



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

### **Kurzfassung**

**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](mailto:katharina.umpfenbach@ecologic.eu)**

# EXECUTIVE SUMMARY

Climate change is one of the major challenges of this century. According to the projections of the IPCC, global average temperature might increase up to 6°C by the end of the century if greenhouse gas emissions continue to rise unabated. Various studies have confirmed that even if warming can be contained at a lower level, significant impacts will result for public health and most economic sectors.

For the first time, this study for the German Federal Ministry of Finance analyses how these impacts will affect the sustainability of public finances. Fiscal consequences of climate change are of special interest, given that demographic change will already put a large burden on public finances in the coming decades.

The study builds on the global IPCC's SRES scenarios B1 and A2 that represent a lower and an upper bound of future greenhouse gas emissions. To determine the regional climate impacts in Germany, we used the projections generated by the regional climate models WETTREG and REMO. Finally, a socio-economic baseline scenario for Germany was developed based on projections by the German Ministry of Finance regarding demographic change and future economic growth. Expected economic damages as well as positive effects of climate change could then be expressed as a derivation from the baseline scenario. The study pursued combined qualitative and quantitative approaches to analyse the impact of both direct and indirect impacts on public finances:

- **Direct impacts** occur through an increase of public spending. For example, adaptation measures to meet rising sea levels or repair damage to public infrastructure after extreme events (storms, flooding, etc.) require financial resources from public authorities.
- **Indirect impacts** occur on the income side of the budget. In several economic sectors, unabated climate change might reduce productivity and value added and thus lower tax revenues. The investment needs for adaptation measures and for damage repair tie up capital that is no longer available for more productive investments. This reduces the growth potential of the economy in the longer run. On the other hand, climate change is likely to also generate a limited number of benefits for the German economy, primarily in regard to tourism.

Socio-economic impacts were assessed through ten case studies, which formed the data basis for the following aggregation and extrapolation. Eight of these case studies investigated the sectors likely to be most affected, i.e. damage to buildings, agriculture and forestry, energy supply, water supply, tourism, transport, insurance and the health sector. Two cross-sectoral case studies looked at the impacts of rising sea levels and the effects transmitted through international trade.

A key part of the analysis was to depict the causal chains involved, including the role of adaptation measures in the process, and the uncertainty that is accumulated along these causal chains. To achieve this, in a first step, the elements of the causal chains were described in qualitative and, where possible, quantitative terms in order to identify significant

impacts. In a second step, the evidence gained was combined through a Monte-Carlo-Analysis for the years 2050 and 2100.

According to our estimates, climate change will have a considerable impact on public finances: In 2100 falling revenues and increased spending could result in a negative impact on the public budget equivalent to a GDP loss of 0.6 to 2.5% compared to the reference scenario. In respect to 2050, a more ambivalent picture emerges: Depending on the assumptions for different impact categories, climate change could either have a slightly positive effect on public spending – equivalent to a GDP gain of 0.05 % – or result in a loss of up to 0.3% of GDP.

The study results present a detailed picture of the range of likely budget impacts, the key drivers and the associated probabilities. Most notably, it emerged that the effects transmitted through international trade (falling demand for exports) are the most sizeable negative impact, whereas tourism is expected to benefit significantly. A first comparison with the implications of demographic change for public finances in Germany shows that climate change could eventually become an equally heavy burden. However, the peaks of those two burdens will hit the public finances at different times. In 2050, when public finances are highly strained by the additional spending for the ageing population, climate change will only have its first noticeable impacts in Germany. However, towards the end of the century, the fiscal effects of climate change are expected to increase significantly.

# KURZFASSUNG

## Problemstellung

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 Klima-beobachtungen legen zudem nahe, dass die Erwärmung schneller voranschreitet und größere Auswirkungen zeitigen wird als bislang vermutet. Die möglichen Folgen dieser globalen Veränderung und die damit verbundenen Kosten sowie mögliche Handlungsoptionen wurden in verschiedenen Studien ausführlich analysiert. 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 einzelner, besonders exponierter Sektoren untersucht wird. Integrierte gesamtwirtschaftliche Betrachtungen für Deutschland sind bisher rar, eine Ausnahme bildet die Analyse von Kemfert (2002) mit dem Modell WIAGEM.

Der in dieser Studie verfolgte Ansatz einer Kombination von qualitativer und quantitativer Analyse der ökonomischen Folgen des Klimawandels für die öffentlichen Haushalte, findet sich in der Literatur bisher nicht. Dies ist insofern erstaunlich, da der Staat und die öffentliche 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 Katastrophenvorsorge, wie z.B. notwendige Verbesserungen im Hochwasserschutz oder etwa Anpassungen der Infrastruktur an die neuen Belastungen. 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 demografischen Wandel zeitlich zusammentreffen.

Neben zahlreichen negativen Folgen kann der Klimawandel in Deutschland auch zu positiven Wirkungen führen. Hierunter fallen potentiell höhere Erträge in der Landwirtschaft durch längere Wachstumsperioden, zunehmender Sommertourismus sowie Einsparungen durch verminderten Heizbedarf in milderem Wintern. Ziel dieser Untersuchung ist es, die Bandbreite der Auswirkungen zu berücksichtigen und die wichtigsten positiven und negativen Wirkungen zu aggregieren, um so schließlich die Gesamtwirkung auf die öffentlichen Haushalte abzuschätzen.

## Methodik

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

Zentrale Aufgabe bei der vorliegenden Fragestellung ist die Reduktion der Komplexität der Wirkungszusammenhänge und der mit den jeweiligen Wirkungen verbundenen Unsicherheiten. Daher verwenden wir ein zweistufiges Verfahren. In einem ersten Schritt untersuchen wir die Auswirkungen des Klimawandels auf relevante Wirtschafts- und Lebensbereiche in Form von zehn Fallstudien. In jeder Fallstudie haben wir die kausalen Wirkungspfade in qualitativer und soweit möglich auch quantitativer Form anhand der vorliegenden Literatur nachgezeichnet und in Wirkungspfaddiagrammen zusammenfassend dargestellt. Acht Fallstudien analysierten die am stärksten betroffenen Sektoren Gebäude, Land- und Forstwirtschaft, Energieversorgung, Wasserversorgung, Tourismus, Verkehr, Versicherungen und den Gesundheitssektor. Zwei übergreifende Fallstudien analysierten die Effekte des Meeresspiegelanstiegs sowie die Effekte über die internationalen Handelsströme. Die Bandbreite der Fallstudien deckt alle für die öffentlichen Haushalte relevanten Bereiche ab, in denen signifikante Klimaauswirkungen zu erwarten sind.

Um der Komplexität der Wechselwirkungen zwischen Klimasystem, Wirtschaft und öffentlichem Haushalt gerecht zu werden, gliedert sich jede Fallstudie in vier aufeinanderfolgende Schritte:

1. Relevante klimatische und physische Veränderungen;
2. Sozio-ökonomische Auswirkungen;
3. Anpassungsoptionen;
4. Auswirkungen auf Einnahmen und Ausgaben der öffentlichen Hand.

Die so gewonnenen (sektoralen) quantitativen Informationen fließen in einer zweiten Stufe in eine **Monte-Carlo-Analyse** der klimabedingten Kosten und Nutzen für die öffentlichen Haushalte für die Jahre 2050 und 2100 ein. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten können mit diesem Verfahren Angaben zu den möglichen aggregierten Bandbreiten der Klimawirkungen für die öffentliche Hand berechnet werden.

Als eine methodische Herausforderung erwies sich die Frage, wie in der Analyse mit **Anpassungen an den Klimawandel** umgegangen werden soll. Offensichtlich ist, dass in vielen Bereichen eine Anpassung stattfinden wird. Die Unternehmen, die öffentliche Hand sowie die privaten Haushalte werden 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 vielen anderen Bereichen ist jedoch noch nicht abzusehen, wie schnell, in welcher Form und mit welchem Erfolg Anpassung erfolgen wird. Da eine detaillierte ökonomische Kosten-Nutzen-Bewertung der Vielzahl möglicher Anpassungsmaßnahmen nicht Ziel der Studie war, sind wir für die Quantifizierungen grundsätzlich von einem Szenario ohne Anpassung ausgegangen. Die Ausnahme bilden hierbei Kostenschätzungen für die Ausweitung bestehender Schutz- und Anpassungsmaßnahmen, die mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit umgesetzt werden (wie beispielsweise Deiche oder erweiterte Abwasserversorgungssysteme). Diese wurden in der Quantifizierung berücksichtigt, sofern geeignete Daten vorlagen.

Neue und bisher unerprobte Anpassungsinstrumente wurden qualitativ beschrieben, um die Handlungsspielräume der beteiligten Akteure zu illustrieren und Fälle zu untersuchen, in denen qualitativ neue Aufgaben auf den Staat zukommen könnten, weil private Märkte versagen (z.B. Grenzen der Versicherbarkeit).

Bei der Untersuchung der **Wirkungen auf die öffentlichen Finanzen** unterscheiden wir zwischen direkten Wirkungen, die die Ausgabenlast des Staates verändern, und indirekten Wirkungen, die die Einnahmenseite beeinflussen:

**Ausgabenseite:** Die Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen und der Wiederaufbau von Infrastrukturen nach Extremereignissen kann zu neuen Belastungen für die öffentlichen Haushalte führen. Darüber hinaus können auf die öffentliche Hand verstärkte Hilfszahlungen zukommen, wenn Extremereignisse wie Überschwemmungen oder starke Stürme zu nicht-versicherten Schäden bei Privaten führen. Gleichzeitig kann es aufgrund von positiven Effekten auch zu Entlastungen kommen.

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

Die Quantifizierung der Wirkungen beruht auf der Annahme, dass steigenden Schäden durch den Klimawandel Zusatzkosten in der Wirtschaft nach sich ziehen. Für die Anpassungsmaßnahmen, die Reparatur von Schäden oder den vorzeitigen Ersatz im Kapitalstock werden Mittel von Haushalten, Unternehmen und dem öffentlichen Sektor benötigt. Dabei wird z.B. vermehrt Kapital für den Wiederaufbau und die Anpassung von öffentlicher Infrastruktur gebunden ohne jedoch dabei das Schutzniveau gegenüber heute zu verbessern. Diese Finanzmittel hätten in einem Referenzszenario ohne Klimawandel frei zur Verfügung gestanden und wären vom Staat und den Unternehmen für andere Zwecke verwendet worden. Das bedeutet, der Klimawandel führt dazu, dass ein Teil des Investitionskapitals für „unproduktive“ Reparatur- und Schadensbehebungsmaßnahmen eingesetzt werden muss und dadurch produktivere Investitionen etwa in Bildung oder den technologischen Fortschritt verdrängt werden. Diese durch den Klimawandel bedingten Investitionen sind zwar kurzfristig durchaus direkt wachstumswirksam, mindern jedoch langfristig das Wachstumspotenzial der Wirtschaft im Vergleich zu einer Referenzentwicklung ohne Klimawandel. Zudem führen der Klimawandel und klimabedingte Extremereignisse zu einem kürzeren Lebenszyklus von Investitionen, insbesondere im Bereich der Infrastruktur. Diese Wirkungen des Klimawandels auf die Produktionsbedingungen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit strukturell und andauernd und deshalb von einmaligen bzw. zeitlich beschränkten Schocks wie z.B. einer 100-jährigen Flut an der Nordsee oder der Ölkrise der 70er Jahre abzugrenzen.

## **Szenariendefinition**

Die Szenarien des IPCC liefern das global aggregierte Gerüst für unsere Analyse. Dazu gehören sowohl die Annahmen zur sozio-ökonomischen Entwicklung als auch zu den globalen Treibhausgasemissionen, die den Klimawandel antreiben. Für die Abschätzung der Folgen des Klimawandels in Deutschland benötigen wir zusätzlich ein nationales

Referenzszenario, das die sozio-ökonomische Entwicklung Deutschlands bis 2100 in einer Welt ohne Klimawandel beschreibt. Das Referenzszenario erlaubt es, klimabedingte Kosten und BIP-Verluste sowie positive Effekte als Differenz zum Referenzszenario auszudrücken.

Die Ursachen des Klimawandels sind globaler Natur; die Auswirkungen werden dagegen regional sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Im Auftrag des Umweltbundsamtes sind bisher zwei grundlegende Studien zur Erstellung von regionalen Klimaszenariendaten für Deutschland bis zum Jahr 2100 durchgeführt worden. Zum einen hat das Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg das **Regionalmodell REMO** eingesetzt, das die dynamischen Vorgänge in der Atmosphäre abbildet (Jacob et al. 2008), während das **statistische Modell WETTREG** der Firma CEC Potsdam statistische Wechselbeziehungen bisheriger Klima-beobachtungen verwendet (Spekat et al. 2007).

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 Klimaprognosen für Deutschland vor und auch die bisherigen Kostenschätzungen beruhen auf diesen Szenarien. Um die möglichen Auswirkungen auf die deutsche Volkswirtschaft in der ganzen Breite darzustellen zu können, wählten wir daher für unsere Untersuchung die beiden Extremszenarien **B1 und A2**.

Tabelle 1 fasst die Eckdaten der definierten Szenarien zusammen, auf deren Grundlage wir die Auswirkungen des Klimawandels auf Wirtschaft und öffentliche Hand abgeschätzt haben.

**Tabelle 1: 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 <sub>2</sub> -Emissionen	nicht relevant		B1: 11 Mrd. tC A2: 17.5 Mrd. tC	4 Mrd. tC 29 Mrd. tC
Temperatur	1,5°C [1,0–1,6]	2°C [1,5–3,5]		1,1 – 5,4 °C
Niederschlag	Jahresmittel +/-0 Winter: +7–14% Sommer: -12–16%	Jahresmittel: +/-0 Winter: +15–35% Sommer: -15–35%		starke regionale Unterschiede: -20 – +20%
Meeresspiegel- anstieg		20–100 cm		IPCC: 0,18–0,51 cm Lit.: bis 140 cm

Wichtige Aspekte sind hier zum einen die Veränderung der Mittelwerte für Temperatur, Niederschlag und Meeresspiegelanstieg, die die Modelle REMO und WETTREG prognostizieren können. Zum anderen ist jedoch für die Abschätzung sozio-ökonomischen Folgen des Klimawandels entscheidend, wie sich die Eintrittswahrscheinlichkeit von Extremereignissen verändert. In mehreren Fallstudien ist eine Quantifizierung für die betrachteten Zeitpunkte nur über die Hochrechnung von Schäden bisheriger Hitzewellen, Hochwasser oder Stürme möglich. Bisher kann die Klimaforschung auf regionaler Ebene nur über die Eintrittswahrscheinlichkeit von Hitzewellen relativ sichere Aussagen treffen. Die Wahrscheinlichkeiten für zukünftige Hochwasserereignisse und Stürme sind dagegen in den Klimamodellen noch nicht prognostizierbar und wurden deshalb basierend auf Expertenmeinungen geschätzt.

## Ergebnisse der Fallstudien

Im Ergebnis zeigt die Fallstudienanalyse, 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. Im Folgenden werden kurz die Hauptergebnisse jeder Fallstudie skizziert.










**Tabelle 2: 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	

- Aus Sicht der öffentlichen Haushalte wirkt sich der **Meeresspiegelanstieg** hauptsächlich durch steigende Kosten für Schutzmaßnahmen sowie über Schäden bei Sturmfluten aus. Beide Wirkungen wurden quantifiziert. Dazu kommen weitere Anpassungsmaßnahmen (raumplanerische Maßnahmen, Verlagerung Infrastruktur, Drainage), die wir hier noch nicht berücksichtigt haben, da keine belastbaren 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 3: 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 Grundqualitativer Überlegung
	2050	2100	
Meerespiegelanstieg	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	
Wasserwirtschaft	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 die großen Unterschiede in der regionalen Ausprägung der Effekte keine Aggregation zulassen. Ferner besteht große Unsicherheit in bezug auf die Entwicklung der zukünftigen Weltmarktpreise für Agrarprodukte. Insgesamt sind in der Landwirtschaft, zumindest mittelfristig, positive Einkommenseffekte wahrscheinlich. 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. Die Trinkwasserversorgung scheint durch den Klimawandel kaum gefährdet. Nicht quantifiziert wurden dagegen mögliche Mehraufwendungen für

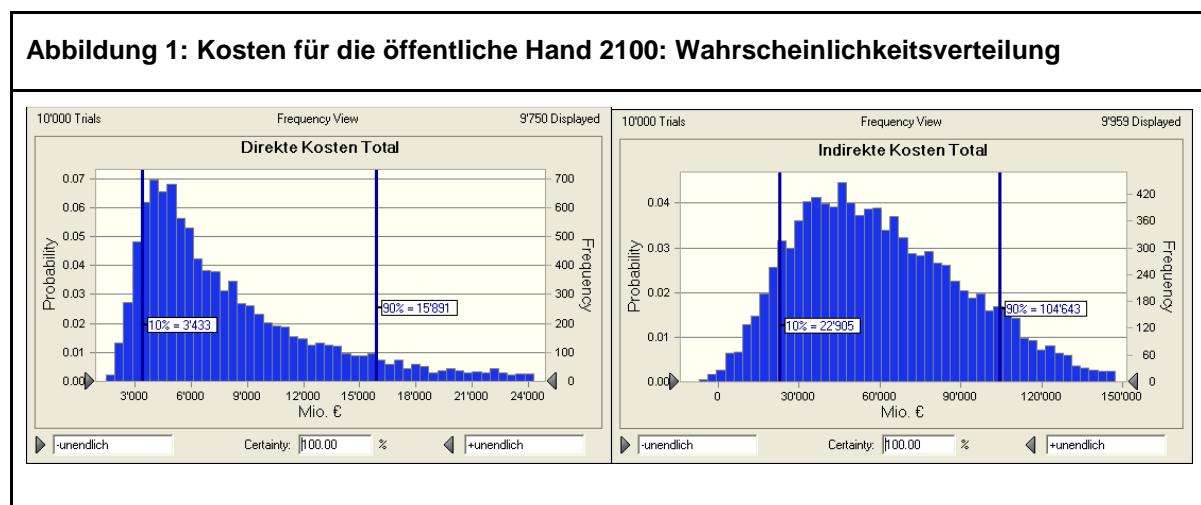
die Aufrechterhaltung einer gleichbleibenden Wasserqualität unter schwierigeren Bedingungen.

- 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 der Verbrauch durch Kühlung steigt. Mildere Winter führen dagegen zu sinkenden Heizkosten.
- Bei den Schätzungen für den **Verkehrssektor** konnten wir sowohl die Schäden an der Infrastruktur, BIP-Verluste durch Verspätungen als auch die rückläufigen Kosten für den Winterdienst quantifizieren. Unberücksichtigt 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 betrachtet.
- Auf der Ausgabenseite im Bereich **Gebäude** erscheint es möglich, dass neben den hier betrachteten Schäden durch Hochwasser und Sturm weitere Kosten, z.B. durch Bodenabsenkungen bei extremer Hitze entstehen. Zudem hängt die Höhe der staatlichen Hilfszahlungen stark von der zukünftigen Versicherungsdichte ab. Zum Rückgang von Frostschäden an Gebäuden gibt es bisher keine Erkenntnisse. Hier könnten sich im begrenzten Umfang Kostensenkungen ergeben.
- Der Einfluss auf die öffentliche Hand über die Belastungen im **Versicherungssektor** konnte in dieser Studie nicht quantifiziert werden. Die Wirkungen sind stark davon abhängig, ob der Klimawandel die Versicherer an die Grenzen ihrer wirtschaftlichen Belastbarkeit bringt, in wieweit neue Finanzmarktinstrumente genutzt werden können und wie staatliche Vorgaben zukünftig die Anreizstruktur verändern. Insgesamt verfügt dieser Einflussbereich über erhebliches Potential zur Erhöhung der staatlichen Ausgaben.
- Bei den **internationalen Kanälen** sind nur die fiskalischen Wirkungen, die sich über Warenexporte ergeben, quantifiziert worden. Weitere Einflusskanäle, wie die Wirkungen auf die Dienstleistungsexporte, die Zunahme von Migration, Wirkungen über den Devisen- und Kapitalmarkt sowie eine mögliche Verschlechterung der internationalen Sicherheitslage wurden nicht berücksichtigt. Insgesamt können diese nicht quantifizierten Effekte sowohl auf der Einnahmen- als auch auf der Ausgabenseite zu erheblichen zusätzlichen Belastungen führen.

## Ergebnisse der Gesamtbetrachtung

Für die vorliegende Studie wurde die Monte-Carlo-Simulation wie folgt ausgestaltet: In einem ersten Schritt haben wir zu den Angaben zur Temperaturerhöhung bis zum Jahr 2050 bzw. 2100 jeweils eine Bandbreite und eine Wahrscheinlichkeitsverteilung bestimmt. 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. Gemäß den

Fallstudien in den bisherigen Kapiteln wird auch bei der Monte-Carlo-Analyse zwischen den direkten und den indirekten Kosten bzw. Nutzen unterschieden (Abbildung 2).



Die Verteilung der berechneten Gesamtkosten verdeutlicht, dass die direkten Wirkungen besser abgeschätzt werden können und in der Größenordnung gesicherter sind. Bei beiden Kategorien gibt es aber 2100 mit Sicherheit negative Einflüsse auf die öffentlichen Finanzen und mit hoher Wahrscheinlichkeit in erheblichem Umfang. Vor allem bei den direkten Kosten im Jahr 2100 liegen sehr hohe Schadenswerte weit außerhalb des 90%-Bereichs. Diese Ereignisse sind statistisch nicht sehr wahrscheinlich, sollten aber in Überlegungen als Worst-Case-Szenario mit einfließen.

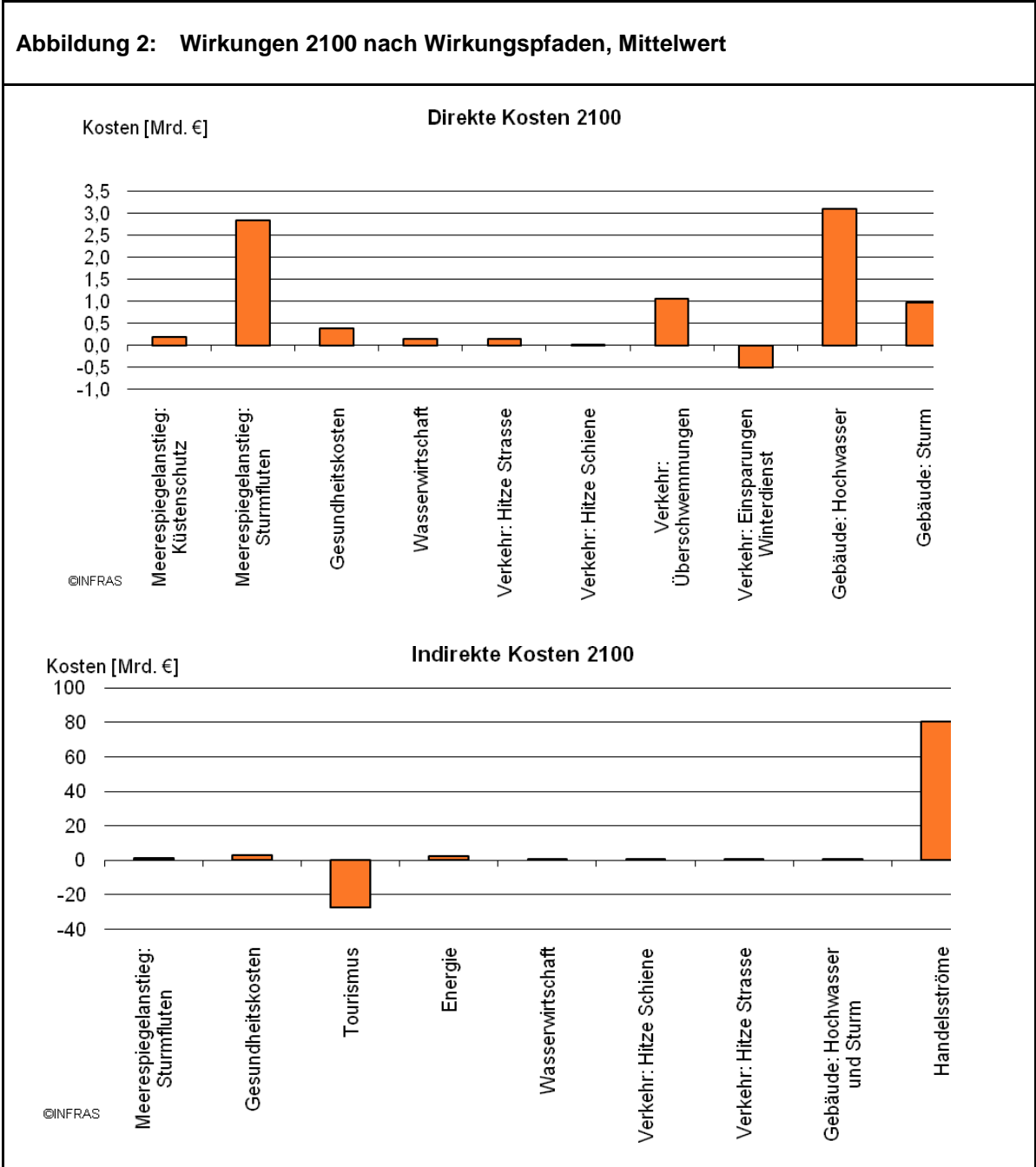
**Tabelle 4: Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentliche Hand, 2100**

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

Basierend auf den quantifizierten Einflusskanälen ist zu erwarten, dass der Klimawandel in der Summe der direkten und indirekten Wirkungen die öffentlichen Finanzen im Jahr 2100 in einer Größenordnung zwischen 27 Mrd. Euro und 120 Mrd. Euro belasten könnte (zu heutigen Preisen). Dies entspricht etwa 1,3% bis 5,7% des Staatshaushalts. Ausgedrückt als ein Anteil des BIP handelt es sich um eine Belastung in Höhe von 0,6% bis 2,5% des BIP.

Für 2050 ergibt die Gesamtbetrachtung dagegen ein ambivalentes Bild. Je nachdem, welche Wahrscheinlichkeit für die unterschiedlichen Wirkungen angenommen wird, könnte sich im Jahr 2050, eine Entlastung der öffentlichen Hand in Höhe von 0,2% der voraussichtlichen Ausgaben oder eine Mehrbelastung von bis zu 0,6% ergeben. In Bezug zum BIP entspricht dies einer Entlastung von -0,1 bzw. einer Belastung von 0,25% des BIP.

**Abbildung 2: Wirkungen 2100 nach Wirkungspfaden, Mittelwert**



Betrachtet man die Ergebnisse auf Sektorebene (Abbildung 2), 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 Regionen. Gemessen an der quantitativen Wirkung, ist der Tourismus der zweitwichtigste Wirtschaftsbereich – 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 wir in dieser Studie von einer Quantifizierung abgesehen haben. 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 (Beeinträchtigung des Wachstumspotenzials) 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.

Einerseits überschätzen die genannten Werte vermutlich die tatsächlichen zu erwartenden Wirkungen, weil gut durchdachte Anpassungsmaßnahmen die Belastung für den Staatshaushalt eindämmen können. Auch liegen bisher nur spärliche Informationen zum Umfang potentiell positiver Wirkungen vor, die die negativen Effekte – zumindest mittelfristig – teilweise kompensieren könnten. Auf der anderen Seite bleiben 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.

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.

## **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 Vermeidungsmaßnahmen zur Begrenzung des Klimawandels weltweit und damit des

Meeresspiegelanstiegs zu mindern. Mögliche Anpassungsmaßnahmen können 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.