallstudien teilweise in Bezug zum BIP dargestellt sind. Die Wirkungen auf der Einkommenseite sind im aggregierten Wert enthalten und dürfen somit nicht zusätzlich hinzu addiert werden.

Basierend auf den grob quantifizierbaren Einflusskanälen, ist zu erwarten, dass die Gesamtwirkung des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen 2050 zwischen einer jährlichen Nettoentlastung von knapp 2 Mrd. € und einer jährlichen Zusatzbelastung von bis zu 12 Mrd. € bzw. 0,7% des Staatshaushalts liegen wird. Diese Werte decken die 80%-ige Wahrscheinlichkeit ab (Intervall zwischen 10% und 90%-Perzentilen) Dies entspricht einer Bandbreite von einer Nettoentlastung der öffentlichen Haushalte in Höhe von 0,05% des BIP bis zu einer Nettobelastung in Höhe von knapp 0,3% des BIP. Zu einer Nettoentlastung kommt es, falls der Binnentourismus stark zunehmen würde und bei den anderen Schadenskategorien die Wirkungen eher am unteren Rand der Wahrscheinlichkeitsverteilungen blieben. Die negativen Wirkungen des Klimawandels auf die Wirtschaft und die Finanzen verstärken sich erst in der Zeit zwischen 2050 und 2100 deutlich.

Jahr 2100

Eine Extrapolation der Effekte bis zum Jahr 2100 bei einer unterstellten möglichen klimabedingten Temperaturerhöhung zwischen +1,5°C bis +3,5°C ergibt eine durchschnittliche Zunahme der jährlichen **Ausgaben der öffentlichen Hand** (über die direkten Kosten) um 3,4 Mrd. € bis 15,9 Mrd. €. Dies entspräche einem Anteil von 0,2% bis 0,8% am Haushalt der öffentlichen Hand im Jahr 2100¹⁷⁹ (Tabelle 38)¹⁸⁰ bzw. einer Belastung der öffentlichen Haushalte in Höhe von knapp 0,1 bis 0,3% des BIP.

Der Klimawandel könnte einen signifikanten Teil der volkswirtschaftlichen Leistungsfähigkeit Deutschlands (indirekte Wirkung) gefährden. Bis zum Jahr 2100 summieren sich die Verluste bei den **Einnahmen der öffentlichen Hand** auf einen Umfang von ca. 23 Mrd. € bis ca. 105 Mrd. €. Dies entspräche einem Anteil von 1,1% bis 5,0% an dem voraussichtlichen Budget der öffentlichen Hand im Jahr 2100. Diese Mindereinnahmen der öffentlichen Hand entsprechen zwischen 0,5 und 2,2% des BIP.

Die folgende Abbildung zeigt die Bedeutung der einzelnen quantifizierten Kanäle an der Wirkung.

¹⁷⁹ Dabei ist unterstellt, dass die Staatsquote gegenüber heute unverändert bei 44% verharrt.

¹⁸⁰ Alle Angaben zu Preisen von 2007.

Abbildung 33: Wirkungen 2100 nach Wirkungspfaden, Mittelwert

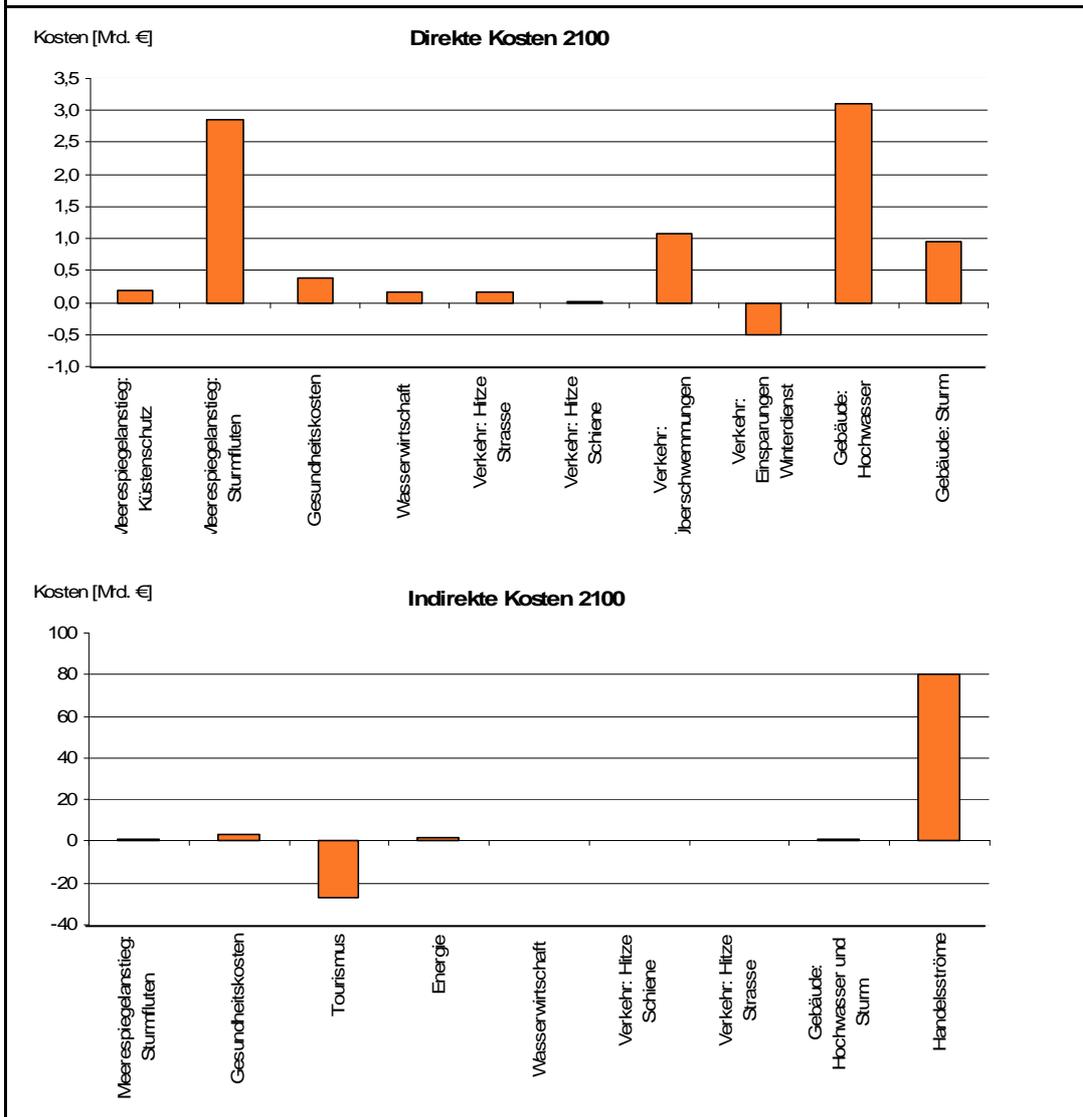
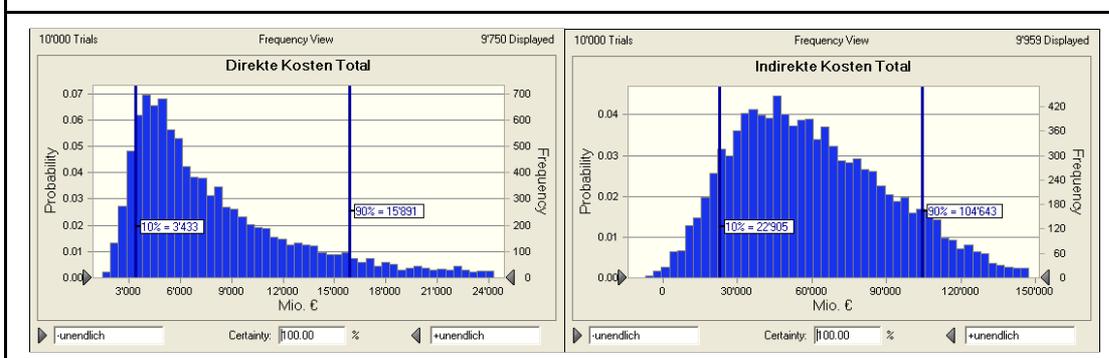


Abbildung 34: Kosten für die öffentliche Hand 2100: Wahrscheinlichkeitsverteilung



Die Wahrscheinlichkeitsverteilung verdeutlicht, dass die Schätzungen zu den direkten Wirkungen besser abgeschätzt werden können und in der Größenordnung gesicherter sind.

Bei beiden Kategorien gibt es 2100 mit Sicherheit negative Einflüsse auf die öffentlichen Finanzen und mit hoher Wahrscheinlichkeit in erheblichem Umfang.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf die Finanzen der öffentlichen Hand im Überblick.

Tabelle 38: Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Hand, 2100

| Veränderung Ausgaben/Einnahmen der öff. Hand (Mio. €/a, reale Werte zu Preisen 2007) | | |
|---|-----------------|-----------------|
| | 10% - Perzentil | 90% - Perzentil |
| Direkte Wirkung: Mehrausgaben | 3.430 | 15.890 |
| Indirekte Wirkung: Mindereinnahmen | 22.900 | 104.640 |
| Gesamtwirkung | 26.650 | 120.050 |
| Relative Zahlen (als Anteil an den Staatseinnahmen und – ausgaben 2050) | | |
| | 10% - Perzentil | 90% - Perzentil |
| Direkte Wirkung: Mehrausgaben | 0,2% | 0,8% |
| Indirekte Wirkung: Mindereinnahmen | 1,1% | 5,0% |
| Gesamtwirkung | 1,3% | 5,7% |
| Auswirkungen auf die öffentliche Hand im Bezug zum BIP | | |
| | 10% - Perzentil | 90% - Perzentil |
| Direkte Wirkung: Mehrausgaben | 0,07% | 0,3% |
| Indirekte Wirkung: Mindereinnahmen | 0,5% | 2,2% |
| Gesamtwirkung | 0,6% | 2,5% |

Laut unserer Berechnung ist zu erwarten, dass der Klimawandel in der Summe der direkten und indirekten Wirkungen 2100 zwischen fiskalische Belastungen zwischen 27 Mrd. € und 120 Mrd. € auslösen könnte, d.h. 1,3% bis 5,7% des Staatshaushalts sind durch den Klimawandel gefährdet (80%-ige Wahrscheinlichkeit). Dies entspricht einer Nettobelastung der öffentlichen Haushalte in Höhe von 0,6 bis 2,5% des BIP. Die negativen Wirkungen des Klimawandels auf die Wirtschaft und die Finanzen könnten 2100 deutlich höher ausfallen als 2050 und dazu führen, dass der Umfang von rund 6% des öffentlichen Haushalts (entspricht knapp 2,5% des BIP) durch Mehrausgaben bzw. Mindereinnahmen bedroht ist.

4.3 Demographische Entwicklung und Klimawandel

Die öffentlichen Finanzen werden in Zukunft auch durch die demographische Entwicklung stark gefordert. Die Frage ist nun, ob der Klimawandel zeitgleich zu erheblichen Zusatzbelastungen der öffentlichen Finanzen führt und somit eine Doppelbelastung droht.

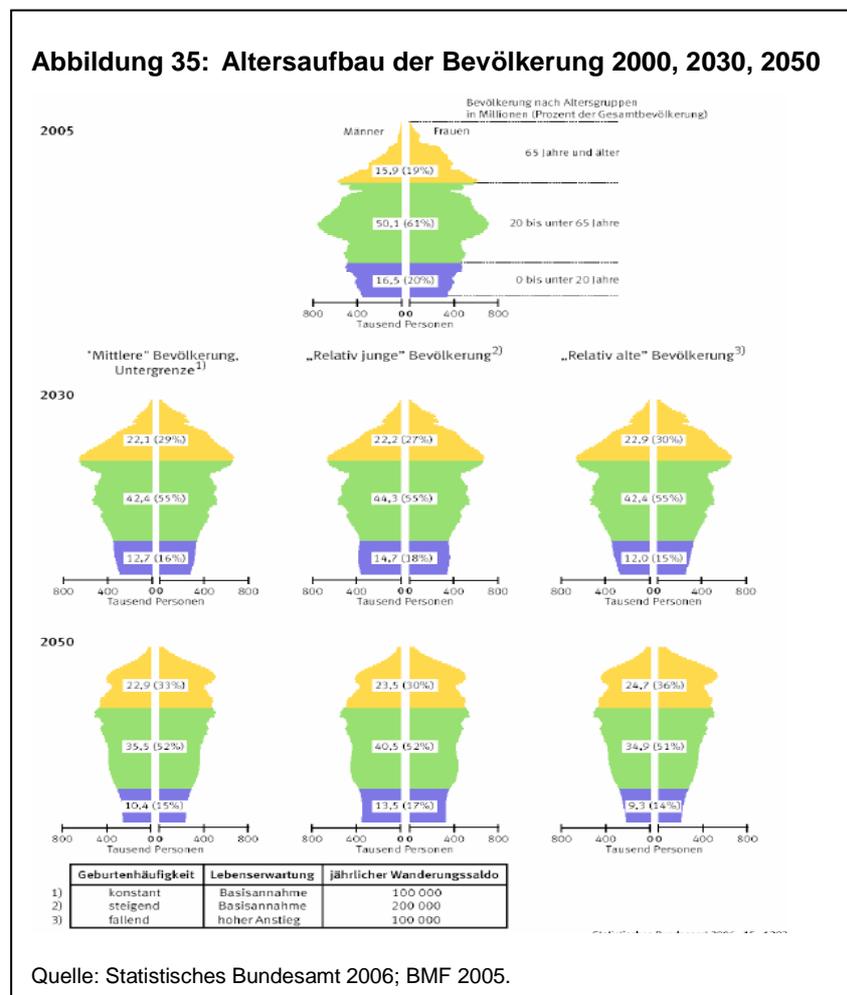
Im zweiten Tragfähigkeitsbericht (BMF 2008) werden die Auswirkungen der demographischen Entwicklung analysiert. Das ifo hat als Grundlage den Anstieg der relevanten Ausgabenposten (Alterssicherung, Gesundheit, Bildung, Arbeitslosenversicherung) berechnet. Der Analyse liegt die Annahme zugrunde, dass der Altenquotient, d.h. die Relation der Bevölkerung im Rentenalter (ab 65) zur Bevölkerung im Erwerbsalter (20 bis 65, von 28,9% im Jahr 2005 auf 53,3% (Variante T+ mit günstigen Bedingungen) bzw. bis 64,4% (Variante T- mit ungünstigen Bedingungen) im Jahr 2050 ansteigt. Die Berechnungen machen deutlich, dass die demographieabhängigen Ausgaben in beiden Varianten weiter

steigen. 1,3 bis 4,9% des BIP werden zusätzlich für Alterssicherung, Gesundheit, etc. ausgegeben und stehen nicht für alternative Ausgaben zur Verfügung.

Bisher gibt es keine offiziellen Prognosen zur demographischen Entwicklung für die Zeit nach 2050. Das Ungleichgewicht in der Bevölkerungspyramide (Wechsel von „Babyboom“ Generation zu niedrigen Geburtenraten) ist jedoch 2050 bereits deutlich weniger zu erkennen als 2030 (vgl. Abbildung 35). Wie in Abschnitt 2.1.1 dargestellt, weisen erste

Schätzungen darauf hin, dass der Altenquotient nach 2050 weitgehend konstant bleibt bzw. leicht fallen wird.

Demnach wird sich die Bevölkerung voraussichtlich bezüglich der Alterung auf eine stabile – aber schrumpfende – Bevölkerungsstruktur einpendeln. Nach Angaben des BiB ist aufgrund der Vorhersehbarkeit der Entwicklung einer stabilen Bevölkerung ab 2050 tendenziell eine Entlastung der öffentlichen Hand zu erwarten. Jedoch ist es möglich, dass die räumliche Verteilung der Bevölkerung evtl. über Schrumpfungs- und Wachstumsregionen zu höheren Kosten führen kann, z.B. für Rückbau-



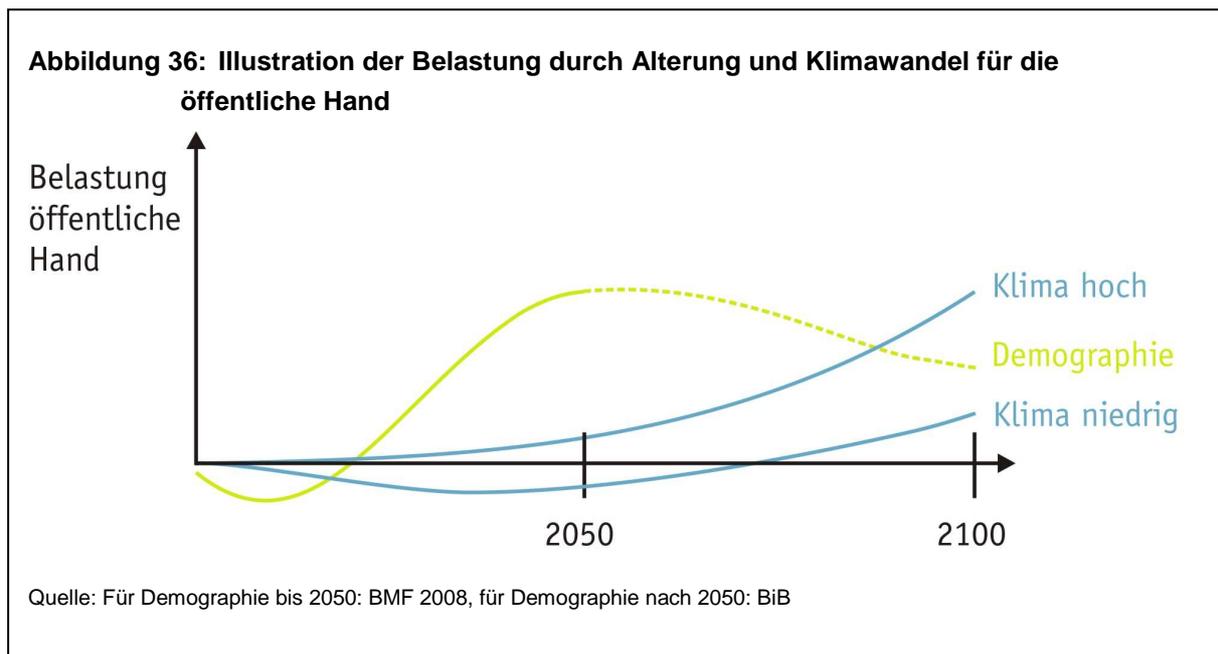
maßnahmen von Verkehrs- und Umweltinfrastrukturen.¹⁸¹

Der Klimawandel führt für die öffentliche Hand im Jahr 2050 noch zu einer eher geringen Mehrbelastung mit deutlich steigenden Kosten bis 2100. Ende des Jahrhunderts ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Belastung des Klimawandels für die öffentlichen Finanzen real in einer ähnlichen Größenordnung liegen wird wie die Belastung durch den demographischen Wandel im Peak von 2050. Die hier quantifizierten Auswirkungen mit einer Belastung für die öffentlichen Finanzen in Höhe von 0,6 bis 2,5% des BIP liegen unter den Werten des demographischen Wandels für 2050, unter Berücksichtigung der Unsicherheiten erscheint jedoch die Einschätzung als „ähnliche Größenordnung“ angebracht. Insbesondere ist dabei zu beachten, dass die neuesten Erkenntnisse der Klimaforschung auf eine Beschleunigung der im IPCC-Bericht von 2007 prognostizierten Entwicklung hinweisen.

181

Persönliche Korrespondenz mit Dr. Manfred Scharein beim Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung.

Bis die Auswirkungen des Klimawandels für die öffentliche Hand deutlich spürbar werden, geht die Belastung durch die demographische Entwicklung bereits wieder leicht zurück; es ist also davon auszugehen, dass die Hauptwirkungen der beiden Herausforderungen zeitlich nicht zusammenfallen. Jedoch können unvorhersehbare räumliche Verteilungen der demographischen Entwicklung auch nach 2050 zu erheblichen Kosten für die öffentliche Hand führen. Insgesamt ist aber davon auszugehen, dass die Höhepunkte der beiden Herausforderungen sich nicht kumulieren, sondern gestaffelt aufeinander folgen. Die Relevanz der demographischen Entwicklung und des Klimawandels für die öffentliche Hand ist illustrativ in Abbildung 36 dargestellt.



5 Schlussfolgerungen und Einordnung der Ergebnisse

Die vorliegende Studie hat die Folgen des Klimawandels für die Tragfähigkeit der öffentlichen Haushalte untersucht. In neun sektoralen Fallstudien und einer getrennten Untersuchung zu den Auswirkungen des Klimawandels auf internationale Entwicklungen wurden zuerst die ökonomischen Folgen des Klimawandels und darauf aufbauend die zu erwartenden Veränderungen bei den Einnahmen und Ausgaben der öffentlichen Hand analysiert. Methodisch setzt die Studie auf ein zweistufiges Vorgehen: Im ersten Schritt wurden mögliche Wirkungspfade qualitativ beschrieben und auf Signifikanz geprüft. Soweit die bestehende Datenlage es zuließ, erfolgte im zweiten Schritt die Quantifizierung der als signifikant bewerteten Wirkungen für die beiden exemplarischen Zeitpunkte 2050 und 2100. Bei der Quantifizierung wird zwischen direkten Wirkungen auf die öffentliche Hand, in der Regel durch Mehrausgaben, und indirekten Effekten unterschieden, die durch BIP-Verluste oder Gewinne in einzelnen Wirtschaftsbereichen zu Veränderungen beim Steueraufkommen führen. Um den kumulierten Unsicherheiten in der Analyse Rechnung zu tragen, wurden die auf Sektorebene errechneten monetären Auswirkungen zum Abschluss mit Hilfe des Monte-Carlo-Verfahrens zu einer Gesamtwirkung aggregiert. Die Monte-Carlo-Simulation erlaubt es, neben dem Mittelwert auch die Bandbreite möglicher Effekte und deren Wahrscheinlichkeit zu berücksichtigen und die Ergebnisse ebenfalls in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung darzustellen.

Klimawandel ist ein relevanter Faktor für die Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen

Unsere Analyse zeigt klar, dass der Klimawandel einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die öffentlichen Finanzen in Deutschland haben wird. Die Wirkung wird jedoch erst gegen Ende des Jahrhunderts deutlich zu spüren sein, während sie sich bis 2050 schwach auswirkt und sogar eine geringe Wahrscheinlichkeit besteht, dass sich der Klimawandel bis 2050 insgesamt positiv auswirkt. Nach unseren Schätzungen könnten die Belastung (bzw. Entlastung) durch die Klimaveränderung 2050 bei +0,1% bis -0,7% des Haushalts liegen, während im Jahr 2100 eindeutig eine Mehrbelastung zu erwarten ist – Mehrausgaben und rückläufige Steuereinnahmen könnten 2100 im Vergleich zum Referenzszenario ohne Klimawandel zwischen 1,3 und 5,7% des Haushalts beanspruchen. Der durchschnittliche Erwartungswert liegt für 2100 bei 3,3%. In Bezug zum BIP entspricht dies 2050 einer Bandbreite von -0,05 bis 0,3% des BIP und in 2100 einer Belastung zwischen 0,6 und 2,5% des BIP.

Der Klimawandel stellt somit mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Risiko für die Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen dar, das der Belastung durch den demographischen Wandel vergleichbar ist. Jedoch ist zu erwarten, dass die Spitzenbelastungen dieser beiden Wirkungen nicht zusammenfallen werden. Während der demographische Wandel den Haushalt vor allem bis 2050 belasten wird, wirkt sich der Klimawandel erst danach stärker aus.

Betrachtet man die Ergebnisse auf Sektorebene, so zeigt sich, dass einige Schlüsselbereiche das Gesamtergebnis stark beeinflussen. Zentral sind insbesondere die Wirkungen über die internationalen Handelsströme, d.h. der prognostizierte Nachfrage-rückgang nach deutschen Exportgütern in stark vom Klimawandel betroffenen Weltregionen. Gemessen an der quantitativen Wirkung, ist der Tourismus der zweitwichtigste Wirtschafts-

bereich – hier wird sich der Klimawandel jedoch aller Voraussicht nach positiv auswirken, so dass negative Effekte hierdurch teilweise kompensiert werden. Der zweite Sektor, für den im Deutschlandmittel wahrscheinlich eine positive Wirkung erwartet werden kann, ist die Landwirtschaft. Die regionalen Unterschiede und die Unsicherheiten bezüglich der Entwicklung der Weltmarktpreise sind jedoch so groß, dass in dieser Studie von einer Quantifizierung abgesehen wurde. In allen anderen untersuchten Bereichen ist mit zusätzlichen Kosten und BIP-Verlusten zu rechnen. Insgesamt ist ein zentrales Ergebnis der Studie, dass die indirekten Wirkungen über BIP-Verluste bzw. Zugewinne das Ergebnis klar dominieren. Direkte Kosten über zusätzliche Ausgaben der öffentlichen Hand sind vor allem durch Schäden an Verkehrsinfrastruktur und öffentlichen Liegenschaften bei Hitze, Überschwemmung und Sturmfluten zu erwarten.

Einordnung der Ergebnisse

Dieser Bericht schätzt zum ersten Mal die Größenordnung der Wirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen ab. Es existiert jedoch bereits eine Reihe von Analysen zur Auswirkung des Klimawandels auf die Volkswirtschaft, deren Ergebnisse mit dem ersten Teil unserer Analyse zumindest teilweise vergleichbar sind.

Große Bekanntheit hat insbesondere die Stern-Review erlangt, die von der britischen Regierung in Auftrag gegeben wurde. Stern kam in seinem Bericht zu dem Ergebnis, dass die monetär bewertbaren Schäden weltweit im Jahr 2200 jährlich 5% des globalen (pro Kopf) BIP betragen könnten (Stern 2006). Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch bei Stern die effektiven Schäden gegen Ende des Jahrhunderts stark ansteigen. Für das Jahr 2100 liegen die Schadenswerte deutlich niedriger, unter 2% des globalen BIP (pro Kopf). Schäden werden laut Stern tendenziell in Entwicklungsländern höher ausfallen als in industrialisierten Staaten. Daher wäre für Deutschland mit Schäden unter dem Durchschnittswert zu rechnen. Das deutsche BIP würde jedoch wiederum stärker absinken als der pro Kopf Wert, da hier die Bevölkerung insgesamt (leicht) rückläufig ist. Die Belastung für die öffentlichen Haushalte läge jedoch noch über diesem Wert, da Mehrausgaben für die öffentliche Hand hier nicht berücksichtigt sind. Somit liegen unsere Ergebnisse durchaus in dem von Stern berechneten Rahmen.

Auch die Arbeiten von Kemfert (2007) können als Referenz herangezogen werden. Ihre Veröffentlichung von 2007 kommt zu dem Ergebnis, dass die kumulierten Kosten durch den Klimawandel für Deutschland im Zeitraum bis 2100 bis zu 1.245 Mrd. € betragen können, was einem Wachstumsverlust in Höhe von 0,5% des BIP jährlich entspräche. Hierbei sind jedoch, anders als in der hier vorliegenden Studie, auch Kosten für Anpassungsmaßnahmen in Höhe von 395 Mrd. € berücksichtigt, die in allen Sektoren anfallen.

Weitere Studien zu den ökonomischen Folgen des Klimawandels liegen auf europäischer Ebene vor: Zum einen der EEA Bericht (2008), zum anderen die Ergebnisse des europäischen PESETA Projektes. Der EEA Bericht fasst etliche Studien zu einer Reihe von Sektoren¹⁸² zusammen; liefert jedoch keine eigenständigen quantitativen Bewertungen. Die Autoren stützen sich vielmehr in ihrer Gesamtschätzung auf den Stern Bericht sowie auf

¹⁸² Folgende Sektoren werden behandelt: Extremereignisse, Küstenschutz, Wasserwirtschaft, Landwirtschaft / Fortwirtschaft, Biodiversität / Ökosystemdienstleistungen, Energie, Tourismus / Erholung, Gesundheit sowie eine Zusammenfassung der gesellschaftlichen Kosten.

Veröffentlichungen des IPCC und frühere EEA Zahlen. Zum GIS-basierten PESETA Projekt¹⁸³, dass die Sektoren Landwirtschaft, Tourismus, Gesundheit, Hochwasser sowie Küstenschutz untersucht, liegen derzeit immer noch keine Endergebnisse vor, so dass ein Vergleich mit unseren Schadenswerten nicht möglich ist.

In der Schweiz wurden die Auswirkungen auf die Wirtschaft in zwei Studien betrachtet. In der ersten Studie – mit Fokus auf den nationalen Wirkungskanälen – wird der zu erwartende mittlere Schaden im Jahr 2100 mit 0,48 % des BIP ausgewiesen (Ecoplan 2007). Zu beachten ist die große Bandbreite der Schadensentwicklung: Im Jahr 2100 reicht die Bandbreite der möglichen Schäden von bescheidenen 0,15% des BIP bis zu Schäden von knapp 1,6% des BIP. Die zweite Studie analysiert die internationalen Wirkungskanäle und stellt fest, dass der Klimawandel bis 2050 allein über die Exposition der Exporte jährlich 0,6% bis 1,1% des BIP der Schweiz gefährden könnte (Infras et al. 2007). Wirkungen auf andere Sektoren wurde in dieser Studie nicht quantitativ berücksichtigt. Daher ist ein direkter Vergleich mit der hier vorliegenden Studie nicht möglich. Die Schadenswerte liegen jedoch in einem ähnlichen Bereich wie die unserer Studie (+0,1% bis -0,7% der öffentlichen Haushalte).

Abschließend sei auch die Studie von Ackerman und Stanton (2008) zu den Kosten des Klimawandels für die USA erwähnt. Hierbei handelt es sich um eine Revision der Schadenswerte des Stern Reports für die USA für die folgenden Sektoren: Extremereignisse, Meeresspiegelanstieg, Energie, Wasserwirtschaft sowie Landwirtschaft. Andere Sektoren wurden in der Studie nicht berücksichtigt. Daher könnten die nach dieser Methode berechneten Schäden noch höher ausfallen. Ackerman und Stanton errechnen für die fünf genannten Bereiche eine Minderung des BIP von 3,6% im Jahr 2100. Die Schadenswerte beinhalten neben Katastrophenkosten und anderen direkten Schäden jedoch auch nicht-marktgängige Kosten. Auf der anderen Seite beinhaltet unsere Studie die erhöhten öffentlichen Ausgaben. Auch wenn somit sowohl die Methodik als auch die beiden Staaten nur bedingt vergleichbar sind, liegen doch die Prognosewerte nah bei unseren Ergebnissen.

Belastbarkeit der Ergebnisse

Wirkungsanalysen zum Klimawandel sind grundsätzlich mit einer Vielzahl von Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten ziehen sich quer durch das hier verwendete Wirkungsschema. Bereits bei den Klimamodellen gibt es Unsicherheiten bezüglich des Zusammenspiels der verschiedenen Klimaparameter und der regionalen Effekte. Weitere Unsicherheiten ergeben sich bei der Ableitung der ökonomischen Schäden aus den physischen Veränderungen. Hier fällt insbesondere ins Gewicht, dass Extremereignisse wie Stürme, Hochwasser und Sturmfluten die wichtigste Ursache für wirtschaftliche Schäden sind, ihre zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit bisher aber kaum modelliert werden kann. Um die Effekte von Extremereignissen trotzdem in die Analyse einbeziehen zu können, wurden in diesem Bericht Annahmen zur Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen gemacht. Diese Annahmen müssen durch weitere Klimamodellierungen verifiziert und gegebenenfalls angepasst werden.

Bei der Analyse der ökonomischen Folgen des Klimawandels resultiert die Unsicherheit aus den erforderlichen Annahmen zu BIP- und Bevölkerungswachstum sowie zur Entwicklung

¹⁸³ <http://peseta.jrc.ec.europa.eu/index.html>.

der Wirtschaftsstruktur bis 2100. Dieses Problem tritt in besonderem Maße bei den internationalen Einflüssen auf, welche sich in unserer Quantifizierung zugleich am stärksten auf das Gesamtergebnis auswirken. Es gibt bisher nur wenige Prognosen zur zukünftigen Entwicklung des Welthandels und der Auswirkungen des Klimawandels auf diese Entwicklung, so dass mit vereinfachenden Annahmen gearbeitet werden musste. Angesichts der starken Verflechtung der deutschen Volkswirtschaft mit dem Rest der Welt, kann dieses Vorgehen dennoch verteidigt werden – eine Analyse, die sich allein auf die Klimawirkungen im Inland beschränkt, wäre gerade im Fall von Deutschland hochgradig unplausibel und würde die Risiken des Klimawandels deutlich unterschätzen.

Bisher liegen nur spärliche Informationen zum Umfang potentiell positiver Wirkungen vor, die die negativen Effekte – zumindest mittelfristig – teilweise kompensieren könnten. Bei verbesserter Datenlage könnte sich die Gesamtbetrachtung demnach leicht aufhellen. Auf der anderen Seite bleiben auch viele bedeutende Risiken unberücksichtigt, weil ihr Schadenspotential nicht beziffert werden kann oder ihre Eintrittswahrscheinlichkeit unbekannt ist. Dazu gehört insbesondere das Risiko regionaler oder globaler Instabilitäten durch Konflikte und Migrationsströme, aber auch die Möglichkeit abrupter Kippeffekte im Klimasystem. Bei der Einschätzung der Ergebnisse ist ferner zu berücksichtigen, dass Auswirkungen auf nicht-marktgängige Güter wie Biodiversität nicht betrachtet wurden. Dennoch sind diese Wirkungen natürlich volkswirtschaftlich relevant und können im Ausmaß erheblich sein (Stern 2007, Braat u.a. 2008).

Die Studie ist eine gute Grundlage für eine politische Einschätzung der Vulnerabilitäten und der Größenordnung der zu erwartenden Belastungen. Insbesondere macht sie robuste Aussagen darüber, welche Wirkungskanäle für die öffentliche Hand besonders relevant sein werden. Überdies bietet die Untersuchung einen umfassenden Überblick über den Wissensstand in den einzelnen Sektoren und zeigt verbleibende Forschungslücken auf. In den einzelnen Fallstudien werden außerdem Handlungsspielräume der Politik skizziert, um Verwundbarkeiten durch Anpassung zu senken und Fehlinvestitionen frühzeitig zu vermeiden, auch wenn die Ergebnisse nicht dazu geeignet sind, Anpassungsmaßnahmen zu priorisieren.

Implikationen für das BMF und die Bundesregierung

Der Klimawandel wird in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ein erhebliches Risiko für die Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen darstellen. Entsprechend erscheint rechtzeitiges Handeln angebracht, um die Folgen auf ein Minimum zu begrenzen. Auch muss sichergestellt werden, dass Investitionen in Zukunft klimarobust gestaltet werden, damit Fehlinvestitionen vermieden werden können. Eine vorausschauende staatliche Raumplanung ist dabei von zentraler Bedeutung, da die erwartete Schadensdichte in Küstennähe und in Überschwemmungsgebieten am höchsten ist.

Die Fallstudien machen aber auch deutlich, dass Handeln allein von deutscher Seite und mit Hilfe von Anpassungsmaßnahmen nicht ausreichen wird, um diese Risiken zu mindern. Bei den direkten Wirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Ausgaben dominieren die Wirkungen von Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten. Diese Wirkungen sind nur durch verstärkte Klimaschutzmaßnahmen zur Begrenzung des Klimawandels und damit des Meeresspiegelanstiegs zu mindern. Mögliche Anpassungsmaßnahmen würden die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen zwar reduzieren – so würde eine Raumplanung, die

auf die Belange des Hochwasserschutzes eingeht, potentiell Schäden vermeiden helfen – auf die öffentliche Hand kommen aber auch in diesem Fall erhebliche Mehrausgaben zu.

Auch dem Haupteinfluss bei den indirekten Wirkungen, dem Rückgang der deutschen Warenexporte aufgrund von Klimawirkungen in anderen Weltregionen kann Deutschland nicht allein entgegenwirken. Das gleiche gilt im Falle von Migrationsbewegungen und bei der Gefährdung der internationalen Sicherheit, etwa durch die Entstehung von „failed states“. Zwar ist der Klimawandel in der Regel nicht der einzige Grund für regionale Instabilitäten; Umweltveränderungen können aber bestehende Konflikte verstärken und Lösungen erschweren. Um diesen Gefahren für die Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen vorzubeugen, bedarf es einer ambitionierten internationalen Klimapolitik zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Zudem könnten mögliche Auswirkungen begrenzt werden, wenn stark vom Klimawandel gefährdeten Entwicklungs- und Schwellenländer bei der Anpassung an den Klimawandel unterstützt werden.

6 Literatur

- Aboutproperty.co.uk. (2008): UK property worth £5.8.trillion. Websiteartikel vom 13. Juni 2008. Im Internet abrufbar unter [http://www.aboutproperty.co.uk/news/house-prices/uk-property-worth-5-8-trillion-\\$1227142.htm](http://www.aboutproperty.co.uk/news/house-prices/uk-property-worth-5-8-trillion-$1227142.htm).
- Ackerman, F. und Stanton, E. A. (2008): The Cost of Climate Change: What We'll Pay if Global Warming Continues Unchecked. Natural Resources Defense Council, May 2008.
- Ahlert, G. (2003): Einführung eines Tourismussatellitensystems in Deutschland. GWS Discussion Paper 2003/04.
- Ahrendt, K. (2001): Expected effect of climate change on Sylt island: Results from a multidisciplinary German project. Climate Research 18, 141–146.
- Alcamo, J. et al. (2005): Klimawandel und Landwirtschaft in Hessen: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Landwirtschaftliche Erträge. INKLIM Projekt, Abschlussbericht des Wissenschaftlichen Zentrums für Umweltsystemforschung (USF) – Universität Kassel.
- ARCADIS (2007): Projekt: Aktionsplan Klimaschutz Mecklenburg-Vorpommern, Abschnitt Klimafolgenforschung. Bericht: Arbeitsgruppe „Ostsee/Küste“. ARCADIS Consult GmbH. Entwurf final, Rostock, 11.09.2007. Unveröffentlicht.
- ATT / BDEW / DBVW / DVGW / DWA / VKU (Hrsg) (2008): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008. Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V. (ATT), Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), Deutscher Bund der verbandlichen Wasserwirtschaft e.V. (DBVW), Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU). wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- Bayrisches Landesamt für Umwelt (2009): Beschneiungsanlagen und Kunstschnee.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2000): Schadensbilanz nach Orkan „Lothar“.
- BDEW (2007): Energiemarkt Deutschland - Zahlen und Fakten zur Gas- und Stromversorgung.
- BEE (2009): Erneuerbare Energien decken 2020 fast die Hälfte des Strombedarfs. Websiteartikel. Bundesverband für erneuerbare Energien. Im Internet abrufbar unter <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wirtschaft/detailansicht/article/432/erneuerbare-energien-decken-2020-fast-die-haelfte-des-strombedarfs.html>.
- Beniston, M. et al. (2007): Future Extreme Events in European Climate: An Exploration of Regional Climate Model Projections. Climatic Change 81, 71-95.
- Beniston, M. (2004): The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. Geophysical Research Letters 31, 1–4.
- Biermann, F. (2001): Umweltflüchtlinge – Ursachen und Lösungsansätze, aus Politik und Zeitgeschichte, B23/2001, 24-30.

- Bigano, A. et al. (2007): The Impact of Climate Change on Domestic and International Tourism: A Simulation Study. *The Integrated Assessment Journal* 7,1, 25-49.
- Bigano, A. et al. (2008): Economy-wide impacts of climate change: A joint analysis for sea level rise and tourism. Working Papers Department of Economic, Ca' Foscari University of Venice.
- BiB (2008): Bevölkerung – Daten, Fakten, Trends zum demografischen Wandel in Deutschland. Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB).
- BMELV (2006): Agrarbericht 2006. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin.
- BMF (2006): Bedeutung der Schätzungen von Produktionspotenzial und Produktionslücken für die Finanzpolitik. Monatsbericht des Bundesministeriums der Finanzen Oktober 2006.
- BMF (2008): Zweiter Bericht zur Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen, Bundesministerium der Finanzen, Berlin.
- BMF (2009): Die wichtigsten Steuern im internationalen Vergleich 2008
- BMU (2006): Energieversorgung für Deutschland – Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- BMU (2007): Time to Adapt – Climate Change and the European Water Dimension, Discussion Paper: Electricity.
- BMU (Hrsg.) (2008): Handout Workshop „Gesundheit“. BMU-Konferenz „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ am 15./16.4.2008 in Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- BMU (2009): Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts, Entwurf, Stand: 04.02.2009, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- BLE (2008): Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2007. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen.
- Bosello, F. et al.. (2005): Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health. Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper.
- Braat, L. et al. (eds.) (2008): The Cost of Policy Inaction: The Case of Not Meeting the 2010 Biodiversity Target. Report for the European Commission, Wageningen/Brussels.
- BSH (2005): Sturmfluten in der südlichen Ostsee (westlicher und mittlerer Teil). Berichte des BSH 39. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg.
- Bundestag (2007): Bericht der Bundesregierung über die künftige Gestaltung der Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes. Rahmenplan für den Zeitraum 2008 bis 2011 v. 27. 09.2007. Bundestagsdrucksache 16/6585.
- Charpentier, A. (2008): Insurability of Climate Risk, the Geneva Papers, 2008, 33, 91-109.
- CIPRA (2004): Künstliche Beschneidung im Alpenraum: Ein Hintergrundbericht.

- Dankers, R. und Feyen, L. (2008): Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high resolution climate simulations. Manuscript submitted to Journal of Geophysical Research Atmospheres.
- Daschkeit, A. und Schottes, P. (Hrsg.) (2002): Klimafolgen für Mensch und Küste: am Beispiel der Nordseeinsel Sylt. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Deltacommissie (2008): Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008.
- Department for Transport (2004): The changing climate: its impact on the Department for Transport.
- Deutsche Bahn AG (2007): Orkan Kyrill - Fragen und Antworten. DB Mobility Network Logistics.
- Deutsche Bank Research (2007): Den Klimawandel bewältigen - Die Rolle der Finanzmärkte, Aktuelle Themen 397.
- Deutsche Rück (1999): Witterungsrückblick und Sturmdokumentation des Jahres 1999.
- difu (2008): Der kommunale Investitionsbedarf 2006 bis 2020. Endbericht – Kurzfassung. Projekt Z6 – 10.08.18-7 – 06.4. Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin/Köln.
- DIW (2008): Szenarien zur Entwicklung des Weltmarktes für Umwelt- und Klimaschutzgüter, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, durchgeführt vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin.
- Dowlatabadi, H. und Cook, C. (2006): Climate Risk Management & Institutional Learning, produced for the Global Forum on Sustainable Development on the Economic Benefit of Climate Change Policies.
- DRV (2008): Daten und Fakten zum deutschen Reisemarkt 2007. Deutscher ReiseVerband, Berlin.
- dwif (2003): Wintertourismus in Bayern und die Wertschöpfung durch Bergbahnen – am Beispiel von vier Orten. dwif Consulting, München.
- DZT (2007): Jahresbericht 2007. Deutsche Zentrale für Tourismus e.V., Frankfurt/Main.
- Ecoplan (2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft – nationale Einflüsse, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Energie, Ittigen.
- EEA (2008): Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. Joint EEA-JRC-WHO report. EEA Report No 4/2008. European Environment Agency (EEA) / Joint Research Centre (JRC-IES) / World Health Organisation Europe.
- EIA (2006). International Energy Outlook 2007. Energy Information Administration (EIA). Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S. Department of Energy, Washington D.C.
- EIA (2008): International Energy Outlook, Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy, Washington D.C.
- Ehmer, P. und Heymann, E. (2008): Klimawandel und Tourismus: Wohin geht die Reise? Deutsche Bank Research. Energie und Klimawandel, Aktuelle Themen 416.

Ehrentraut, O. (2006): Alterung und Altersvorsorge: Das deutsche Drei-Säulen-System der Alterssicherung vor dem Hintergrund des demografischen Wandels, Verlag Peter Lang, Frankfurt.

Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (1999): Der Orkan Lothar – Ereignisanalyse.

Eisenreich, S.J. (Hrsg.)(2005): Climate Change and the European Water Dimension. A Report to the European Water Directors. European Commission – Joint Research Centre, EU Report No. 21553.

Elsasser, H. und Messerly, P. (2001): The vulnerability of the snow industry in the Swiss Alps. *Journal of Mountain Research and Development* 21(4), 335–339.

Elsner, A. et al. (2005): Klimawandel und regionale Wirtschaft. Vermögensschäden und Einkommensverluste durch extreme Klimaereignisse sowie Kosten-Nutzen-Analysen von Schutzmaßnahmen - Am Beispiel der nordwestdeutschen Küste.

Elsner, A. et al. (2004): Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste (KRIM): Teilprojekt 2 – Endbericht. Klimaänderung und Küstenschutz. Hannover: Franzius Institut, Universität Hannover.

Eurostat (2008): Energy, yearly statistics 2006.

Eurostat (2008): Tourism Statistics. Eurostat Pocket Books. European Commission.

Eurowinter Group (1997): Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe, *Lancet* 349: 1341-1346.

EZB (2001): Cyclically adjusted budget balances: an alternative approach, Working Paper No. 77 Europäische Zentralbank, Frankfurt/Main.

Feyen, L. et al. (2006): Flood risk in Europe in a changing climate. Institute of Environment and Sustainability.

Flaig, H. et al.(2003): Klimaentwicklung und Wald – ein Beitrag zum Waldprogramm Baden-Württemberg 2003. Arbeitsbericht Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg.

Gerstengarbe, F.-W. et al. (2003): Studie zur Klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung Erster Perspektiven. Report No. 83, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Girod, B. und Mieg, H. (2008): Wissenschaftliche und politische Gründe für den Wandel der IPCC-Szenarien. *Gaia* 17/3 (2008): 302–311.

Girouard, N. and André, C. (2005): "Measuring Cyclically-adjusted Budget Balances for OECD Countries", OECD Economics Department Working Papers, No. 434, OECD Publishing.

Kovats R. S. et al. (1999): Climate change and human health in Europe. *British Medical Journal* 318: 1682–1685.

Kümmerling, A., Schietinger, M., Voss-Dahm, D. und Worthmann, G. (2008): Evaluation des neuen Leistungssystems zur Förderung ganzjähriger Beschäftigung. Endbericht. Institut Arbeit und Qualifikation, Universität Essen/Duisberg.

- Hamilton, J.M. et al (2004): The Effects of Climate Change on International Tourism. Working paper FNU-36.
- Hamilton, J.M. und Tol, R.S.J. (2007): The impact of climate change on tourism in Germany, the UK and Ireland: a simulation study. *Regional Environmental Change* (2007) 7: 161–172.
- Hauf, T. et al. (2004): Luftverkehr und Wetter, Statuspapier Juni 2004, Arbeitskreis Luftverkehr und Wetter.
- Hennegriff, W. und Kolokotronis, V. (2007). Methodik zur Ableitung von Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserkennwerte in Baden-Württemberg. *WaWi WasserWirtschaft* 9/2007.
- Hennegriff, W. et al. (2006): Klimawandel und Hochwasser. Erkenntnisse und Anpassungsstrategien beim Hochwasserschutz. *KA – Abwasser, Abfall* 2006 (53) Nr. 8.
- Hennegriff, W. und Reich, J. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf den Hochwasserschutz in Baden-Württemberg. "Die Gemeinde" (BWGZ) 2/2007.
- Heymann, E. (2007): Klimawandel und Branchen: Manche Mögen's Heiß! Deutsche Bank Research, Aktuelle Themen 388: Energie und Klimawandel.
- Hitchin, E. und Pout, C. (ohne Jahr): Local Cooling: Global Warming? UK Carbon Emissions from Air-Conditioning in the Next Two Decades, CIBSE publication
- Hofman, D. und Brukoff, P. (2006): Insuring Public Finances Against Natural Disasters—A Survey of Options and Recent Initiatives, IMF Working Paper WP/06/199.
- Hofstede, J. (2007): Entwicklung des Meeresspiegels und der Sturmfluten: Ist der anthropogene Klimawandel bereits sichtbar? In: Gönner, G., Pflüger, B., Bremer, J.-A.: Von der Geoarchäologie über die Küstendynamik zum Küstenzonenmanagement. *Coastline Reports* 9 (2007), S. 139-148.
- Hunt, A. (o.J.b): Property and Insurance Case Study. UK Climate Impact Programme.
- Hunt, A. und Taylor, T. (2006): Buildings. Task 3 Report – Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Project E – Quantify the cost of future impacts. *Metroeconomica Limited* for DEFRA.
- Iglesias, A. et al. (2007): Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector. Report to European Commission Directorate – General for Agriculture and Rural Development.
- IMF (2004): World Economic Outlook, International Monetary Fund, Washington D.C.
- IMF (2008a): World Economic Outlook. July (2008). World Economic and Financial Surveys. International Monetary Fund, Washington D.C.
- IMF (2008b): World Economic Outlook. October (2008). World Economic and Financial Surveys. International Monetary Fund, Washington D.C.
- Infras et al. (2007): Auswirkungen des Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft – internationale Einflüsse, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Ittigen.
- IPCC (2000): IPCC Special Report Emissions Scenarios (SRES). Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- IPCC (2007): Fourth Assessment Report. Working Group II. Chapter 8.

IPCC (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2007b): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva.

IPCC (2007c): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge/ New York.

Jacob, D. et al. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Forschungsbericht UFOPLAN-Vorhaben 204 41 138 im Auftrag des UBA.

Jendritzky, G. (2007): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit, in: Endlicher, W. und Gerstengarbe, F. (Hgg.): Der Klimawandel. Berlin 2007, 108–118.

Jonas, M. et al. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland –. Institut für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main, Arbeitsgruppe Klimaforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungsbericht 201 41 254. Climate Change 07/05.

Kemfert C. (2002): An Integrated Assessment Model of Economy-Energy-Climate – The Model WIAGEM, in: Integrated Assessment 2002, Vol. 3, No. 4, S. 281-298.

Kemfert, C. (2008): Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten. DIW Wochenbericht Nr. 12–13/ 2008.

Macroeconomica Limited (2006): Project E – Quantify the cost of impacts and adaptation, Case Study Transport. Studie im Auftrag von Defra.

Marcellis-Warin, N. und Michel-Kerjan, E. (2001): The Public-Private Sector Risk-Sharing in the French Insurance „Cat.Nat.System“, CIRANO Working Paper 2001s-60.

Meier, H. E. M. et al. (2004): Simulated sea level in past and future climates of the Baltic Sea. Climate Research 27, 59–75.

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (2008): Studie aufgrund des Landtagsbeschlusses vom 29.03.2007, Drs. 5/352.

Munich Re (2003): Topics – Jahresrückblick Naturkatastrophen 2002, München.

Munich Re (2003): NatCat Service – Wegweiser durch die Münchner Rück Datenbank der Naturkatastrophen.

Munich Re: Münchner Rück Datenbank der Naturkatastrophen, NatCatSERVICE.

Munich Re (2006): Topics 1/2006: Klimawandel, München.

Munich Re (2007): Zwischen Hoch und Tief, Wetterrisiken in Mitteleuropa, München.

Neumann, J. und Gudera, Th. (2007): Auswirkung der Klimaveränderung auf die Grundwasserneubildung in Süddeutschland. In: Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.): Fachvorträge

- Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. KLIWA-Berichte Heft 10, September 2007, 163–173.
- Nicholls, R. J. und Klein, R. J. T. (2005): Climate change and coastal management on Europe's coast. in: J. E. Vermaat et al. (Eds.): Managing European Coasts; Past, Present and Future. Heidelberg: Springer, 199–225.
- OECD (2006): Cyclically-adjusted budget balances: a methodological note, Organisation of Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD (2007): Climate Change in the European Alps. Adapting winter tourism and natural hazards management. Organisation of Economic Co-operation and Development, Paris.
- Olesen, J. and Bindi, M. (2004): Agricultural Impacts and Adaptations to Climate Change in Europe. Farm Policy Journal 1: 36-46.
- Rahmstorf, S. et al. (2007a): Recent climate observations compared to projections. Science 316: 709.
- Rahmstorf, S. (2007b): A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. Science 315: 367-370.
- Richardson, K. et al. (2009): Synthesis Report. Climate Change Congress Global Risks, Challenges & Decisions. Kopenhagen 10.–12. März 2009.
- Richter, A. et al (2006): Sea-level changes and crustal deformations at the southern Baltic Sea during the last 200 years. – SINCOS project final report, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).
- RKW (2003): Entwicklung eines Instrumenten- bzw. Maßnahmenkataloges zur gleichmäßigen Auslastung der Baukapazitäten auf der Basis von Erfahrungen aus Deutschland und ausgewählten europäischen Ländern. Schlussbericht Januar 2003. Rationalisierungsgemeinschaft „Bauwesen“, Eschborn.
- Rötheli, T. (1993): Exogenes und endogenes Wachstum: ein Streifzug, Jahrbuch für Sozialwissenschaft 44.
- Sachverständigenrat (2007/2008): Das Produktionspotenzial in Deutschland – ein Ansatz für die Mittelfristprognose. Auszug auch dem Jahresgutachten 2007/2008.
- Scharein, M. (2009): persönliche Korrespondenz, Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BIB).
- Scheele, U. (2006): Versorgungssicherheit und Qualitätsstandards in der Wasserversorgung – Neue Herausforderungen unter veränderten Rahmenbedingungen. Diskussionspapier, netWORKS-Papers Heft 23.
- Schellnhuber, H. J. (2008): Global warming: Stop worrying, start panicking? Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105 (38): 14239-14240
- Schmitt, Th. G. et al. (2006): Klimawandel – Konsequenzen für die Siedlungsentwässerung? DWA-Expertengespräch in Hennef. In: KA – Abwasser, Abfall 53,8, 756–759.
- Schwarze, R. und Wagner, G. G. (2002): Hochwasserkatastrophe in Deutschland: Über Soforthilfe hinausdenken, Wochenbericht des DIW Berlin 35/02.

Schwarze, R. und G. G. Wagner (2003): Marktkonforme Versicherungspflicht für Naturkatastrophen – Bausteine einer Elementarschadenversicherung, Wochenbericht des DIW Berlin 12/03.

Spekat, A. et al. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI_OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Forschungsbericht UFOPLAN-Vorhaben 204 41 138 im Auftrag des UBA.

Statistisches Bundesamt (2006): 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung – Annahmen und Ergebnisse, Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2008): Bruttoinlandsprodukt 2007 für Deutschland. http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pk/2008/Bruttoinlandsprodukt/Pressebrochure__BIP2007,property=file.pdf.

Statistisches Bundesamt (2008a): VGR – Anlagevermögen nach Sektoren, Fachserie 18, Reihe 1.4.

Statistisches Bundesamt (2008b): Finanzen und Steuern, Fachserie 14, Reihe 3.1.

Statistisches Bundesamt (2009): Verkehrsunfälle Fachserie 8 Reihe 7 - Auswertung der Daten von 1999 bis 2009.

Statistisches Bundesamt (2009a): Statistisches Jahrbuch 2008.

Statistisches Bundesamt (2009b): Deutsche Wirtschaft 2008.

Stern N. (2006): Stern Review on the Economics of Climate Change, Cabinet Office, HM Treasury, London.

Sterr, H. (2008): Assessment of vulnerability and adaptation to sea-level rise for the coastal zone of Germany. *Journal of Coastal Research* 24,2, 380–393.

Sterr H. (2009): Persönliche Kommunikation zu Wirkungen von Sturmfluten, Universität Kiel.

Stock, M. (2007): Zukunft ist ein Labyrinth. Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus. Stellungnahme zur 32. Sitzung und öffentlichen Anhörung des Ausschusses für Tourismus im Deutschen Bundestag am 09.05.2007

Swiss Re (2006a): Folgen der Klimaänderung: Mehr Sturmschäden in Europa.

Swiss Re (2006b): Hurricane Season 2004: Unusual but not Unexpected.

UBA (2006): Was Sie über vorsorgenden Hochwasserschutz wissen sollten. Umweltbundesamt, Dessau.

UBA (2008): Landwirtschaft. Themenblatt: Anpassung an Klimaänderung in Deutschland. 12/2008. Umweltbundesamt, Dessau.

UNEP (2004): Environment Alert Bulletin – Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. http://www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_heat_wave.en.pdf

University of Oxford (2008): Forced Migration Review – Climate Change and displacement, Oxford Department of International Development, Refugee Studies Centre, Issue 31 2008.

UNWTO (2008). Tourism highlights. 2008 Edition. United Nations World Tourism Organisation 2008.

Van den Hurk, B. et al. (2006): KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), KNMI Scientific Report WR 2006-01.

Van den Noord (2000): The Size and Role of Automatic Fiscal Stabilisers in the 1990s and beyond, OECD Economics Department Working Papers No. 230.

VKU (2009): Stadtwerke sind Partner einer nachhaltigkeitsgerechten Energiepolitik, Pressemitteilung, im Internet abrufbar unter:

<http://www.vku.de/vkuGips/Gips?SessionMandant=VKU&Anwendung=CMSTickerEintrag&Methode=ShowHTMLAusgabe&SessionMandant=VKU&RessourceID=293575&WebPublisher.NavId=586>.

WBGU (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung für globale Umweltveränderungen, Berlin.

WBGU (2007): World in Transition – Climate Change as a Security Risk, Summary for Policymakers, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung, Berlin.

Weber, M. und Hofmann, V. (2006): Potenzialwachstum in Deutschland – Bestandsaufnahme und wirtschaftspolitische Handlungsempfehlungen. Kölner Universitätsverlag.

Weltonline (2007): Heftige Unwetter wüten über Mitteleuropa. Artikel vom 21. Juni 2007. Im Internet abrufbar unter:

http://www.welt.de/vermischtes/article962998/Heftige_Unwetter_wueten_ueber_Mitteleuropa.html.

World Population Prospects (2006): The 2006 Revision. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs, United Nations Secretariat.

Woth, K. et al. (2006): Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models. Ocean Dynamics 56, S. 3-15.

Zebisch, M. et al. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK).

Anhang: Erläuterungen zum Meeresspiegelanstieg

Globaler Meeresspiegelanstieg

Die aktuellen Projektionen des IPCC für den globalen Meeresspiegelanstieg sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Die Zahlen berücksichtigen die thermische Expansion der Ozeane – diese hat unter den gegebenen Annahmen mit 70-75 % den größten Anteil am Meeresspiegelanstieg – sowie das durch den Temperaturanstieg bedingte Abschmelzen von Gletschern und Eisschilden. Nicht voll berücksichtigt, da mit besonders großen Unsicherheiten verbunden, ist hingegen ein möglicherweise beschleunigtes *Fließen* grönländischen und antarktischen Eises. Die Szenariendaten enthalten hierzu lediglich einen pauschalen Wert, der auf der Annahme beruht, dass das Eis zukünftig in derselben Geschwindigkeit fließt wie 1993-2003. Dem IPCC-Bericht zufolge könnte die Fließgeschwindigkeit in Zukunft zu- oder abnehmen, die Unsicherheiten sind jedoch zu groß, um zuverlässige Schätzungen hierüber abzugeben (IPCC 2007b). Als ein möglicher Wert werden allerdings 10 bis 20 cm zusätzlichen Meeresspiegelanstiegs bis 2100 genannt (die sich daraus ergebenden Summen sind in Tabelle 1 kursiv eingefügt).

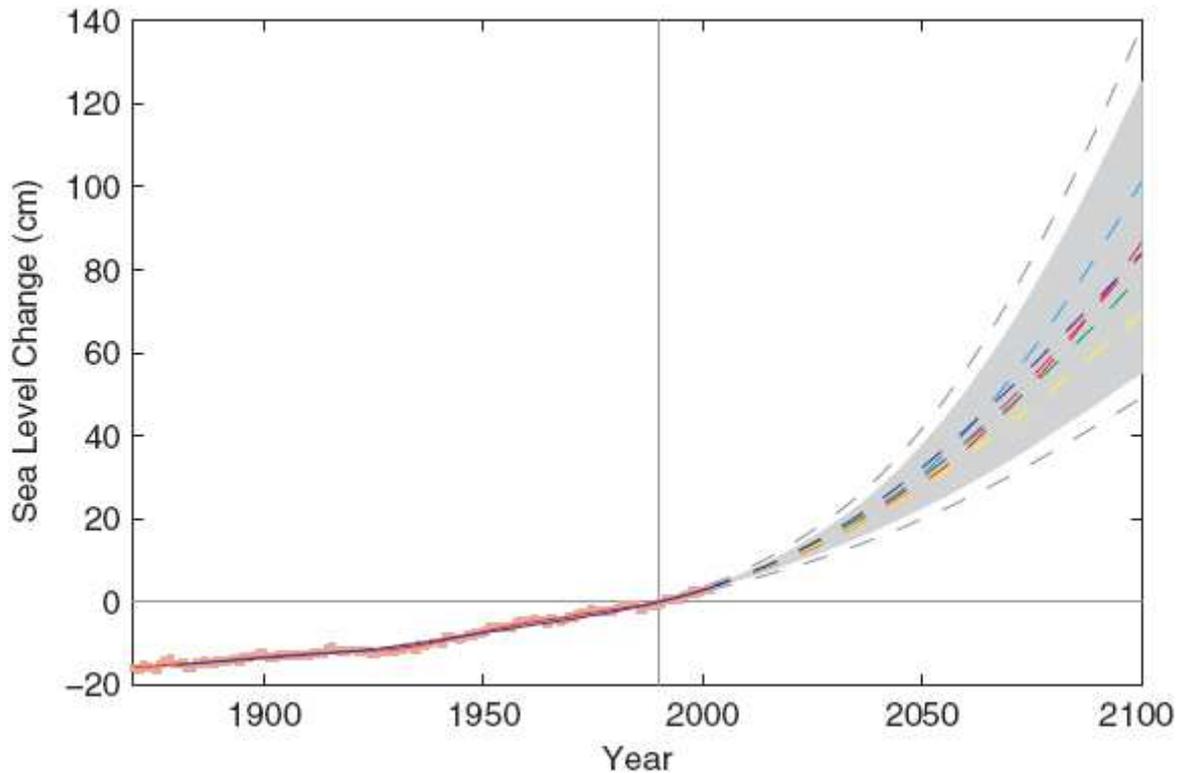
Tabelle 1: Schätzungen des IPCC für den globalen Meeresspiegelanstieg unter den Szenarien B1 und A2, mit und ohne Berücksichtigung rapider Änderungen des Eisflusses. Nach AR4, WG I (IPCC 2007a), Tab. 10.7.

| Szenario | Differenz des Meeresspiegels 2090-2099 gegenüber 1980-1999 (cm) | |
|--|---|-------------|
| | unterer Wert | oberer Wert |
| B1 | 18 | 38 |
| <i>einschließlich beschleunigten Eisfließens</i> | <i>18</i> | <i>47</i> |
| A2 | 23 | 51 |
| <i>einschließlich beschleunigten Eisfließens</i> | <i>22</i> | <i>64</i> |

Erläuterung: Die Zahlen geben jeweils das 5- bis 95-Prozent-Intervall möglichen Meeresspiegelanstiegs innerhalb der jeweiligen Szenarien an.

Neueste Publikationen nennen wesentlich höhere mögliche Werte als der IPCC-Bericht. Rahmstorf (2007a) stellt fest, dass sich der Meeresspiegelanstieg in der Vergangenheit (1881-2001) proportional zum globalen Temperaturanstieg verhalten hat und der Meeresspiegelanstieg seit 1990 der oberen Grenze der IPCC-Schätzungen im Third Assessment Report (TAR, 2001) entsprach. Ausgehend von den Temperaturprojektionen des IPCC Third Assessment Report (2001) und unter der Annahme, dass der Meeresspiegelanstieg weiter in linearer Beziehung zur Temperaturentwicklung steht, kommt er auf einen zukünftigen Meeresspiegelanstieg bis 2100 von mindestens 50 und maximal 140 cm gegenüber 1990. Diese Werte decken die gesamte Bandbreite statistischer Unsicherheiten ab; die für die „Marker“-Szenarien errechneten Werte bewegen sich in einem Bereich zwischen ca. 70 cm für B1 und 100 cm für A1FI (Abbildung 1).

Abbildung 1: Projektionen des globalen Meeresspiegelanstiegs bis 2100 auf Basis der Temperaturprojektionen des IPCC TAR. Aus Rahmstorf (2007a), S. 370.



Erläuterungen: Der grau unterlegte Bereich markiert die Bandbreite des möglichen Anstiegs auf Basis von Temperaturanstiegen zwischen 1,4 und 5,8°C; die gestrichelten grauen Linien entsprechen der Bandbreite des statistischen Fehlers bei der Berechnung der Temperatur-Meeresspiegelbeziehung. Die gestrichelten farbigen Linien markieren die einzelnen Szenarien (hellblau: A1FI, gelb: B1).

Ostsee

Die Ostsee steht nur in begrenztem Austausch mit den Ozeanen. Prognosen für den Meeresspiegelanstieg der Ostsee können daher nicht direkt aus den Szenarien zum weltweiten Meeresspiegelanstieg abgeleitet werden. Wichtige Einflussfaktoren – deren zukünftige Entwicklung mit großen Unsicherheiten behaftet ist – sind die Eisbedeckung, die Niederschlagsmenge und der Salzgehalt.¹⁸⁴ Darüber hinaus ist zu beachten, dass für Fragen des Küstenrückgangs und des Küstenschutzes andere Parameter von mindestens ebenso großer Bedeutung sind wie der Meeresspiegelanstieg. Hierzu zählen Windstärke und -richtung, Sturmhäufigkeit sowie daraus resultierende Wellenrichtung und -höhe. Zur möglichen Entwicklung dieser Parameter gibt es derzeit keine belastbaren Daten.¹⁸⁵

Für die Abschätzung lokaler Meeresspiegelanstiege ist zudem bedeutsam, dass sich die relative Bewegung des Meeresspiegels aus zwei Hauptkomponenten zusammensetzt:

eustatischen Änderungen des Meeresspiegels durch Volumenänderung des Wassers – hierzu trägt der anthropogene Klimawandel bei;

¹⁸⁴ Persönliche Mitteilung Eduardo Zorita (GKSS), 2.10.2008.

¹⁸⁵ Persönliche Mitteilung Holger Janßen, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), 6.10.2008.

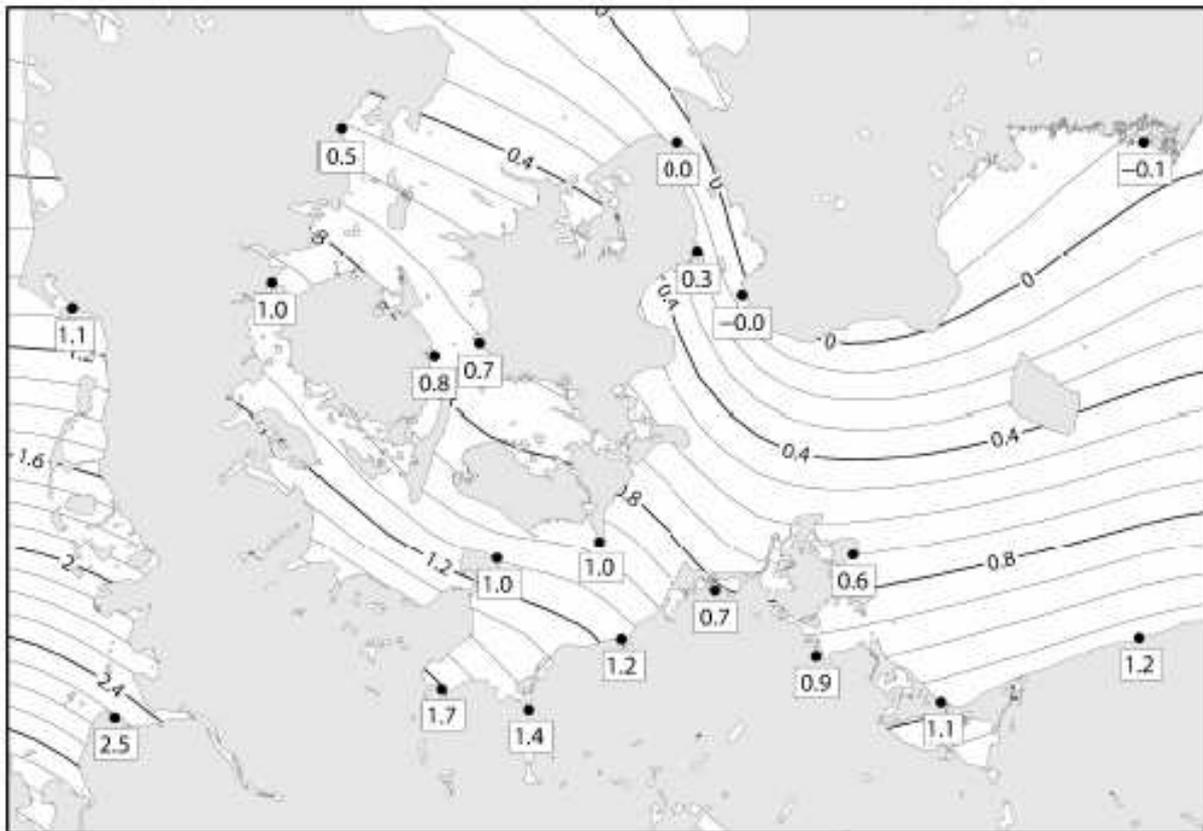
isostatischen Hebungen und Senkungen der Landoberfläche, die sich im Gefolge der Entlastung des Landes von der Eisbedeckung seit der letzten Eiszeit kontinuierlich fortsetzen.

Für den südlichen Teil der Ostsee (also auch die deutsche Küste) wird insgesamt ein Anstieg des Meeresspiegels vorausgesagt, im nördlichen Bereich wird der klimawandelbedingte Anstieg dagegen zunächst durch die Landhebung überkompensiert werden.

Eine aktuelle Studie für Mecklenburg-Vorpommern (ARCADIS 2007) nimmt für die Ostseeküste des Landes die im Vergleich zu den globalen Szenarien relativ zurückhaltende Schätzung eines mittleren Wasserspiegelanstiegs bis 2100 um 20 bis 30 cm vor. Die Voraussage gründet sich einerseits auf lokalen Messungen des bisherigen Meeresspiegelanstiegs, andererseits auf den IPCC-Berichten (TAR und AR4). Aus den IPCC-Berichten werden jedoch augenscheinlich lediglich die Angaben des IPCC für die vergangenen 100 Jahre berücksichtigt und extrapoliert, jedoch nicht die Projektionen des zukünftigen Meeresspiegelanstiegs unter den SRES-Szenarien. Die 30 cm als oberer Schätzwert decken sich mit dem in Schleswig-Holstein derzeit angesetzten „Klimazuschlag“ für die Bemessung der Deichhöhen an der Ostsee (Hofstede 2007).

Da die isostatischen Hebungs- und Senkungsbewegungen des Landes über längere Zeiträume konstant bleiben, kann aus den für die Vergangenheit festgestellten Unterschieden des Meeresspiegelanstiegs auch auf die zukünftige regionale Differenzierung geschlossen werden (Abbildung 2). Demnach würde der Meeresspiegelanstieg bis zum Jahr 2100 für den südwestlichsten Teil der Ostseeküste um bis zu 11 cm geringer ausfallen wird als auf Rügen.

Abbildung 2: Relative Meeresspiegeländerung im Bereich der südlichen Ostsee nach Auswertung von Langzeitmessungen (Angaben in mm/Jahr). Aus Richter et al. 2006.



Nordsee

An der schleswig-holsteinischen Nordseeküste beträgt der im aktuellen Generalplan Küstenschutz (2001) festgesetzte „Klimazuschlag“ für die Bemessung der Deichhöhe 50 cm. Aus den Niederlanden liegen für den möglichen Meeresspiegelanstieg an der Nordseeküste detaillierte aktuelle Studien vor: zum einen der Bericht der „Delta-Kommission“ zum Küstenschutz (Deltacommissie 2008), zum anderen der Bericht des Königlichen Meteorologischen Instituts zum Klimawandel (KNMI; Van den Hurk et al. 2006). Die Ergebnisse sind in 12 zusammengefasst.

Die Delta-Kommission nennt 0,65 bis 1,3 m als „plausible Obergrenzen“ für den Meeresspiegelanstieg in den Niederlanden bis 2100. Dies bezieht sich auf das IPCC-Szenario A1FI, unter dem nach dem IPCC-Bericht die stärksten Klimaänderungen erfolgen. Die gegenüber dem IPCC-Bericht wesentlich höheren Werte ergeben sich im Wesentlichen aus höheren Werten für den angenommenen Eisfluss. Daneben werden dem globalen IPCC-Wert rund 10 cm für den regionalen erwärmungsbedingten Meeresspiegelanstieg hinzugeschlagen. Als nicht-klimawandelbedingte Komponente werden 10 cm isostatische Absenkung des Untergrundes angenommen. Der Nettoeffekt des Klimawandels liegt damit bei 0,55 bis 1,2 m für das extremste Klimawandelszenario.

Das KNMI präsentiert zwei unterschiedliche Szenarien („low“ und „high“), die nicht direkt einzelnen SRES-Szenarien entsprechen, sondern vielmehr ein 10- bis 90-Prozent-

Wahrscheinlichkeitsintervall der IPCC-Modellierungen für drei unterschiedliche Szenarien (A1B, B1 und A2) zugrunde legen. Auch für das „high“ Szenario werden niedrigere Werte als im Szenario der Delta-Kommission errechnet. Das liegt daran, dass letzteres zum einen eine größere Temperaturspanne und zum anderen eine größere zugrunde Spanne für das Abschmelzen des Eises zugrunde legt.

Tabelle 2: Projektionen des Meeresspiegelanstiegs der Nordsee für die Niederlande bis 2100 (kursiv: 2050). Quellen: Deltacommissie 2008, Van den Hurk et al. 2006.

| | Temperaturanstieg (°C) | Meeresspiegelanstieg (cm) | |
|----------------|------------------------|---------------------------|-------------|
| | | unterer Wert | oberer Wert |
| KNMI „low“ | 2 | 19,6 | 33,9 |
| <i>2050</i> | <i>1</i> | <i>15,6</i> | <i>24,6</i> |
| KNMI „high“ | 4 | 42,0 | 84,0 |
| <i>2050</i> | <i>2</i> | <i>34,9</i> | <i>59,5</i> |
| Deltacommissie | 2-6 | 55 | 120 |

Erläuterungen: Werte ohne Berücksichtigung isostatischer Bewegungen der Landoberfläche. KNMI „low“ entspricht der 10%-Wahrscheinlichkeitsgrenze der IPCC-Modellierungen für die Szenarien A1B, B1 und A2 (Zwischenergebnisse des Fourth Assessment Reports), „high“ der 90%-Wahrscheinlichkeitsgrenze. Deltacommissie basiert auf A1FI-Szenario. Referenzjahr für KNMI ist 1990, für Deltacommissie nicht ausdrücklich angegeben.