

---

# Ökonomie der Anpassung an den Klimawandel

---

---

Pissarskoi, Eugen; von Möllendorff, Charlotte

## Literaturauswertung

**Bewertung von Klimafolgen und Kosten-Nutzen-Analysen von  
Anpassungsstrategien in Deutschland**

---

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



| i | ö | w

INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE  
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

# Impressum

## **Autor/innen:**

Eugen Pissarskoi (IÖW), Charlotte von Möllendorff (IÖW)

## **Projektleitung:**

**Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, gemeinnützig**

*Gesamtprojektleitung:* Dr. Jesko Hirschfeld (jesko.hirschfeld@ioew.de)

*Mitarbeiter:* Ulrich Petschow, Dr. Eugen Pissarskoi, André Schröder

*Öffentlichkeitsarbeit:* Richard Harnisch

**[www.ioew.de](http://www.ioew.de)**

## **Kooperationspartner:**

**Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH**

*Mitarbeiter/innen:* Dr. Ulrike Lehr, Dr. Christian Lutz, Dr. Thomas Drosdowski, Anne Nieters

**[www.gws-os.com](http://www.gws-os.com)**

**Humboldt Universität zu Berlin**

**Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Department für Agrarökonomie,  
Fachgebiet Ressourcenökonomie**

*Mitarbeiter:* Prof. Dr. Dr. h.c. Konrad Hagedorn, Prof. Andreas Thiel (PhD), Matteo Roggero (PhD)

**[www.agrar.hu-berlin.de](http://www.agrar.hu-berlin.de)**

## **Zitiervorschlag**

Pissarskoi, Eugen; von Möllendorff, Charlotte (2013): Ökonomie der Anpassung an den Klimawandel – Literaturlauswertung zu Bewertung von Klimafolgen und Kosten-Nutzen-Analysen von Anpassungsstrategien in Deutschland, Berlin, Download: [www.oekonomie-klimawandel.de](http://www.oekonomie-klimawandel.de)

Der vorliegende Beitrag entstand im Forschungsprojekt „Ökonomie der Anpassung an den Klimawandel – Integration ökonomischer Modellierungen und institutioneller Analyse auf verschiedenen Ebenen“. Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Förderschwerpunkt "Ökonomie des Klimawandels" (Förderkennzeichen 01LA1137).

Für nähere Informationen zum Projekt: [www.oekonomie-klimawandel.de](http://www.oekonomie-klimawandel.de)

Berlin, 2013

## Zusammenfassung

Die vorliegende Studie liefert einen Überblick über den Stand der Literatur zur Bewertung von Klimafolgen und Kosten-Nutzen-Analysen von Anpassungsstrategien in Deutschland. Die identifizierten Studien, die eine konkrete ökonomische Bewertung vornehmen, werden in Hinblick auf ihre Methoden und Modelle analysiert. Aufgrund der geringen Anzahl an gesamtwirtschaftlichen Studien erfolgt zusätzlich eine sektorale Betrachtung in Bezug auf den Hochwasser- und Küstenschutz sowie den Gesundheitsbereich. Die beiden Sektoren unterscheiden sich sehr stark voneinander und vermitteln somit einen Eindruck der vielfältigen Herausforderungen, mit denen die Bewertung von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen einhergeht. Küsten- und Hochwasserschutz werden bereits seit langer Zeit betrieben, weshalb der Klimaschutz und die Klimaanpassung an eine laufende Debatte anknüpfen. Hingegen steht der Gesundheitssektor vor der Schwierigkeit, Schäden zu bewerten, für die keine Marktpreise existieren.

Die Literaturübersicht zeigt, dass im Bereich der Bewertung von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen eine große Forschungslücke besteht, die womöglich auch methodischen Schwierigkeiten geschuldet ist. Hierbei sind insbesondere der Umgang mit Unsicherheiten hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen, die intertemporale Diskontierung sowie die methodischen Schwierigkeiten bei der Bewertung nicht-marktfähiger Güter zu nennen. Die bestehende Literatur kann aufgrund dessen nur unzureichend Aufschluss geben über Kosten und Nutzen von Klimaschutz und Anpassungsmaßnahmen in Deutschland. Den sektoralen Studien gelingt es partiell, Erkenntnisse über Nutzen-Kosten-Verhältnisse konkreter Anpassungsmaßnahmen zu liefern, jedoch weichen auch hier die Werte der einzelnen Studien aufgrund methodischer Unterschiede und vereinfachender Modellannahmen stark voneinander ab.

## Abstract

This paper gives a summary of the current state of research with regard to the valuation of climate impacts and cost-benefit analyses of adaptation strategies in Germany. The relatively small amount of studies that conduct a concrete valuation are analyzed with regard to the methods and models applied. Because of the limited number of macroeconomic studies we also took a sectoral view on coastal and flood protection as well as health-related issues. Both sectors are quite different with many respects and thus give a good impression of the diverse challenges associated with the valuation of climate impacts and adaptation measures. As regards coastal and flood protection, climate change amplifies an already existing difficulty and thus ties in with an ongoing debate, while the health sector faces the challenge of valuing damages where no market prices exist. The literature review shows that there is a huge gap in research focusing on the valuation of climate impacts which may at least partly be due to methodological problems. This includes the question on how to handle uncertainties with regard to future developments, matters of intertemporal discounting as well as methodological difficulties in valuing non-marketable goods. Consequently, the existing literature can only give a deficient picture on climate impacts and the cost and benefits involved in taking adaptation measures in Germany. The sectoral studies give some helpful insights by calculating benefit-cost ratios for particular adaptation measures. However, owing to methodological disparities and varying model assumptions the values estimated by the individual studies differ widely.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Sektorübergreifende Studien zu Klimafolgen in Deutschland</b> .....	<b>9</b>
2.1 Studien, die eine monetäre Bewertung vornehmen .....	13
2.1.1 Überblick über die Methoden .....	14
2.1.2 Unsicherheiten über die klimatischen und sozialen Auswirkungen .....	14
2.1.3 Bewertung von Auswirkungen .....	15
2.2 Fazit zu sektorübergreifenden Studien .....	17
<b>3 Sektorale Perspektive</b> .....	<b>19</b>
3.1 Einleitung .....	19
3.2 Küsten- und Hochwasserschutz .....	19
3.2.1 Betrachtete Studien und ihre Klimaszenarien .....	19
3.2.2 Die Bewertung von Klimafolgen: Modelle und Methoden .....	21
3.2.3 Die Bewertung von nicht-marktfähigen Gütern .....	26
3.2.4 Die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen: Modelle und Methoden .....	26
3.2.5 Schlussbemerkungen .....	29
3.3 Gesundheit .....	29
3.3.1 Betrachtete Studien und ihre Klimaszenarien .....	29
3.3.2 Die Bewertung von Klimafolgen: Modelle und Methoden .....	30
3.3.3 Die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen: Modelle und Methoden .....	34
3.3.4 Schlussbemerkungen .....	34
<b>4 Fazit</b> .....	<b>35</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>36</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.2:	Unsicherheiten in der Studie von Watkiss u. a. (2009, S. 38) .....	32
-----------	--	----

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Sektorübergreifende Studien mit regionaler Ausrichtung auf Europa und Deutschland ...	11
Tab. 3.1:	Studien zu Hochwasser- und Küstenschutz .....	20
Tab. 3.2:	Methodisches Vorgehen ausgewählter Studien – Küsten- und Hochwasserschutz .....	24
Tab. 3.3:	Einige Werte aus ausgewählten Studien .....	28
Tab. 3.4:	Studien zu Gesundheit .....	30
Tab. 3.5:	Methodisches Vorgehen ausgewählter Studien - Gesundheit .....	33



# 1 Einleitung

Was wissen wir über die Kosten und Nutzen der zukünftigen Folgen des Klimawandels für Deutschland sowie über die Kosten und Nutzen der Anpassung? Diese Frage zu beantworten bemüht sich der vorliegende Text. Er stellt eine erste Vorarbeit im Rahmen des Forschungsprojekts „Ökonomie der Anpassung an den Klimawandel“ dar, in dessen Verlauf unter anderem ein makroökonomisches und ein regionalökonomisches Modell zur Bestimmung ökonomischer Auswirkungen aus Klimapolitiken sowie eine um zusätzliche normative Gesichtspunkte erweiterte Methode zur Erstellung von Kosten-Nutzen-Analysen (KNA) entwickelt werden soll. Um die Modelle und die KNA weiterzuentwickeln, ist ein Überblick über den Stand des Wissens sowie die bestehenden Lücken in der ökonomischen Forschung zu klimaökonomischer Modellierung mit dem regionalen Schwerpunkt Deutschland sowie zu der Monetarisierung der Klimafolgen und der Anpassungseffekte erforderlich. Diesen Überblick für die Projektbeteiligten bereitzustellen, ist das Ziel dieses Textes.

Auf der einen Seite kann die Einleitungsfrage schnell und einfach beantwortet werden: Wir wissen über die Kosten und Nutzen des Klimawandels sowie der Anpassungsmaßnahmen für Deutschland sehr wenig, da es sehr wenige gesamtwirtschaftliche Studien gibt, die sich diesem Thema widmen. Zu diesem Schluss kommt auch ein Gutachten von Klepper u. a. (2009), welches in Zusammenhang mit dem BMBF-Förderschwerpunkt „Ökonomie des Klimawandels“ erstellt wurde. In dem Gutachten kommt zum Ausdruck, dass sich der Großteil der Studien dieses Themengebietes mit der Vermeidung von Treibhausgasemissionen befasst und dass große Forschungslücken im Bereich der Bewertung von Klimaauswirkungen und Anpassungsmaßnahmen bestehen. Insbesondere gebe es einen Bedarf an Studien, die eine monetäre Bewertung vornehmen (Klepper u. a. 2009).

Auf der anderen Seite ist inzwischen die wissenschaftliche Literatur zu Klimaökonomik sehr umfangreich. Einen Literaturüberblick über die Forschung zur Ökonomik der Klimaanpassung verschafft das Gutachten von Heuson u. a. (2012).

Die Literatur zur Bewertung von Anpassungsmaßnahmen unterteilen Heuson u. a. (2012) in theoretische und angewandte Literatur. Letztere beschäftigt sich mit der empirischen Ermittlung von Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen (Heuson u. a. 2012, S. 27f.). Hierbei unterscheiden die Autoren zwei Methoden: Bei Bottom-up-Ansätzen werden regionale Klimafolgen bestimmt und anschließend bewertet. Bei Top-Down-Ansätzen werden globale Integrierte Bewertungsmodelle (IAM für „Integrated Assessment Model“) dazu genutzt, den ökonomischen Wert der Klimafolgen zu bestimmen und anschließend werden aus diesen Ergebnissen regionale Werte abgeleitet.

Mit diesem Text wollen wir den Literaturüberblick von Heuson u. a. (2012) dahingehend vertiefen, dass wir den Fokus auf Studien lenken, die einen regionalen Schwerpunkt auf Deutschland gelegt und die Folgen des Klimawandels oder den Wert der Anpassungsmaßnahmen monetarisiert haben. Bereits der Überblick von Heuson u. a. (2012) deutet darauf hin, dass die Zahl der gesamtwirtschaftlichen Studien mit Bezug auf Deutschland gering ist. Jedoch gibt es sehr viele sektorale bzw. regionale Bewertungsstudien, welche in der Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes „Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel“ (Tröltzsch u. a. 2011) zusammengetragen wurden. Deren Bestimmungen der Kosten und Nutzen sind wiederum aufgrund unterschiedlicher klimatischer, sozialer und ökonomischer Annahmen sowie unterschiedlicher regionaler Auflösung nicht miteinander vergleichbar (siehe Tröltzsch u. a. 2011). Darin werden die Ergebnisse

der Kostenschätzungen von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen für die 14 Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie (Die Bundesregierung 2008) zusammengetragen. Die Übersicht macht die Vielfalt und die Unvergleichbarkeit der Ergebnisse deutlich.

Die Aufgabe dieses Textes liegt nicht darin, die Ergebnisse der ökonomischen Bewertungen zusammenzutragen, sondern darin, die ihnen zugrunde liegenden Methoden transparent zu machen. Hierzu analysieren wir zum einen Studien, die gesamtökonomische Bewertungen der zukünftigen Klimafolgen vorgenommen haben, und zum anderen Studien zu zwei Sektoren: erstens Küsten- und Hochwasserschutz und zweitens Gesundheit. Diese Auswahl lässt sich folgendermaßen begründen: Die gesamtökonomische Sichtweise ist zum einen interessant, weil sie in einem Baustein des Projekts explizit weiterverfolgt werden soll. Zum anderen sind solche Arbeiten häufig eine Grundlage für Kosten-Nutzen-Betrachtungen (wie sie beispielsweise Stern 2007 oder Nordhaus 2008 vorgenommen haben<sup>1</sup>), und deren Erweiterung wird einen Teil der Projektarbeit darstellen. Die Einschränkung der sektoralen Analyse auf zwei Sektoren ist Gründen der Bearbeitbarkeit geschuldet. Der Sektor Küsten- und Hochwasserschutz ist dabei ausgewählt worden, weil er sich gut für eine Methodenanalyse eignet. Denn aufgrund der voraussichtlich signifikanten ökonomischen Klimawirkungen gibt es bereits viele Vorarbeiten dazu. Der Sektor Gesundheit ist wiederum interessant, weil die Folgen des Klimawandels sich in diesem Bereich schwer quantifizieren lassen.

Insofern lautet das Ziel dieses Textes: einen kritischen Überblick über die Methoden zu verschaffen, mit denen erstens gesamtökonomische Wirkungen von Klimafolgen erhoben werden; mit denen zweitens Kosten und Nutzen in einem Sektor, dessen Folgen sich gut monetarisieren lassen dürften, und drittens Kosten und Nutzen in einem Sektor, in dem Nicht-Marktgüter bedeutsam sind, ermittelt werden.

Ein weiterer bedeutender Teil der klimaökonomischen Literatur wird in diesem Überblick nicht berücksichtigt, nämlich Literatur, die sich mit der Schätzung der sozialen Grenzkosten der Kohlenstoffemissionen beschäftigt. Der soziale Grenzpreis von einer Einheit von Kohlenstoffemissionen entspricht dem Wohlfahrtsschaden, ausgedrückt in Gegenwartswert, den eine Einheit von Kohlenstoffemissionen (gewöhnlich eine Tonne) innerhalb einer Zeiteinheit (gewöhnlich 100 Jahre) global verursachen wird (vgl. Tol 2011, S. 429; Watkiss und Downing 2008, S. 86). Die Schätzungen der Höhe der sozialen Kosten von Kohlenstoff weisen eine hohe Bandbreite auf. Das Umweltbundesamt empfiehlt für die Bewertung von Klimafolgeschäden, den Wert von 70 € pro tCO<sub>2</sub> mit Sensitivitätsanalysen für eine Bandbreite zwischen 20 € pro tCO<sub>2</sub> und 280 € pro tCO<sub>2</sub> (UBA 2007, S. 70) zu verwenden. Wir betrachten die Schätzungen des Grenzpreises von Kohlenstoffemissionen in diesem Aufsatz aus den folgenden Gründen nicht: Erstens repräsentiert der soziale Grenzpreis den globalen Wohlfahrtseffekt der Kohlenstoffemissionen. Unser Ziel in dieser Studie ist es hingegen, zu prüfen, wie regionale Effekte (hier mit dem Fokus auf Deutschland) geschätzt werden können. Zweitens sagt der Grenzpreis von Kohlenstoffemissionen zu wenig aus, um Klimaanpassungsmaßnahmen zu bewerten. Denn im Gegensatz zu den Klimaschutzmaßnahmen, welche dazu dienen die Menge von Treibhausgasemissionen und somit ihren externen Effekt auf die Wohlfahrt zu reduzieren, haben Anpassungsmaßnahmen zum Ziel, die negative Wohlfahrtswirkung von Treibhausgasen abzuschwächen, mit anderen Worten, den Grenzpreis der Treibhausgasemissionen zu verändern. Deshalb wird es erforderlich sein, den Wert der Klimafolgen anders als über den Grenzpreis der Kohlenstoffemissionen zu schätzen.

---

<sup>1</sup> Sowohl Stern als auch Nordhaus bezeichnen ihre Arbeiten nicht als Kosten-Nutzen-Analysen. Doch die Schlussfolgerung für die von ihnen getroffenen Handlungsempfehlungen leiten sie aus dem Vergleich von positiven und negativen Wohlfahrtsauswirkungen der Klimafolgen ab. Das fällt nach unserem Verständnis unter die Methode der KNAs.



Die Literaturanalyse ist anhand des folgenden Rasters erstellt worden: Die Recherche konzentrierte sich auf Studien, die eine Untersuchung von Kosten und Nutzen von Klimafolgen oder Anpassungsmaßnahmen für Deutschland vorgenommen haben. Dabei fanden auch solche Studien Berücksichtigung, die nur bestimmte Regionen (z.B. ein Bundesland) Deutschlands ansprechen. Studien, die quantifizierte und möglichst auch monetäre Angaben zu Klimafolgen machen bzw. eine Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmaßnahmen beinhalten, bildeten den Fokus der Recherche. Dabei wurde nach dem Schneeballprinzip vorgegangen. Ausgangspunkt bildete die Veröffentlichung vom Umweltbundesamt (Tröltzsch u. a. 2011), die ihrerseits eine Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen zum Inhalt hat.

Abschnitt 2 präsentiert die Auswertung der Studien, die eine integrierte Analyse mehrerer Sektoren durchgeführt haben. In Abschnitt 3 stellen wir die Auswertung der beiden sektoralen Studien dar: Abschnitt 3.2 behandelt den Sektor Küsten- und Hochwasserschutz; Abschnitt 3.3 den Sektor Gesundheit.

## 2 Sektorübergreifende Studien zu Klimafolgen in Deutschland

Das Ziel dieses Abschnittes liegt darin, einen Überblick über die Literatur darzustellen, welche sektorübergreifende Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland ermittelt und bewertet, und ihre Methoden zu analysieren. In Tab. 2.1 sind die gefundenen Arbeiten aufgelistet.

Die Übersicht zeigt, dass lediglich zwei Studien eine eigene Bewertung von Klimafolgen bzw. Anpassungsmaßnahmen in Deutschland gesamtwirtschaftlich oder sektorübergreifend vorgenommen haben (Kemfert 2007; Ciscar u. a. 2009, die beiden Studien sind in Tab. 2.1 farblich hinterlegt). Die restlichen der in das Analyseraster gefallenen Studien haben eine Literaturanalyse durchgeführt (Tröltzsch u. a. 2011; EEA 2007) oder sich auf die Bestimmung des Anteils der Klimawandelkosten, den die öffentliche Hand zu tragen hat, fokussiert (Bräuer u. a. 2009; Dannenberg u. a. 2009; Osberghaus und Reif 2010). Eine Studie erhebt darüber hinaus Kosten der Anpassungsmaßnahmen in ausgewählten Branchen für Sachsen-Anhalt (Gebhardt u. a. 2011).

Wie kann es eine Vielzahl von Literaturübersichtsstudien bzw. sekundären Auswertungen von Klimawandelkosten geben, wenn wir lediglich zwei primäre Bewertungsstudien identifizieren konnten? Vermutlich resultiert diese Vielfalt an sekundären Arbeiten gerade aus der Knappheit an primärer Literatur: In den Literaturübersichtsstudien werden Daten aus sektoralen oder aus globalen Modellierungen gesammelt. Die Studie im Auftrag der Europäischen Umweltagentur (EEA 2007) wertet die Ergebnisse sowie Methoden von Arbeiten aus, in denen mithilfe von Integrierten Bewertungsmodellen (IAMs) soziale Wohlfahrtskosten des Klimawandels sowie der Anpassungsmaßnahmen auf globaler Ebene bestimmt wurden (Übersicht über die ausgewertete Literatur findet sich in EEA 2007, Tabelle 3.1, S. 34 und Tabelle 4.1, S. 38). Die Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (Tröltzsch u.a. 2011) hat wiederum für einzelne Handlungsfelder ökonomische Bewertungen von sektoralen Folgen des Klimawandels und die Kosten und Nutzen relevanter Anpassungsmaßnahmen aus der Literatur zusammengetragen. Weil jedoch die einzelnen sektoralen Studien mit unterschiedlichen Annahmen arbeiten, lassen sich die Ergebnisse nicht zu sektorübergreifenden Überblicken aggregieren.

Analoges gilt für die drei Studien, die die Frage verfolgen, welchen Anteil an Anpassungsmaßnahmen die öffentliche Hand tragen könnte bzw. sollte. Neben den methodischen Überlegungen, die in den Arbeiten diskutiert werden, werden darin Versuche unternommen, den Anteil der öffentlichen

Hand zu beziffern. Dies setzt voraus, dass die Gesamtkosten der Klimaveränderungen sowie der Anpassungsaufwand bekannt sind. Osberghaus und Reif (2010) stellen hierzu eine Übersicht über die Literaturangaben zu Anpassungskosten für unterschiedliche Wirtschaftssektoren in Deutschland zusammen (Osberghaus und Reif 2010, Tabelle 1, S. 26). Die Tabelle weist allerdings zum einen große Lücken auf, zum anderen verdeutlicht sie, dass es auf Grund unterschiedlicher klimatischer Szenarien, regionaler Einteilung sowie des zeitlichen Rahmens nicht möglich ist, die Ergebnisse der Studien miteinander zu vergleichen.

Den sektorübergreifenden Literaturüberblicken lässt sich aber entnehmen, dass die einzelnen Sektoren unterschiedlich umfassend diskutiert werden. Der landwirtschaftliche Bereich und der Küstenschutz sind am häufigsten vertreten. Weitaus seltener sind Bewertungen der Klimafolgen in Lebens- und Umweltbereichen, wie etwa der biologischen Vielfalt oder der menschlichen Gesundheit (dazu mehr in Kapitel 3.3). Weitere Handlungsfelder, die laut der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) als vulnerabel gegenüber dem Klimawandel eingestuft werden, sind Forstwirtschaft, Fischerei, Bauwesen, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Wasserhaushalt/ Wasserwirtschaft/ Meeresschutz, Boden, Tourismus, Industrie und Gewerbe, Energiewirtschaft und Finanzwirtschaft.

In den nachfolgenden Abschnitten konzentrieren wir die methodologische Analyse auf die beiden sektorübergreifenden Studien, die eigene Kostenschätzungen vorgenommen haben (Ciscar u. a. 2009 und Kemfert 2007). Da die Arbeit von Kemfert (2007) in den dazu vorliegenden Veröffentlichungen methodologisch nur überblicksartig dokumentiert ist, wird hier vor allem die von der EU-Kommission in Auftrag gegebenen Studie (Ciscar u. a. 2009) eingehender analysiert.

**Tab. 2.1: Sektorübergreifende Studien mit regionaler Ausrichtung auf Europa und Deutschland**

Autoren	Ziel der Studie	Vorgehen in der Studie	einbezogene ökonomisch-soziale Sektoren	klimatologische Annahmen
Ciscar u. a. (2009)	Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels für Europa	(a) Quantifizierung der Klimaauswirkungen in den untersuchten Sektoren mit Hilfe von regionalen Klimamodellen (b) Direkte Bewertung der Klimaauswirkungen in den untersuchten Sektoren (c) Bewertung der Klimaauswirkungen in Wohlfahrtseinheiten mittels eines Gleichgewichtsmodells	Landwirtschaft, Flusssysteme, Küstensysteme, Tourismus, Gesundheit	$\Delta T$ im Jahr 2080 2,5°C; 3,9°C; 4,1°C und 5,4°C
Kemfert (2007)	Berechnung der klimawandelbedingten Schadens- und Anpassungskosten in Deutschland	Ökonomische Auswirkungen des Klimawandels in den analysierten Wirtschaftssektoren	Bergbau, verarbeitendes Gewerbe, Land-Forstwirtschaft und Fischerei, Gewerbe und Handel, Verkehr, Finanzierung, Baugewerbe, Gesundheit, Haushalte	Temperaturanstieg von 4,5°C bis 2100
Bräuer u. a. (2009)	Schätzung der Kosten aus den Folgen des Klimawandels für die öffentliche Hand in Deutschland	Literaturanalyse von Kosten des Klimawandels in den analysierten Sektoren Schätzung des Anteils der Kosten, der von der öffentlichen Hand getragen werden muss	Bauwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Energiesektor, Wasserwirtschaft, Tourismus, Verkehr, Versicherungswirtschaft, Küsten- und Hochwasserschutz, Gesundheit	SRES Szenarien des IPCC A2 und B1; $\Delta T$ im Jahr 2100 1,8°C und 3,4°C
Tröltzsch u. a. (2011)	Den vorhandenen Wissensstand zu den ökonomischen Aspekten der Anpassung an den Klimawandel in Deutschland zusammenzutragen	Literaturanalyse, die die Kosten und Nutzen der Klimafolgen sowie von Anpassungsmaßnahmen in den analysierten Sektoren zusammenstellt	Bauwesen, Boden, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei, Energie, Finanzen, Verkehr, Industrie, Tourismus, Raumplanung, Biodiversität, Wasserversorgung, Bevölkerungsschutz und Gesundheit	unterschiedlich je nach zitierter Studie

Dannenberg u. a. (2009)	Kriterium zu entwickeln, um zu unterscheiden, ob Anpassungsmaßnahmen privat oder öffentlich getragen werden sollen; Anwendung des Kriteriums auf die analysierten Sektoren	(a) Entwicklung des Kriteriums  (b) Diskussion seiner Anwendbarkeit in den analysierten sozio-ökonomischen Sektoren	Landwirtschaft, Energie, Küsten- und Hochwasserschutz, Wasserversorgung und Gesundheit	Keine eigenen klimatischen Annahmen
Osberghaus und Reif (2010)	Eine sektorspezifische Kostenschätzung für öffentliche Anpassungsmaßnahmen in Europa und speziell in Finnland, Deutschland und Italien; Sammlung der Daten über direkte Kosten der Anpassung	(a) Literaturanalyse der Höhe der Anpassungskosten in den betrachteten Sektoren in Deutschland (und Europa)  (b) Schätzung des Anteils, den die öffentlichen Haushalte an den Anpassungskosten zu tragen haben	Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Energie, Verkehr, Küsten- und Hochwasserschutz, Wasserversorgung und Gesundheit	keine eigenen klimatischen Annahmen (da Daten aus der Literatur übernommen)
EEA (2007)	Literaturübersicht über den Wissenstand zu Kosten von Klimawandel und von Anpassungspolitiken	Literaturübersicht zu:  Social Costs of Carbon, Methodologien von KNAs; Kosten und Nutzen von sektoralen Klimaauswirkungen in Europa	globale IAMs; Landwirtschaft, Tourismus, Bauwesen, Forstwirtschaft, Fischerei, Biodiversität, Wasserversorgung, Bevölkerungsschutz und Gesundheit	keine eigenen Annahmen
Gebhard u. a. (2011)	Klimasensibilitätsanalyse für Sachsen-Anhalt und Kostenermittlung von Anpassungsmaßnahmen	Klimasensibilität: Ermittlung von Branchen, die energie- oder wasserintensiv sind und deren Bedeutung (Wertschöpfung und Beschäftigung) für ST hoch ist  Kostenermittlung von Anpassungsmaßnahmen in den Sektoren Wasser-, Forstwirtschaft, Tourismus. Methode: Experteninterviews	Energie, Landwirtschaft, Bauwirtschaft, verarbeitendes Gewerbe und Dienstleistungsgewerbe (z.B. Tourismus), Forstwirtschaft, Hochwasserschutz, Brauchwasserversorgung	Keine eigenen Annahmen

## 2.1 Studien, die eine monetäre Bewertung vornehmen

Der Mehrwert dieser sektorübergreifenden Studien liegt in der Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels, das heißt, in der Überführung der Klimaauswirkungen auf natürliche und soziale Systeme in ökonomische Kosten und Nutzen. Es lassen sich dabei zwei Herangehensweisen unterscheiden: Einerseits kann eine sektorübergreifende Bewertung aus einer Aggregation von Partialanalysen bestehen. Hierbei schätzt man die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels in den einzelnen Sektoren und addiert in einem zweiten Schritt die Ergebnisse. Der Nachteil dieses Vorgehens besteht darin, dass hierbei die durch Klimawirkungen in einem ökonomischen Sektor induzierten Veränderungen in einem anderen Sektor nicht berücksichtigt werden können. Um diesem Nachteil zu entgehen, werden andererseits sektorübergreifende Bewertungen mit Hilfe von gesamtökonomischen Modellen erstellt.

Die partialökonomischen Bewertungen für ausgewählte Sektoren werden in Kapitel 3 dargestellt. In diesem Unterabschnitt konzentrieren wir uns auf die Studien, die Bewertungen mit Hilfe von gesamtökonomischen Modellen vorgenommen haben.

Es existiert umfassende Literatur zu ökonomischer Bewertung von weltweiten Klimawandelfolgen. Diese werden meist mit Hilfe von so genannten Integrierten Bewertungsmodellen (IAM für Integrated Assessment Models) erstellt (ein Überblick findet sich in EEA 2007). Allerdings sind diese IAMs global ausgerichtet und eine Ableitung von ökonomischen Kosten und Nutzen für Deutschland ist aus ihren Ergebnissen nicht ohne weiteres möglich. Unsere Recherchen haben lediglich zwei Studien identifiziert, die die Bewertung der Klimafolgen für die Region Deutschland vornehmen: Kemfert (2007) sowie Ciscar u. a. (2009). Zwar haben auch Ciscar u. a. (2009) keine Analyse auf Länderebene vorgenommen, doch immerhin unterteilen sie Europa in Subregionen, eine davon ist Zentralnordeuropa, welche die Länder Belgien, Niederlande, Deutschland und Polen umfasst (Ciscar u. a. 2009, S. 27). Damit erlaubt die Studie Annäherungen an die Einschätzung der ökonomischen Auswirkungen für Deutschland.

Die Publikation des Stern-Berichts (Stern 2007) hat eine lebendige Debatte über die Herausforderungen der gesamtökonomischen Bewertung von Klimafolgen ausgelöst (Heal 2009; Spash 2007; Cole 2008; Weitzman 2007). Dabei ist der Umgang mit folgenden Aspekten hinterfragt worden:

- Berücksichtigung der Unsicherheiten über die klimatischen und sozialen Auswirkungen der Treibhausgaserhöhung
- Bewertung von Auswirkungen auf Sektoren, in denen es keine Marktpreise gibt
- Methode der intertemporalen Aggregation (Diskontrate)
- Höhe der Aversion gegenüber der intertemporalen Ungleichheit (Höhe der Grenznutzenelastizität)

Diese Aspekte umfassen zwei allgemeinere Themenbereiche: Zum einen die Frage nach dem Umgang mit den Ungewissheiten über die zukünftige Entwicklung von klimatischen und sozialen Systemen; und zum anderen die Frage nach dem Umgang mit den in einer gesamtökonomischen Bewertung implizit enthaltenen normativen Annahmen (darauf richten sich die Aufzählungspunkte 3 und 4). Im Folgenden werden wir darstellen, wie die beiden identifizierten Studien mit dem Fokus auf die Region Deutschland mit den epistemischen und normativen Herausforderungen umgegangen sind.

## 2.1.1 Überblick über die Methoden

Kemfert (2007) berechnet die Auswirkungen des Klimawandels für Deutschland mit Hilfe des IAMs WIAGEM (Kemfert 2002). WIAGEM besteht aus einem intertemporalen Optimierungsmodell, das mit einem Klimaschadensmodell gekoppelt ist. Das intertemporale Optimierungsmodell bildet 13 ökonomische Sektoren ab (mit einem Schwerpunkt auf den Energiesektor) und simuliert die dabei produzierte Menge der Treibhausgasemissionen unter der Optimierungsannahme, dass ein repräsentatives Individuum seinen intertemporalen Nutzen maximiert. In dem Klimaschadensmodul werden die sich im ökonomischen Modul ergebenden THG-Emissionen in monetäre Schäden für die Bereiche (i) ökologische Auswirkungen, (ii) Vektor-Krankheiten, (iii) Wald und Wasser, Heizen und Kühlen sowie (iv) Sterblichkeit überführt. Das WIAGEM ist ein IAM, das eine globale Ökonomie repräsentiert (Kemfert 2002). Wie die Umrechnung auf Deutschland erfolgt, ist in Kemfert (2007) nicht näher dokumentiert.

In dieser Studie sind auch Kosten für Anpassungsmaßnahmen beziffert worden, die allerdings nur grob beschrieben sind: Kosten für die Errichtung eines „ausreichenden Hochwasserschutzes“, eines Hitzewarnsystems (Kemfert 2007, S. 166) sowie Kosten für einzelne, nicht näher aufgelistete Maßnahmen in unterschiedlichen Wirtschaftssektoren.

Anders gehen Ciscar u. a. (2009) vor. Sie bestimmen im ersten Schritt mit Hilfe von sektoralen Klimamodellen die Auswirkungen des Klimawandels in fünf Sektoren: Landwirtschaft, Flüsse, Küstensysteme, Tourismus, Gesundheit. Anschließend werden die kalkulierten sektoralen Klimaauswirkungen von allen Sektoren außer Gesundheit in ein ökonomisches Gleichgewichtsmodell (GEM-E3) eingespeist, indem die Produktions- oder die Nachfragefunktion des jeweiligen Sektors im Modell angepasst wird (vgl. Ciscar u. a. 2009, S. 88f.). Damit haben die Autoren keine dynamische Modellierung (im Gegensatz zu Kemfert 2007 sowie den globalen Studien wie Stern 2007, Nordhaus 2008, Tol 2011) vorgenommen, sondern geschätzt, welchen gesamtökonomischen Effekt die mit Hilfe von sektoralen Klimamodellen bestimmten Auswirkungen hätten, wenn sie als ein externer Schock auftreten würden.

Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen haben die Autoren bei den Gleichgewichtsrechnungen nicht berücksichtigt. Dennoch sind private Anpassungsmaßnahmen wie Landnutzungsanpassungen oder Veränderungen von Touristenströmen in die Berechnungen eingegangen (Ciscar u. a. 2009, S. 87), da solche Anpassungen in den sektoralen Modellen unterstellt wurden.

## 2.1.2 Unsicherheiten über die klimatischen und sozialen Auswirkungen

In der Studie von Kemfert (2007) wird ein bestimmtes Klimaszenario unterstellt, bei dem die durchschnittliche Oberflächentemperatur in Deutschland bis 2100 um 4,5°C steigt (S. 166). Damit berücksichtigt diese Studie nicht die im vierten Bericht des Weltklimarates (International Panel on Climate Change, IPCC) genannten Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung der Klimagrößen: Für Europa nennt der Klimarat für die durchschnittliche Oberflächentemperaturerhöhung im Jahr 2100 eine Bandbreite zwischen 1°C und 5,5°C (Parry u. a. 2007, S. 547). Der Umgang mit allen anderen Parametern, über die kein deterministisches Zukunftswissen besteht, ist in den Veröffentlichungen zu der Studie nicht dokumentiert. Doch da in der Studie eindeutige Werte für die Klimafolgen angegeben werden, ist davon auszugehen, dass für alle unsicheren Parameter eindeutige Werte angenommen wurden.

Ciscar u. a. (2009) dagegen gehen von vier unterschiedlichen Klima- und sozio-ökonomischen Szenarien aus, die einen Temperaturanstieg im Jahr 2080 von 2,5°C, 3,9°C, 4,1°C und 5,4°C, eine

Niederschlagsveränderung zwischen -6% und +2% sowie einen Meeresspiegelanstieg zwischen 49 und 59 cm simulieren (Ciscar u. a. 2009, S. 31). Die ökonomischen Bewertungen geben sie entsprechend für die einzelnen Szenarien an. Doch mit den vier Szenarien werden die bekannten Unsicherheiten nicht vollständig berücksichtigt. Erstens decken die unterstellten Temperaturszenarien nicht die vollständige bekannte Bandbreite der möglichen Temperaturanstiegsszenarien ab. Zweitens berücksichtigen die Szenarien nicht alle Wirkfaktoren. Beispielsweise hängen zukünftige landwirtschaftliche Erträge neben den in den Szenarien variierten Klimaveränderungen auch von der Häufigkeit und der Intensität der Extremwetterereignisse, von der Entwicklung der Anbauproduktivität, von Veränderungen im Anbaumanagement etc. ab. Ähnliche Unsicherheiten bestehen bei der Bestimmung der Klimafolgen in den Bereichen Küstenschutz, Flüsse, Tourismus und Gesundheit. Zum Beispiel spielen für die Höhe der Klimaschäden bei Überflutungen zukünftige Entwicklungen der Landnutzung im Bereich der Flüsse und Küsten eine wichtige Rolle. Die zukünftige Entwicklung dieser Faktoren kann jedoch deterministisch nicht vorhergesagt werden. Gleichzeitig gestehen die Autoren selbst zu, dass sie die Unsicherheiten bei diesen (und anderen) Faktoren nicht berücksichtigt haben (vgl. Ciscar u. a. 2009, S. 38, 45, 52, 59, 74). Deshalb werden mit den vier Szenarien vier mögliche zukünftige Entwicklungen in den betrachteten Sektoren simuliert und bewertet. Mit den Simulationen von den vier Szenarien und den darauf basierenden Bewertungen der Klimaschäden kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Klimaschäden viel niedriger oder viel höher ausfallen werden.

### 2.1.3 Bewertung von Auswirkungen

Ciscar u. a. (2009) sind bei der Bewertung der Klimafolgen zweigleisig vorgegangen: Zum einen haben sie die direkten ökonomischen Auswirkungen in den einzelnen Sektoren bewertet. Für diesen Abschnitt ist die zweite Bewertungsmethode von Interesse: die Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen.

Diese sind mit Hilfe eines allgemeinen Gleichgewichtsmodells errechnet worden. Das Modell (GEM-E3) repräsentiert jeweils 18 ökonomische Sektoren von 24 EU-Ländern (S. 88) sowie ihre Verflechtungen untereinander basierend auf Input-Output-Tabellen und unterscheidet vier ökonomische Akteure (Haushalte, Unternehmen, öffentlicher Sektor sowie Ausland). Es berechnet Auswirkungen von externen Einwirkungen auf die Ökonomien, indem es nach Marktgleichgewichten sucht. Dabei wird angenommen, dass die Unternehmen ihre Kosten minimieren, die Haushalte ihren Nutzen maximieren und die Preisbildung auf den Märkten völlig flexibel verläuft. Der externe Schock aus dem Klimawandel, den das Modell für die Fragestellung der Studie simuliert, besteht in den mit Hilfe der sektoralen Modelle ausgerechneten Auswirkungen des Klimawandels in den einzelnen Sektoren. Um diese in das GEM-E3-Modell zu integrieren, übersetzen die Autoren die sektoralen Klimaauswirkungen in Veränderungen auf den im Modell repräsentierten Märkten: Beispielsweise interpretieren sie die Veränderungen im Sektor Landwirtschaft als Veränderungen der Produktionsfunktion, die Klimawirkungen im Sektor Tourismus als Veränderungen im Außenhandel. Klimawirkungen an der Küste und in den Flussgebieten übersetzen die Autoren in das Gleichgewichtsmodell in Form von Veränderungen des Kapitalbestands, von Produktionsfunktionen sowie von Konsumausgaben (für die Reparatur von Überflutungsschäden) (S. 88f.). Als endogene Größen wurden in der Studie das Bruttoinlandsprodukt (BIP) sowie die Wohlfahrt in den fünf Regionen Europas betrachtet. Unter Wohlfahrt verstehen die Autoren ein Aggregat des individuellen Nutzens aus dem Einkommen sowie der Freizeit (S. 89).

Mit Hilfe der gesamtwirtschaftlichen Modellierung kann unserem Verständnis nach die folgende Frage beantwortet werden: Welche BIP-Veränderungen und welche Veränderungen der Konsumhöhe der Haushalte würden sich einstellen, wenn die gegenwärtigen Volkswirtschaften der 24 be-

trachteten EU-Länder von einem externen Schock in den Sektoren Landwirtschaft, Fluss- und Küstengebiete sowie Tourismus getroffen werden würden, welcher möglichen Wirkungen des Klimawandels im Jahr 2080 in diesen Sektoren entspricht, und unter Gültigkeit weiterer Annahmen (die bei der Modellierung unterstellt werden, z.B.: vollständiger Wettbewerb auf allen betrachteten Märkten, Unternehmen handeln nur nach dem Prinzip, ihre Kosten zu minimieren, Haushalte handeln nur nach dem Prinzip, ihren Nutzen zu maximieren etc.)?<sup>2</sup>

Die explizite Formulierung der Frage macht deutlich, dass Ciscar u. a. (2009) für ihre Beantwortung viele der kontrovers diskutierten normativen Annahmen bezüglich der Bewertung der Klimafolgen nicht zu unterstellen brauchen. Ciscar u. a. (2009) versuchen nicht, den Wert der im Jahr 2080 auftretenden BIP-Veränderungen zu berechnen. Vielmehr beziehen sie ihre Analyse auf die Gegenwartswirtschaft, indem sie die Frage stellen, wie hoch die BIP-Veränderungen für die heutige Ökonomie wären, falls sie mit den Auswirkungen des Klimawandels in der Dimension, wie sie im Jahr 2080 möglicherweise auftreten werden, konfrontiert wäre. Auf diese Weise müssen sie die zukünftigen BIP-Werte nicht in den Gegenwartswert umrechnen und die Frage nach der Diskontierung der in der Zukunft erwirtschafteten monetären Werte stellt sich nicht. Auch müssen sie keine Annahmen über die Höhe der Aversion gegenüber der intertemporalen Ungleichheit treffen, da sie keine intertemporalen Vergleiche anstellen.<sup>3</sup> Weil sie sich bei der Bestimmung der Auswirkungen des Klimawandels auf zwei makroökonomische Größen konzentrieren, nämlich BIP und Konsumniveau (Wohlfahrt), brauchen sie Nicht-Marktgüter nicht zu bewerten. Denn die Höhe des BIPs und das Einkommen der Haushalte sind unabhängig von dem monetären Wert von Nicht-Marktgütern wie Biodiversität oder menschliches Leben.<sup>4</sup> Das berücksichtigen Ciscar u. a. (2009) ebenfalls bei ihren Bewertungen: Bei der Bestimmung der direkten Kosten des Klimawandels bewerten sie die Gesundheitswirkungen des Klimawandels (vgl. Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.Fehler! Textmarke nicht definiert.** dieser Studie). Dort beziehen sie den Wert von Lebensverlusten durch den Klimawandel mit ein und monetarisieren somit ein Nicht-Marktgut. Bei der Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen lassen sie den Sektor „Gesundheit“ jedoch eben aus dem Grund aus, dass der Wert von Lebensverlusten die BIP-Höhe sowie das Haushaltseinkommen nicht beeinflusst.

<sup>2</sup> Genau genommen stellen Ciscar u. a. (2009) nicht die Frage nach den Einkommenseffekten, sondern nach den Wohlfahrtseffekten. Leider spezifizieren die Autoren nicht, welche Aggregations- und welche Nutzenfunktion sie bei der Berechnung der Wohlfahrtsveränderungen unterstellt haben. Aus diesem Grund bleibt uns verborgen, welche Zusatzinformation durch die Berechnung der Wohlfahrt aus dem Einkommen generiert wird. Den Mehrwert aus der Bestimmung von Wohlfahrt sehen Ciscar u. a. (2009) darin, dass manche Klimaauswirkungen (wie z.B. Gebäudeschäden, die von Haushalten repariert werden) zwar durch Wertschöpfungseffekte zur BIP-Erhöhung beitragen, jedoch durch die Minderung des Haushaltseinkommens die Wohlfahrt senken (S. 89). Denn die beschriebene Diskrepanz kann auch durch die Bestimmung der Differenz zwischen den BIP-Effekten und den Effekten der Klimawirkungen auf die Konsumhöhe der Haushalte bestimmt werden. Eine Wohlfahrtsfunktion ist hierzu nicht erforderlich. Aus diesem Grund interpretieren wir die Ergebnisse von Ciscar u.a. als Einkommens- und nicht als Wohlfahrtseffekte.

<sup>3</sup> Da sie jedoch eine intratemporale Aggregation von individuellen Nutzen zu sozialer Wohlfahrt vornehmen, legen sie sich durch die Festlegung der Grenznutzenelastizität in der Wohlfahrtsfunktion auf die Höhe der Aversion gegenüber der intratemporalen Ungleichheit fest. Leider machen sie diese Annahme nicht explizit. Da wir den Verdacht haben, dass die Wohlfahrtsfunktion für die Ergebnisse des Berichts sowieso keine Rolle spielt, ist entsprechend diese Annahme nicht relevant.

<sup>4</sup> Um Missverständnissen vorzubeugen: Die Höhe des BIPs hängt selbstverständlich von der Verfügbarkeit von bestimmten auf den Märkten nicht gehandelten Gütern ab. Sowohl die Artenvielfalt als auch die Lebensdauer von Menschen beeinflussen die Menge von Gütern und Dienstleistungen, die in einer Periode produziert und erbracht werden. Der monetarisierte Wert von Nicht-Marktgütern spielt jedoch für die Höhe des BIPs keine Rolle.



Doch ungeachtet all der Vorteile der von Ciscar u. a. (2009) gewählten Methode für die Bestimmung der gesamtwirtschaftlichen Kosten von Klimafolgen in den untersuchten Sektoren liegt ihr Nachteil darin, dass ihre praktische Relevanz unklar bleibt. D.h. es bleibt unklar, welche klimapolitischen Entscheidungen mit Hilfe dieser Ergebnisse gerechtfertigt werden können. Führen wir uns ein Ergebnis aus der Berechnung der gesamtökonomischen Auswirkungen vor Augen. Die Autoren schreiben:

“The impact of climate change in GDP terms is estimated to be in a range between 0.2 and 0.5% for the EU depending on the climate scenario, which would mean between 20 billion € for the 2.5°C scenario and 65 billion € for the 5.4°C scenario with high SLR [sea-level rise, Anmerkung der Verfasser].” (Ciscar u. a. 2009, S. 91)

Nach unserer Interpretation besagt diese Aussage:

Wenn die Klimaauswirkungen in den Sektoren Landwirtschaft, Küsten- und Flussgebiete sowie Tourismus eintreten, welche gemäß dem 2,5°C-Szenario für das Jahr 2080 als möglich verifiziert worden sind,  
wenn auf allen EU-Märkten vollständiger Wettbewerb herrscht,  
wenn die Unternehmen nur nach dem Prinzip handeln, ihre Kosten zu minimieren, und  
wenn die Haushalte nur nach dem Prinzip handeln, ihren Nutzen zu maximieren,  
dann werden die modellierten Klimaauswirkungen eine Reduktion des BIPs in der EU in einer Höhe zwischen 0,2 und 0,5% verursachen, was einer Reduktion des BIPs um eine Größe zwischen 20 Milliarden und 65 Milliarden entspricht.

Die Schwierigkeit, aus dieser Aussage praktisch relevante Implikationen zu ziehen, liegt darin, dass der Vordersatz der Aussage falsch ist. Wir wissen über die Ökonomie in der EU, dass dort nicht auf allen Märkten vollständiger Wettbewerb herrscht (das gilt insbesondere für den Sektor Landwirtschaft, welcher in der Studie ausdrücklich berücksichtigt worden ist). Wir wissen über die Ökonomie in der EU, dass nicht alle Unternehmen nur nach dem Prinzip handeln, ihren Kosten zu minimieren, und dass nicht alle Haushalte allein nach dem Prinzip handeln, ihren Nutzen zu maximieren. Um die praktische Relevanz der Aussage zu beurteilen, müsste man einschätzen können, welchen Einfluss die unrealistischen Annahmen auf die Ergebnisse ausüben. Das können wir jedoch nicht. Deshalb bleibt die Frage offen, was in der tatsächlich existierenden Ökonomie der Europäischen Union geschehen würde, wenn die unterstellten Klimaauswirkungen eintreten würden: Es ist genauso gut möglich, dass die Reduktion des BIPs niedriger oder auch höher ausfallen wird, als die in der Studie berechnete Größe.

Die Bewertungsmethode in der Studie von Kemfert (2007) ist nicht öffentlich zugänglich dokumentiert, daher ist sie hier nicht rekonstruiert worden.

## 2.2 Fazit zu sektorübergreifenden Studien

Literaturrecherchen zu Forschungsarbeiten, welche eine gesamtwirtschaftliche monetäre Bewertung von Folgen des Klimawandels sowie von Anpassungsmaßnahmen für Deutschland vornehmen, haben gezeigt, dass es bislang sehr wenige Arbeiten hierzu gibt. Gesamtwirtschaftliche Analysen werden gewöhnlich mit globalen IAMs erstellt. Lediglich die Studie von Kemfert (2007) versucht, aus den Modellierungsergebnissen des IAMs WIAGEM Kosten der Klimafolgen für eine Reihe von Wirtschaftssektoren in Deutschland abzuleiten. Jedoch ist die Methode dieser Arbeit nicht veröffentlicht und deshalb an dieser Stelle nicht auswertbar.

Daneben gibt es lediglich das von der EU-Kommission geförderte Projekt PESETA, in dessen Rahmen gesamtwirtschaftliche Auswirkungen von Klimafolgen berechnet wurden. Dessen Vorgehen weist dabei besondere Merkmale auf: Die Autoren führen eine statische Analyse durch. Dadurch weichen sie den Schwierigkeiten intertemporaler Aggregation (und der dafür erforderlichen Bestimmung einer Diskontrate sowie der Aversion gegenüber intertemporaler Ungleichheit) aus. Sie verwenden als eine Zielgröße das BIP, wodurch die Schwierigkeit entfällt, Werte, für die keine Marktpreise existieren, zu monetarisieren. Dennoch weist das Vorgehen für die Politikberatung entscheidende Schwächen auf.

Erstens behaupten die Autoren der Studie, dass sie neben dem BIP auch soziale Wohlfahrt als eine Zielgröße verwenden. Jedoch spezifizieren sie nicht, was sie unter Wohlfahrt verstehen, insbesondere nicht, welche normativ relevanten Annahmen dabei unterstellt werden. Die Darstellung in der Studie hinterlässt den Eindruck, dass es den Autoren nicht um die Bestimmung der sozialen Wohlfahrt, sondern um die Bestimmung der Höhe des Konsums der Haushalte ging. Letztere Größe beinhaltet keine normativen Hintergrundannahmen, wohingegen für die Bestimmung der sozialen Wohlfahrt festgelegt werden muss, welche Aversion gegenüber der Ungleichheit in der Gesellschaft besteht. Um in der Lage zu sein, politisch relevante Implikationen aus den Ergebnissen der Studie zu ziehen, ist es jedoch unabdingbar, die normativen Hintergrundannahmen transparent zu machen.

Zweitens wurde im Rahmen von PESETA für die Bestimmung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen das Modell GEM-E3 verwendet, welches eine Reihe von ökonomischen Annahmen enthält, über die bekannt ist, dass sie auf die Realität nicht zutreffen: Annahmen bezüglich des Verhaltens von Haushalten und Unternehmen; Annahme des vollständigen Wettbewerbs auf allen modellierten Märkten. Das Unterstellen dieser Annahmen macht wiederum praktisch relevante Implikationen unmöglich: Aus dem Wissen, dass unter den Modellierungsannahmen Klimafolgen einen BIP-Rückgang in Höhe von 0,5% verursachen können, erfahren wir nicht, ob unter Verhaltens- und Wettbewerbsannahmen, die mit empirischen Beobachtungen konsistent sind, Klimafolgen einen höheren oder niedrigeren Einfluss auf das BIP haben würden.

Drittens hat der Fokus auf den Einfluss der Klimafolgen auf das BIP und den Haushaltskonsum neben den erwähnten Vorteilen auch Nachteile, wenn es um die Rechtfertigung von politischen Entscheidungen geht. Denn dadurch werden einige der Klimaauswirkungen unberücksichtigt gelassen: Beispielsweise sind die gesundheitlichen Folgen in die gesamtwirtschaftliche Analyse nicht eingegangen. Darüber hinaus sind aber auch Auswirkungen wie Migrationszwang durch Veränderungen in den Küsten- bzw. Flusssystemen lediglich durch ihre Auswirkungen innerhalb der ökonomischen Wertschöpfung (Konsum- und Kapitalbestandsveränderungen) berücksichtigt. Der Klimawandel bedroht allerdings auch wertvolle Eigenschaften, die nicht direkt in die Höhe des BIPs bzw. des Haushaltskonsums eingehen: Verluste der Artenvielfalt, Krankheitsausbreitungen, Lebensverluste, Veränderungen sozialer Bindungen (durch Migration).

Wenn ökonomische Bewertungen der Klimafolgen dazu dienen, Entscheidungen über den Umgang mit dem Klimawandel, über geeignete Anpassungsmaßnahmen zu rechtfertigen, sollten die Auswirkungen des Klimawandels, die das BIP nicht betreffen, ebenfalls berücksichtigt werden. Es ist natürlich legitim, dass eine ökonomische Studie sich auf die Analyse der Wertschöpfungseffekte konzentriert. Jedoch sollte auch gewährleistet werden, dass bei der Rechtfertigung von Handlungsempfehlungen die nicht-monetarisierbaren Auswirkungen nicht unberücksichtigt bleiben.

Schließlich wurden in der Arbeit von Ciscar u. a. (2009) zwar die Unsicherheiten über die Klimaveränderungen berücksichtigt. Doch die Unsicherheiten über die sozialen Veränderungen sind, wie die Autoren selbst zugestehen, nicht betrachtet worden.

## 3 Sektorale Perspektive

### 3.1 Einleitung

Dieses Kapitel liefert einen systematischen Überblick über Studien, welche mögliche Kosten und Nutzen der durch den Klimawandel verursachten Überflutungen sowie die Kosten und Nutzen aus der Anpassung an mögliche Klimaveränderungen in den Sektoren Küsten- und Hochwasserschutz und Gesundheit in Deutschland quantifiziert haben. Die beiden sektoralen Betrachtungen (Abschnitte 3.2 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) sind wie folgt gegliedert: Im ersten Abschnitt werden jeweils die für die Literaturlauswertung ausgewählten Studien zusammenfassend und mit speziellem Fokus auf die zugrundeliegenden Klimaszenarien und Klimamodelle beschrieben (Abschnitte 3.2.1 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Im zweiten Abschnitt erfolgt eine Analyse der für die Bewertung der Klimafolgen herangezogenen Modelle und Methoden (Abschnitte 3.2.2 sowie **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dabei werden insbesondere die Aspekte der Unsicherheit, Diskontierung und regionalen Aggregation näher beleuchtet. Die Bewertung von nicht-marktfähigen Gütern im Sektor Hochwasserschutz findet im dritten Abschnitt Berücksichtigung (Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Im Gesundheitsbereich fällt dieser Punkt mit dem vorherigen zusammen, da es sich hier hauptsächlich um nicht-marktfähige Leistungen handelt (Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Im vierten Abschnitt werden Anpassungsmaßnahmen betrachtet (Abschnitte **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dabei wird in erster Linie danach gefragt, in welcher Form Anpassungsmaßnahmen bewertet werden und mit welchen Methoden. In einer abschließenden Betrachtung werden dann existierende Lücken der betrachteten Studien und mögliche Ergänzungen aufgezeigt.

### 3.2 Küsten- und Hochwasserschutz

Beim Küsten- und Hochwasserschutz handelt es sich um ein Handlungsfeld, welches nicht erst in Zusammenhang mit der Diskussion um den Klimawandel zum Gegenstand ökonomischer Analysen und politischer Regulierung geworden ist. Vielmehr verschärft der Klimawandel hier lediglich eine lang bestehende Problematik, denn durch einen Anstieg des Meeresspiegels und das gehäufte Auftreten von Extremereignissen wie Sturmfluten geraten Küstenbewohner und Hochwasserregionen verstärkt in Bedrängnis. Die Küstenregion Deutschlands umfasst eine 3700 km lange Küstenlinie, an der innerhalb der 5m-Höhenlinie schätzungsweise 3,2 Millionen Menschen leben (Sterr 2008, S. 382). Hier können mögliche Auswirkungen des Klimawandels soziale, ökonomische und ökologische Strukturen treffen und erhebliche Kosten verursachen. Neben Vermögensverlusten sind hier u. a. ökologische Schäden, Gebietsverluste, Zusatzkosten im Grundwasser- und Abflussmanagement, Migrationskosten sowie Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzverluste zu nennen. Die meisten dieser Aspekte wurden in einer oder in mehreren der nachfolgend betrachteten Studien berücksichtigt und dort zum Teil auch einer monetären Bewertung unterzogen. Anpassungsmaßnahmen kommt im Küsten- und Hochwasserschutz eine große Bedeutung zu, da sie Überflutungsschäden im hohen Maße abmildern können. Mögliche Anpassungsmaßnahmen, die nachfolgend diskutiert werden, sind der Deichbau, Deichrückverlegungen, Dämme, Schleusen, Sperrwerke, Anpassung im Grundwasser- und Abflussmanagement und Sandaufschüttungen.

### 3.2.1 Betrachtete Studien und ihre Klimaszenarien

Als Ergebnis unserer Recherche konnten wir acht Studien ausfindig machen, die eine eigene monetäre Bewertung von Klimafolgen und/oder Anpassungsmaßnahmen in Bezug auf Küsten- bzw. Hochwasserschutz vornehmen. Tab. 3.1 gibt einen Überblick über die erwähnten Studien und die zugrundeliegenden Klimaszenarien.

**Tab. 3.1: Studien zu Hochwasser- und Küstenschutz**

Studie	Region	Beschreibung	Klimaszenario
Bosello (2012)	Europa	Bezugnehmend auf die Daten aus dem PESETA-Projekt bewertet diese Studie die Klimaauswirkungen und Anpassungskosten für einzelne Länder in Europa.	IPCC Szenarien A2 und B2  14 SLR Szenarien
Costa u. a. (2009)	EU	Unter Anwendung des DIVA-Modells werden die Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen bewertet und ins Verhältnis zum BIP des jeweiligen Landes gesetzt.	IPCC Szenario A2
Elsner u. a. (2005)	Nordwestdeutsche Küstenregion	In dem interdisziplinären Forschungsvorhaben werden neben ökonomischen Schäden auch ökologische Klimafolgen bewertet. Neben dem Basiszenario werden die Auswirkungen eines singulären Worst-Case-Szenarios betrachtet.	SLR: 55cm Temperatur: +2,8°C Niederschlag: +10% mittlerer Tidenhub: +25cm Wind: +7%  ANATOL-Szenario (singuläres Worst-Case-Szenario)
Feyen u. a. (2006)	Europa (Donau und Maas)	Die Auswirkungen einer 100-Jahresflut werden für aktuelle und zukünftige Klimabedingungen untersucht.	IPCC Szenarien A2 und B2
Hinkel u. a. (2010)	EU	Diese Studie stützt sich in ihrer Bewertung der Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen auf eine aktualisierte Fassung der DIVA-Datenbank.	IPCC Szenarien A2 und B1
IPCC (1990)	Global (Ergebnisse nach Ländern aufgeschlüsselt)	Die Studie untersucht die Kosten möglicher Schutzmaßnahmen in Anbetracht einer Meeresspiegelerhöhung.	SLR: 1m

Nicholls und Klein (2005)	Europa	Diese Studie nimmt Bezug auf die Daten von Richards und Nicholls (2009) und nimmt eine Bewertung der Klimawirkungen und Anpassungsmaßnahmen für Europa vor.	IPCC Szenarien A2 und B2 14 SLR Szenarien
Richards und Nicholls (2009)	Europa	Gegenstand dieser Studie ist die Bewertung von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen an Europas Küste.	IPCC Szenarien A2 und B2 14 SLR Szenarien
Sterr (2008); Ebenhöf u. a. (1997)	Deutsche Küste	Sterr (2008) nimmt eine sozio-ökonomische Vulnerabilitätsanalyse auf drei Skalenebenen (makro-, meso- und mikro-) vor, die auch eine ökonomische Bewertung umfasst.	SLR: 1m
Tröltzsch u. a. (2012)	Deutschland	Tröltzsch u. a. (2012) untersuchen in dieser Studie einzelne Anpassungsmaßnahmen und ihr Nutzen-Kosten-Verhältnis.	Unterscheidet sich je nach betrachteter Anpassungsmaßnahme.

Die Klimaszenarien in den betrachteten Studien orientieren sich häufig an Angaben des IPCC, welches seine Aussagen über zukünftige Klimaentwicklungen auf Annahmen über sozioökonomische Entwicklungspfade stützt. Der IPCC prognostiziert im vierten Sachstandsbericht bis 2100 einen globalen Meeresspiegelanstieg von 0,09 bis 0,88 Metern. Jedoch kann aufgrund regionaler Einflüsse der Meeresspiegelanstieg in Europa die globalen Schätzungen um bis zu 50% übersteigen (Parry u. a. 2007, S. 551).

Regionale Klimamodelle dienen dazu, die konkreten Folgen des Klimawandels für die regionale Ebene darzustellen. Dafür werden in den einzelnen Studien verschiedene Modelle verwendet (z.B. REMO). In einigen Fällen wird außerdem auf das Simulationsmodell DIVA zurückgegriffen, welches aus dem Projekt DINAS-COAST hervorgegangen ist und anhand von physikalischen, ökologischen und sozio-ökonomischen Daten Projektionen zu Klimaverläufen und zum Meeresspiegelanstieg entwickelt. Feyen u. a. (2006) verwenden außerdem das hydrologische Modell LISFLOOD, welches anhand von Klimaprognosen Stromabflussschätzungen generiert.

Einige der Studien verwenden mehrere Szenarien, um die Unsicherheit und mögliche Bandbreite der Prognosen zu veranschaulichen. Richard und Nicholls (2009) bspw. kalkulieren ihre Ergebnisse für bis zu 14 verschiedene Meeresspiegelanstiegs- und Klimaszenarien. Diese ergeben sich aus der Kombination von drei verschiedenen Klimasensitivitäts-Szenarien mit zwei sozio-ökonomischen Szenarien, deren Auswirkungen unter Verwendung zweier unterschiedlicher Klimamodelle berechnet wurden, sowie zwei IPCC Extremszenarien, die die obere und untere Grenze repräsentieren.

### 3.2.2 Die Bewertung von Klimafolgen: Modelle und Methoden

Das bereits erwähnte DIVA-Modell beinhaltet neben der Datenbank zur Erstellung klimatischer Prognosen ein Modul, welches zur Ermittlung von Schadens- und Anpassungskosten verwendet werden kann. In drei der o.g. Studien wird dieses Modul für die monetäre Bewertung herangezogen.

gen (Richards und Nicholls 2009; Costa u. a. 2009; Hinkel u. a. 2010). Die Kosten werden hier mittels hinterlegter Schadensfunktionen kalkuliert. Schadensfunktionen basieren auf Regressionsanalysen und beschreiben den Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Überflutung und den verursachten Schäden. Denkbare Stellgrößen wären in diesem Zusammenhang die Überflutungshöhe, die Einstaudauer und die Fließgeschwindigkeit. In den betrachteten Studien wurde zumeist lediglich auf die Überflutungshöhe als bestimmende Größe zurückgegriffen. Im DIVA-Modell werden solche Kosten berücksichtigt, die mit Flusshochwasser, Meeresfluten, Salzwasservordringen, Gebietsverlusten infolge von Erosion und Überflutung und Migration in Verbindung stehen. Am Beispiel des Salzwasservordringens lässt sich die Ermittlung der Schadenskosten veranschaulichen: Da durch Salzwasservordringen die landwirtschaftlichen Erträge sinken und der Boden infolgedessen schätzungsweise nur noch halb so viel wert ist, wird der Wertverlust des landwirtschaftlichen Bodens als Annäherungswert für die Schadenskosten des Salzwasservordringens angenommen. Schadensfunktionen werden auch bei Elsner u. a. (2005) und bei Feyen u. a. (2006) verwendet. Elsner u. a. (2005) definieren in ihrer Studie zehn Schadensfunktionen in Abhängigkeit von der Überflutungshöhe (die zehn Schadensfunktionen wurden definiert für die Kapitalstöcke von verarbeitendem Gewerbe, Landwirtschaft, Handel und Verkehr, Dienstleistungen und vom Staat sowie für Vorratsvermögen, Wohnkapital, Hausrat, KFZ und Infrastruktur). Feyen u. a. (2006) bestimmen mithilfe von Schadensfunktionen die aktuellen und zukünftigen Hochwasserrisiken für Europa. Aufgrund der klimatischen Veränderungen wird ein gehäuftes Auftreten von Hochwasserereignissen erwartet, was eine Zunahme an Schadenskosten impliziert. In der Kalkulation der Schadenskosten greifen sie auf Schadensfunktionen zurück, die in Zusammenhang mit einer Studie von Van der Sande (2001) für ein Hochwasserereignis in den Niederlanden entworfen wurden. Diese Schadensfunktionen unterscheiden sich je nach Landnutzungstyp (konstantes Stadtgefüge, unterbrochenes Stadtgefüge, industrielle oder gewerbliche Einheiten, Verkehrsnetz, Baustellen, grünes Stadtgebiet, Sport- und Freizeiteinrichtungen, nicht-bewässertes anbaufähiges Land) und beschreiben das Schadensausmaß in Abhängigkeit von der Überflutungshöhe.

In der Studie von Sterr (2008), die sich z.T. auf Ergebnisse von Ebenhöf u. a. (1997) stützt, werden die ökonomischen Schäden abhängig von den bestehenden Landnutzungstypen (landwirtschaftliche Nutzfläche, Siedlungs- und Verkehrsfläche, öffentlicher Tiefbau, Wohnungen, Sachvermögen aller Wirtschaftsbereiche, sonstige Flächen) ermittelt. Das methodische Vorgehen wird leider in beiden Studien nicht genauer dokumentiert.

Elsner u. a. (2005) verwenden neben den bereits erwähnten Schadensfunktionen für die Abschätzung der Vermögensschäden ein regionalökonomisches Modell zur Bewertung der regionalwirtschaftlichen Effekte des Klimawandels. Ökonomische Bereiche, die in diesem Modell betrachtet werden, umfassen u. a. den Arbeitsmarkt, die Wertschöpfung, Preisentwicklungen, Steuererhebungen und Verteilungseffekte.

Die statistische Analyse von Tröltzsch u. a. (2012) stützt sich auf Ergebnisse aus vorhandenen Studien und integriert gewissermaßen das vorhandene Wissen zu den Kosten und Nutzen einzelner Anpassungsmaßnahmen zu einer Kosten-Nutzen-Analyse. Die Studie betrachtet in Zusammenhang mit dem Klimawandel die erhöhten Abwassereinträge in Gewässer infolge von Extremniederschlagsereignissen, die sich bei einer Mischkanalisation (Zusammenführung von Niederschlags- und Schmutzwasser) durch die Überlastung von vorhandenen Regenüberlaufbecken ergeben kann. Außerdem werden die verringerte Flusswasserführung in den Sommermonaten und die sich daraus ergebenden Folgen für die Wasserqualität untersucht.

In allen Studien wird auf die beträchtliche Unsicherheit hingewiesen, die mit den Aussagen und Ergebnissen einhergehen. Feyen u. a. (2006) und Hinkel u. a. (2010) stützen ihre Analyse auf zwei unterschiedliche Klimaszenarien und veranschaulichen damit die Unsicherheit der klimatischen

Entwicklungen. Richard und Nicholls (2009) versuchen die Unsicherheit durch eine Szenarienanalyse einzugrenzen und damit die mögliche Bandbreite der Ergebnisse darzustellen. Sie modellieren neben zwölf weiteren Szenarien die zwei Extremszenarien des IPCC (Meeresspiegelanstieg: 9cm und 88cm). In den Berechnungen ergeben sich für Deutschland jährliche Überflutungskosten von 232,6 Mio. Euro im low-SLR Szenario und 338,1 Mio. Euro im high-SLR Szenario (IPCC A2, Zeit-horizont: 2020, Annahme: es werden keine Anpassungsmaßnahmen getroffen). Je nach unterstelltem Szenario können die angenommenen jährlichen Klimaschäden also um über 100 Mio. Euro voneinander abweichen.

Auch die Diskontierung übt einen erheblichen Einfluss auf die Kalkulationen aus. Die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse von Elsner u. a. (2005) werden deshalb für verschiedene Diskontraten (0%, 2%, 5%) angegeben. Die Studie vom IPCC (1990) hingegen verzichtet auf eine Diskontierung, d.h. unterstellt eine Diskontrate von 0. Damit lassen sich die Ergebnisse so interpretieren, als ob der simulierte Meeresspiegelanstieg von 1 m heute erfolgen würde. In den anderen Studien wird nicht erwähnt, ob eine Diskontierung der Werte vorgenommen wird.

Wie beispielsweise die Studie von Sterr (2008) offenbart, ist auch das regionale Aggregationslevel der Studien entscheidend für die berechneten Ergebnisse. Er führt neben der makroskaligen nationalen Untersuchung eine mesoskalige Studie für Schleswig-Holstein und eine mikroskalige Studie für Orte innerhalb Schleswig-Holsteins durch und gelangt z.T. zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. So beträgt in der makroskaligen Untersuchung für Schleswig-Holstein die errechnete Summe der gefährdeten Vermögenswerte 31 Mio. Euro/km<sup>2</sup>. In der mesoskaligen Untersuchung ergibt sich hingegen für dieselbe Region ein Wert von 48 Mio. Euro/km<sup>2</sup>. Dies zeigt, dass die räumliche Aggregation einen großen Einfluss auf die Ergebnisse ausübt. Ähnlich wie bei Sterr (2008) führen auch Elsner u. a. (2005) Berechnungen für unterschiedliche Aggregationsebenen durch. In einer aktualisierten Fassung des DIVA-Modells kann auf neuere Daten zurückgegriffen werden, so dass die Aggregation statt 1 km nun nur noch 90 m betrifft. Hinkel u. a. (2010) beziehen sich bereits auf die neuen Daten, während bei Richard und Nicholls (2009) und Costa u. a. (2009) noch die alten Daten verwendet werden. In der Studie von Feyen u. a. (2006) besteht die Problematik, dass für die beiden Klimaszenarien unterschiedliche Aggregationslevel gewählt werden (für A2 12 km und für B2 50 km), was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigt. Zudem ist die räumliche Auflösung ähnlich wie beim IPCC (1990) sehr grob gewählt, wodurch sich beträchtliche Informationsverluste nicht vermeiden lassen.

**Tab. 3.2: Methodisches Vorgehen ausgewählter Studien – Küsten- und Hochwasserschutz**

	Bewertung von Klimaauswirkungen		Bewertung von Anpassungsmaßnahmen		Methodische Aspekte		
Studie	Betrachtete Schadenskategorien	Bewertungsmethode	Betrachtete Anpassungsmaßnahmen	Bewertungsmethode	Diskontierung	Unsicherheit	Regionale Aggregation
Costa u. a. (2009)	Überflutung, Trockengebietsverluste, Feuchtgebietsverluste, Meerwasservordringen, Migrationskosten	DIVA costing and adaptation module	Deicherhöhung, Sandaufschüttung	DIVA costing and adaptation module	-	-	1 km
Elsner u. a. (2005)	Sachschäden, ökologische Schäden und Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzverluste	Sachschäden: Schadensfunktion Ökologische Schäden: Benefit-Transfer Realwirtschaftseffekte: regionalökonometr. Modell	Deichbau, Deichrückverlegung bzw. Errichtung einer zweiten Deichlinie, Bau von Sperwerken	Kostenfunktionen	0%, 2% und 5%	Sensitivitätsanalyse durch unterschiedliche Diskontierungsraten	Zum Teil makro-, mikro- und mesoskali-ge Betrachtung
Feyen u. a. (2006)	Finanzieller Schaden als abhängig vom Pegelstand und Landnutzungstypologien	Schadensfunktionen	-	-	-	Zwei Klimaszenarien	12 km für A2 Szenario 50 km für B2 Szenario
Hinkel u. a. (2010)	Überflutung, Trockengebietsverluste, Feuchtgebietsverluste, Meerwasservordringen, Migrationskosten	DIVA costing and adaptation module	Deicherhöhung, Sandaufschüttung	DIVA costing and adaptation module	-	Zwei Klimaszenarien	90 m
IPCC (1990)	-	-	Deiche, Dämme, Schleusen, Inselerhöhung, Sandaufschüttung	Unterschiedliche Kostenfunktionen für einzelnen Anpassungsmaßnahmen	Keine Diskontierung, es wird quasi angenommen, dass der SLR "Morgen" eintritt	-	Hohes Aggregationslevel, nicht weiter spezifiziert



Richards und Nicholls (2009)	Überflutung, Trockengebietsverluste, Feuchtgebietsverluste, Meerwasservordringen, Migrationskosten	DIVA costing and adaptation module	Deicherhöhung, Sandaufschüttung	DIVA costing and adaptation module	-	Unsicherheitsanalyse durch Modellierung der IPCC Grenzwerte (9 cm und 88 cm SLR)	1 km
Sterr (2008)	Sachschäden, Zusatzkosten im Bereich Grundwasser- und Abflussmanagement	Vulnerabilitätsanalyse	Deichbau, Maßnahmen im Abfluss- und Grundwassermanagement	-	-	-	verschiedene Skalen: national, mesoskalig (SH) und mikroskalig
Tröltzsch u. a. (2012)	Verunreinigung der Gewässer durch Abwassereinleitung infolge von Extremniederschlägen und niedrige Flusswasserführung	Statistische Analyse	Deichbau, Sandvorspülung, Regenüberlaufbecken, technologische Anpassung der Kläranlagenablaufqualität	Statistische Analyse	-	Sensitivitätsanalyse	-

### 3.2.3 Die Bewertung von nicht-marktfähigen Gütern

Als dritten Bestandteil ihrer Studie untersuchen Elsner u. a. (2005) die Auswirkungen des Klimawandels auf die Ökologie. Als einzige der betrachteten Studien nehmen sie damit die Bewertung eines nicht-marktfähigen Gutes vor. Die Bewertung erfolgt durch Anwendung der Methode „Benefit Transfer“. Beim Benefit Transfer wird eine Studie ausgemacht, die mittels einer Erhebung von Zahlungsbereitschaften eine Umweltgüterbewertung vorgenommen hat und in Bezug auf die Fragestellung und die Erhebungssituation mit der eigenen Studie weitestgehend übereinstimmt. Über Umrechnungen werden die Ergebnisse dieser Studie dann auf den eigenen Fall übertragen. Unter der von Elsner u. a. (2005) getroffenen Annahme, dass auf 5% des Überflutungsgebietes ökologische Schäden auftreten<sup>5</sup>, ergeben sich für die acht Fokusregionen (Wangerooze, Wangerland, Wilhelmshaven, Butjadingen, Brake, Bremen, Bremerhaven und Wursten) ökologische Schäden in Höhe von 6,66 Mio. Euro. Im Worst-Case-Szenario sind es sogar 11,2 Mio. Euro. Auch die Studie von Tröltzsch u. a. (2012) berücksichtigt Ökosystemdienstleistungen der Gewässer, speziell die Reinigungsfunktion, Freizeitfunktion und Wasserversorgungsfunktion und deren Gefährdung durch eine zunehmende Eutrophisierung. Sie stützen sich dabei auf Berechnungen von Costanza u. a. (1997), deren Bewertung auch auf der Methode des Benefit Transfer basiert. Als Ausgangspunkt wurden dafür 100 vorangegangene Studien analysiert, die sich bereits mit der Messung von Ökosystemdienstleistungen befasst haben.

In Hinkel u. a. (2010), Richards und Nicholls (2009), Elsner u. a. (2005), Feyen u. a. (2006) und Sterr (2008) wird zwar in irgendeiner Weise auf die Anzahl der von Überflutung betroffenen Personen eingegangen, eine explizite Bewertung der gesundheitlichen Schäden erfolgt jedoch aufgrund der methodischen Schwierigkeiten in keiner der Studien. Im DIVA-Modell werden zwar Migrationskosten berücksichtigt, jedoch bleibt unklar, ob diese auch soziale und gesundheitliche Kosten repräsentieren sollen. Für jeden Bewohner eines wiederholt überfluteten Gebietes wird als Migrationskosten das Dreifache des national durchschnittlichen Pro-Kopf-Einkommens angenommen. Auf welchen Überlegungen diese Formel basiert und welche Kosten sie einschließen soll, wird leider nicht dokumentiert.

### 3.2.4 Die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen: Modelle und Methoden

Allein eine Bewertung von Anpassungsmaßnahmen (unabhängig von einer Klimafolgenbewertung) erfolgt in einer Studie vom IPCC (1990). Hier werden vielfältige Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt, u. a. verschiedene Formen von Deichbau und -erhöhung, Schleusen, Inselerhöhungen und Sandaufschüttung. Dabei sollen Sandaufschüttungen Landverlusten durch Erosion vorbeugen. Die Relevanz einzelner Maßnahmen wird abhängig von den vorliegenden regionalen Strukturen bewertet. So werden für Häfen andere Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt als für tiefliegende Küstenstreifen. Mithilfe von Kostenfunktionen, die auf länderspezifische Merkmale eingehen, werden dann die jährlichen Kosten für Schutzmaßnahmen in den nächsten 100 Jahren berechnet.

Wie bereits erwähnt, enthält das DIVA-Modell ein Modul zur Bewertung von Anpassungsmaßnahmen. Die darin berücksichtigten Anpassungsmaßnahmen umfassen Deiche und Sandaufschüt-

---

<sup>5</sup> Elsner u. a. (2005) berechnen die Auswirkungen für verschiedene Schädigungsquoten (1%, 2% und 5%). Dabei wird aufgrund der Beschaffenheit der Küstenlandschaft eine maximale Schädigung von 5% angenommen.

tung. Es kann zwischen verschiedenen Anpassungsszenarien ausgewählt werden. So wird als Vergleichsbewertung ein BAU-Szenario berücksichtigt, welches keine Anpassungsmaßnahmen sondern lediglich Instandhaltungskosten bestehender Schutzmaßnahmen einbezieht. In Alternativszenarien können Anpassungsmaßnahmen von unterschiedlichem Ausmaß modelliert werden. Aus den vermiedenen Schäden im gewählten Anpassungsszenario gegenüber dem BAU-Szenario ergibt sich dann der Nutzen aus den Anpassungsmaßnahmen. Die vermiedenen Schäden belaufen sich für Deutschland laut Costa u. a. (2009) auf etwa 1,4 % des BIP, während die Anpassungskosten bei lediglich 0,01% des BIP liegen, woraus sich ein eindeutig positiver Nettonutzen aus Anpassungsmaßnahmen ergibt (Zeithorizont: 2100, angenommenes Anpassungsszenario: Küste vor 100-Jahresflut geschützt).

In Elsner u. a. (2005) werden die folgenden Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt: Deicherhöhungen, Deichrückverlegungen bzw. Errichtung einer zweiten Deichlinie und der Bau von Sperrwerken an Jade und Weser. Die Bewertung der Anpassungsmaßnahmen erfolgt anhand von maßnahmenspezifischen Kostenfunktionen.

Sterr (2008) diskutiert und bewertet neben Deichbaumaßnahmen die notwendigen Anpassungen im Grund- und Abwassermanagement. Leider geht er in seinem Artikel nicht auf die Modelle und Methoden seiner Analyse ein.

Tröltzsch u. a. (2012) bewerten neben Deichbaumaßnahmen und Sandvorspülung auch solche Anpassungsmaßnahmen, die notwendig sind, um die Wasserqualität konstant zu halten, die sich in Zusammenhang mit dem Klimawandel in Form von verminderter Flusswasserführung im Sommer und erhöhter Abwassereinleitung infolge von Extremniederschlägen verschlechtern würde. Da die Tragfähigkeit der Gewässer für Abwassereinleitungen bei verminderter Flusswasserführung sinkt, werden hier technologische Anpassungsmaßnahmen an Kläranlagen diskutiert. Im Fall der erhöhten Extremniederschläge könnten Regenüberlaufbecken eine zusätzliche Abwassereinleitung verhindern. Im Fall der beiden letztgenannten Anpassungsmaßnahmen übersteigen jedoch die Kosten den geschätzten Nutzen. Tröltzsch u. a. (2012) weisen allerdings auf die großen Unsicherheiten hin, die mit der Nutzenbewertung dieser Anpassungsmaßnahmen verbunden sind.

**Tab. 3.3 Einige Werte aus ausgewählten Studien<sup>6</sup>**

Studie	Szenario		Schadenskosten	Anpassungskosten	Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) <sup>7</sup>	Maßeinheiten
Costa u. a. (2009)	2100	A2	1,40%	0,10%		% des BIP HIER: Schäden=vermiedene Schäden durch Anpassung
Elsner u. a. (2005)	2050	KRIM-Szenario			20,63	NKV für Deicherhöhung (geg. 2% Schädigungsquote, keine Diskontierung)
	2050	ANATOL			59,50	
Feyen u. a. (2006)	2071-2100	A2	18,5 Mrd. €			Anstieg der Kosten einer 100-Jahresflut im Vergleich zum Kontrollscenario
		B2	8,5 Mrd. €			
Hinkel u. a. (2010)	2100	A2 (ohne Anpassung)	16,933 Mio. €	0		Jährliche (Residual-)schadenskosten bzw. Anpassungskosten nach Szenarien
		B1 (ohne Anpassung)	17,496 Mio. €	0		
		A2 (mit Anpassung)	2,291 Mio. €	3,536 Mio. €	4,14	
		B1 (mit Anpassung)	1,917 Mio. €	2,621 Mio. €	5,94	
Richard und Nicholls (2009)	2080's	IPCC low SLR A2 (ohne Anpassung)	782,2 Mio. €	0		Jährliche (Residual-)schadenskosten bzw. Anpassungskosten nach Szenarien
		IPCC high SLR A2 (ohne Anpassung)	2607,6 Mio. €	0		
		IPCC low SLR A2 (mit Anpassung)	344,6 Mio. €	45,4 Mio. €	9,64	
		IPCC high SLR A2 (mit Anpassung)	686,9 Mio. €	414,6 Mio. €	4,63	

<sup>6</sup> Die Vergleichbarkeit der Werte ist aufgrund der Unterschiede in Methoden, Zeithorizonten und Szenarien nicht gegeben. Zudem wurden zumeist verschiedene Anpassungsmaßnahmen und Klimaschäden berücksichtigt.

<sup>7</sup> Das Nutzen-Kosten-Verhältnis wurde bis auf bei Elsner u. a. (2005) eigenhändig anhand der in den Studien angegebenen Werte ermittelt.

Sterr (2008)	2100	1 m SLR	7,5 Mrd. DM	> 910 Mio. DM		Jährliche Schadens- bzw. Anpassungskosten
Tröltzsch u. a. (2012)	2100	20% Anstieg der 2-5-jährlichen Extremniederschlagsereignisse	75,8 Mio. €	31 Mio. €	0,41	Jährliche Kosten und Nutzen von Regenüberlaufbecken

### 3.2.5 Schlussbemerkungen

Aufgrund der langbestehenden Problematik im Küsten- und Hochwasserschutz gibt es hier bereits einen guten Bestand an Studien, die eine gründliche Klimafolgenbewertung oder eine Bewertung von Anpassungsmaßnahmen vornehmen. Im Allgemeinen ergibt sich in den betrachteten Studien für Deutschland ein erheblicher Nutzen aus vorbeugenden Anpassungsmaßnahmen. Allerdings werden in den meisten Studien einige Aspekte nach wie vor unzureichend berücksichtigt. Diese betreffen vorwiegend nicht-handelbare und somit schwer quantifizierbare Größen, wie z.B. psychische und ökologische Schäden. Auch die Betrachtung in einem Gleichgewichtsmodell könnte aufschlussreich sein, da hier indirekte Effekte mit berücksichtigt würden.

Zudem werden in einigen der betrachteten Studien stark vereinfachende Annahmen getroffen. So berechnen Feyen u. a. (2006) keine bestehenden Schutzvorrichtungen in ihre Analyse mit ein, was eine Überschätzung der Klimaauswirkungen zur Folge hat.

## 3.3 Gesundheit

Die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit sind vielfältiger Natur, nicht immer eindeutig negativ oder positiv und sehr unterschiedlich in Hinblick auf ihren Wirkungsgrad. So kann ein Temperaturanstieg zum einen zu einer erhöhten Mortalität in den Sommermonaten führen, zum anderen jedoch einen Rückgang der Mortalität im Winter nach sich ziehen. Eine weitere Wirkungsebene des Klimawandels liegt in der Übertragung und Ausbreitung von vektorübertragenen Krankheiten, Lebensmittelvergiftungen, wasserbürtigen Krankheiten und Allergien. Während das Klima bei Vektorenkrankheiten nur einer von vielen Einflussfaktoren ist und insbesondere für Europa von geringer Relevanz ist, so ist der Einfluss auf Salmonellen erheblich – schätzungsweise 35% der Salmonellenerkrankungen sind auf klimatische Bedingungen zurückzuführen (Watkins u. a. 2009, S. 8). Auch die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen unterliegt den Einflüssen des Klimawandels und birgt Gesundheitsgefahren, denn das Auftreten von Hitze- und Kältewellen, sowie Flutkatastrophen kann die Mortalität erhöhen und sowohl physische als auch psychische Folgen haben. Insbesondere in stark urbanisierten Regionen kann das Hitzeproblem durch den Hitzeinseleffekt noch beträchtlich verschärft werden. Wirksame Anpassungsmaßnahmen im gesundheitlichen Bereich wären etwa Hitzewarnsysteme, verstärkte Klimatisierung sowie Krankheitsvorbeugung und -bekämpfung.

### 3.3.1 Betrachtete Studien und ihre Klimaszenarien

Zahlreiche Studien befassen sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit und möglichen Anpassungsmaßnahmen, jedoch nimmt nur ein kleiner Teil davon eine ökonomische Bewertung vor. Dies hängt in erster Linie damit zusammen, dass es sich beim Gesundheitsbereich um einen Sektor handelt, der primär aus nicht-handelbaren Leistungen besteht und man hier vor

großen Schwierigkeiten steht, wie beispielsweise der Bewertung von Menschenleben. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, konkrete Werte bspw. anhand von Marktpreisen oder Versicherungsdaten abzulesen. Vielmehr bedarf es hier der Anwendung neuer alternativer Bewertungsansätze. Als Ergebnis unserer Recherche konnten wir vier Studien ausfindig machen, die eine solche Bewertung vorgenommen haben. Tab. 3.4 gibt einen Überblick über diese Studien und ihre zugrundeliegenden Klimaszenarien.

**Tab. 3.4 Studien zu Gesundheit**

Studie	Region	Beschreibung	Klimaszenario
Hübler u. a. (2007)	Deutschland	Mittels der Berechnung zusätzlicher Krankenhauskosten und Produktivitätseinbußen aufgrund zunehmender Hitze, werden die gesundheitlichen Kosten des Klimawandels abgeschätzt.	IPCC Szenarien A2, A1B und B1 (in ökonomischer Analyse nur A1B)
Hübler (2008)	Bayern	Ziel und Vorgehen dieser Studie stimmen weitestgehend mit Hübler u. a. (2007) überein, allerdings ist die Auswertung in diesem Fall auf die Region Bayern beschränkt.	IPCC Szenario A1B
Tröltzsch u. a. (2012)	Deutschland	Die Einführung von Hitzewarnsystemen und Kühlanlagen in Krankenhäusern werden in dieser Studie einer Kosten-Nutzen-Analyse unterzogen.	IPCC Szenarien (basierend auf Hübler u. a. (2007))
Watkiss u. a. (2009)	EU	Als Teil des PESETA-Projekts werden in dieser Studie gesundheitliche Klimafolgen betrachtet und z.T. auch einer Bewertung unterzogen.	IPCC Szenarien A2 und B2

Die Entwicklung der Klima-Szenarien stützt sich in allen Studien auf die SRES Szenarien des IPCC. Zur Abbildung der konkreten regionalen Klimaszenarien verwenden Hübler u. a. (2007) und Hübler (2008) das REMO-Modell des Max Planck Instituts. Watkiss u. a. (2009) verwenden zwei unterschiedliche Klimamodelle, um modellspezifische Unsicherheiten deutlich zu machen.

Hübler u. a. (2007) und Hübler (2008) nutzen die Daten aus REMO, um mithilfe des Klima-Michel-Modells die „gefühlte Temperatur“ zu bestimmen. Sie legen all ihren Untersuchungen die gefühlte Temperatur zugrunde. Hier spielen neben der gemessenen Temperatur unter anderem auch die Windverhältnisse, die Luftfeuchtigkeit und die Kleidung eine Rolle.

### 3.3.2 Die Bewertung von Klimafolgen: Modelle und Methoden

Bei Hübler u. a. (2007) und Hübler (2008) werden als Indikatoren für die Bewertung von gesundheitlichen Klimafolgen die zusätzlichen hitzebedingten Krankenhauskosten und Produktivitätsverluste mithilfe von statistischen Schätzfunktionen berechnet. In der Berechnung der Krankenhaus-

kosten wird für die Zeitperiode 2071-2100 unter Berücksichtigung demographischer Veränderungen (Bevölkerungswachstum, Altersstruktur) ein Anstieg hitzebedingter Kosten von 221,6 Mio. Euro p.a. errechnet. Die gesamten hitzebedingten Krankenhauskosten (unter Einbeziehung der aktuellen hitzebedingten Kosten und der Kosten, die einer zunehmenden Alterung der Bevölkerung zuschreiben sind) werden für dieselbe Zeitperiode auf 494,7 Mio. Euro p.a. geschätzt. In der Berechnung des Produktivitätsverlustes wird der hitzebedingte Rückgang der gesamtwirtschaftlichen Produktion gemessen. Da der Einfluss von Hitze auf die Arbeitsproduktivität nicht klar ist, werden hier zwei unterschiedliche Einflusswerte berücksichtigt. Im einen Fall wird angenommen, dass Hitze die Arbeitsproduktivität um lediglich 3% reduziert, während im anderen Fall 12% angenommen werden. Gegeben der Einfluss von Hitze auf die Arbeitsproduktivität beträgt 3%, so ergibt sich als Produktivitätsverlust 2,5 Mrd. Euro bzw. 0,12% des BIP. Nehmen wir eine hitzebedingte Reduktion der Produktivität von 12% an, so liegt der errechnete Wert bei 10,4 Mrd. Euro bzw. 0,48 % des BIP.

Die Untersuchungen von Tröltzsch u. a. (2012) beziehen sich zum Teil auf die Ergebnisse von Hübler u. a. (2007). Allerdings wird hier neben zusätzlichen Krankenhauskosten und Produktivitätsverlusten auch eine Bewertung der zusätzlichen Hitzetoten anhand des Value of Life Year (VOLY) durchgeführt. Dieser legt einen Wert von 59.000 Euro für jedes entgangene Lebensjahr zugrunde. Tröltzsch u. a. (2012) nehmen einen Verlust von 8 Lebensjahren für jeden Hitzetoten an und kommen so auf einen „Schaden“ von 2,36 Mrd. Euro jährlich.

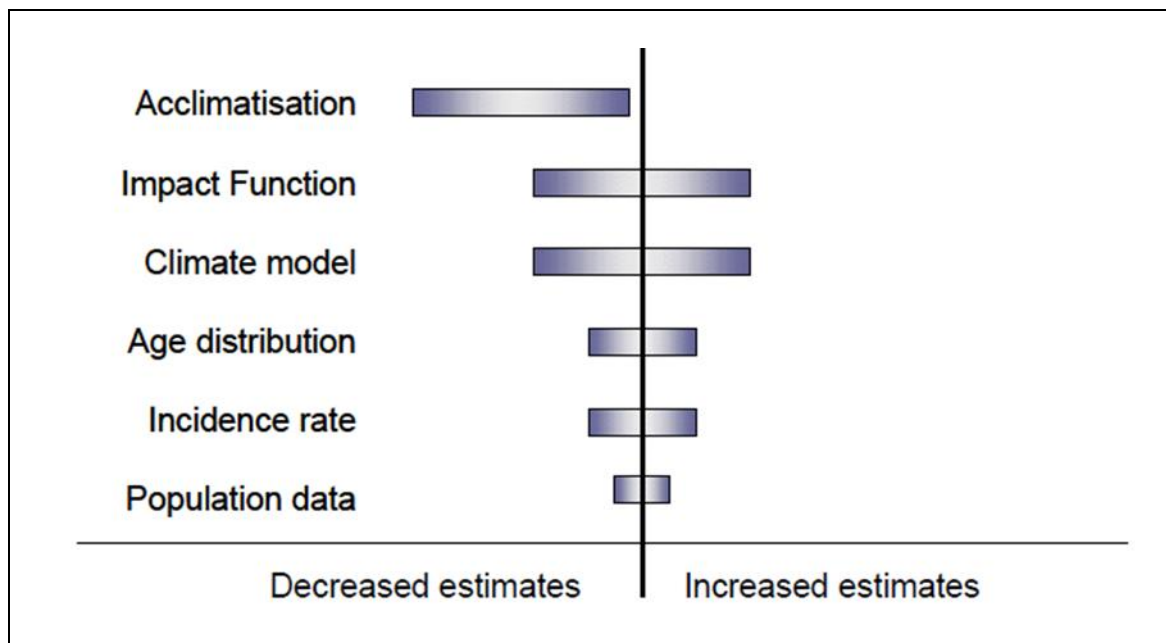
Watkiss u. a. (2009) versuchen in ihrer Analyse sowohl Ressourcenkosten, als auch Opportunitätskosten und individuelle Nutzenverluste durch Klimafolgen im Gesundheitsbereich zu erfassen. Ihre Bewertung berücksichtigt Schadenskosten durch zunehmende Mortalität, Salmonellenerkrankungen und Depressionen. Die klimawandelbedingte Mortalität wird mit zwei unterschiedlichen Modellen abgeschätzt, die die Abhängigkeit der Mortalität vom Temperaturverlauf in unterschiedlicher Weise beschreiben. Während das eine Modell länderspezifische Funktionen aufstellt, orientieren sich die Funktionen in dem anderen Modell an den klimatischen Regionen. Für die Bewertung der klimawandelinduzierten Mortalität werden die beiden Methoden Value of Statistical Life (VSL) und Value of Life Year Long (VOLY) angewendet, deren Berechnungen sich auf die aggregierten Zahlungsbereitschaften der gefährdeten Bevölkerungsgruppe für eine Risikominderung beziehen. Die Anwendung der beiden Methoden führt zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. So werden für hitzebedingte Mortalität unter Anwendung des VOLY europaweit jährliche Schäden von 50.664 Mio. Euro berechnet, während unter dem gleichen Szenario die Anwendung des VSL-Ansatz Schäden in Höhe von jährlich 119.146 Mio. Euro ergibt (Szenario: A2, Zeitraum: 2071-2100, Klimamodell: HIRHAM/HadAM3H, keine Akklimatisierung). In der Bewertung von Salmonellenerkrankungen werden lineare länderspezifische Funktionen angewendet, die den Zusammenhang zwischen der Anzahl der gemeldeten Salmonellenerkrankungen und den klimatischen Bedingungen skizzieren. Da unklar ist, wie viel Prozent der gesamten Salmonellenerkrankungen tatsächlich gemeldet werden, wird die Analyse für zwei Werte durchgeführt. In der einen Berechnung wird unterstellt, dass 1% der gesamten Erkrankungen gemeldet werden, während in der anderen Berechnung eine 5%-Meldequote angenommen wird. Unter dem A2-Szenario werden für 2071-2100 Zusatzkosten durch Salmonellenerkrankungen von 2.8 bis 5.7 Mrd. Euro p.a. (5 % Meldequote) bzw. 14 bis 28 Mrd. p.a. (1 % Meldequote) prognostiziert. Neben Mortalität und Salmonellenerkrankungen berücksichtigen Watkiss u. a. (2009) die psychischen Kosten, die durch das Auftreten von Flutkatastrophen hervorgerufen werden. Hierbei werden lediglich die Behandlungskosten berücksichtigt, die für den Betrachtungszeitraum 2071-2100 auf 1 bis 1,4 Mrd. Euro jährlich geschätzt werden (Szenario A2, high SLR).

Bereits in den vorherigen Absätzen wurde erwähnt, dass in den Studien an verschiedenen Stellen Sensitivitätsanalysen durchgeführt wurden, um Unsicherheiten der Methoden mit einzuberechnen.

Bei Hübler u. a. (2007) schwanken bei Variation der Parameter um  $\pm 30\%$  die prognostizierten hitzebedingten Krankenhauskosten zwischen 300 und 700 Mio. Euro p.a. In der Studie von Watkiss u. a. (2009) werden die Unsicherheiten an unterschiedlicher Stelle durch Parametervariationen und durch Anwendung zweier unterschiedlicher Modelle bei der Berechnung der temperaturbedingten Mortalität berücksichtigt. Allein die Anwendung der beiden Modelle zeigt abweichende Resultate von bis zu 50%. In Abb. 3.1 veranschaulichen Watkiss u. a. (2009) die Modellunsicherheiten, die an den verschiedenen Stufen der Quantifizierung auftreten und deuten an, in welchem Ausmaß und in welche Richtung sie das Schätzergebnis beeinflussen. Aufgrund der zahlreichen Unsicherheiten schätzen Watkiss u. a. (2009), dass die Bandbreite der Ergebnisse vermutlich mindestens zwei Größenordnungen des berechneten Schätzergebnisses umspannt.

Die Studie von Watkiss u. a. (2009) verzichtet auf eine Diskontierung und gibt alle Werte zu aktuellen Preisen an und ohne die Werte in irgendeiner Form zu bereinigen. Hübler u. a. (2007) und Hübler (2008) geben in ihren Studien nicht an, ob sie eine Diskontierung vorgenommen haben.

In Hübler u. a. (2007) werden die physischen Auswirkungen des Klimawandels für Deutschland auf dem Aggregationslevel des REMO-Modells berechnet ( $10 \text{ km}^2$ ). Die Schätzfunktionen der ökonomischen Bewertung berücksichtigen dann jedoch lediglich die höher aggregierten Daten für die Bundesländerebene. Das genaue methodische Vorgehen und das zugrundeliegende Aggregationslevel bleiben in der Studie von Hübler (2008) unklar. Die Studie von Watkiss u. a. (2009) wählt für ihre Untersuchung des europäischen Raums ein Aggregationslevel von  $2500 \text{ km}^2$  ( $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$  Raster).



**Abb. 3.1: Unsicherheiten in der Studie von Watkiss u. a. (2009, S. 38)**



**Tab. 3.5: Methodisches Vorgehen ausgewählter Studien – Gesundheit**

	Bewertung von Klimaauswirkungen		Bewertung von Anpassungsmaßnahmen		Methodische Aspekte		
Studie	Betrachtete Schadenskategorien	Bewertungsmethode	Betrachtete Anpassungsmaßnahmen	Bewertungsmethode	Diskontierung	Unsicherheit	Regionale Aggregation
Hübler u. a. (2007)	Zusätzliche hitzebedingte Krankenhauskosten und hitzebedingte Produktivitätsverluste	Schätzfunktionen	-	-	-	Sensitivitätsanalysen	Bundesländerebene
Hübler (2008)	Zusätzliche hitzebedingte Krankenhauskosten und hitzebedingte Produktivitätsverluste	Schätzfunktionen	-	-	-	Sensitivitätsanalysen	Unklar, Ergebnisse werden für Bayern dargestellt
Tröltzsch u. a. (2012)	Krankenhauskosten, Produktivitätsverluste, Mortalität	Statistische Analyse basierend u. a. auf Ergebnissen von Hübler u. a. (2007)	Hitzewarnsysteme, aktive und passive Kühlung in Krankenhäusern	Statistische Analyse	-	Sensitivitätsanalyse	-
Watkiss u. a. (2009)	Klimabedingte Mortalität und Salmonellen-erkrankungen, psychische Kosten infolge von Flutkatastrophen	Mortalität: Value of Statistical Life (VSL) und Value of Life Year Long (VOLY)  Salmonellen: lineare länderspezifische Funktionen (abhängig von Temperatur)  Psychische Kosten: Behandlungskosten	Akklimatisierung	Value of Statistical Life (VSL) und Value of Life Year Long (VOLY)	Keine Diskontierung	Sensitivitätsanalysen	250 km <sup>2</sup>

### 3.3.3 Die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen: Modelle und Methoden

In der Untersuchung von Hübler u. a. (2007) und Hübler (2008) werden keine Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt. Aus diesem Grunde werden die Ergebnisse insbesondere für die klimawandelbedingten Produktivitätsverluste im Schlusskapitel relativiert und sozusagen als Obergrenze der möglichen Schadenskosten bezeichnet. Denn es ist unwahrscheinlich, dass weder eine autonome Anpassung (physiologisch z.B. durch Veränderung des Blutkreislaufs und verhaltensorientiert z.B. durch Anpassung der Kleidung) noch eine technische Anpassung (z.B. Klimatisierung, Hitzewarnsysteme) erfolgt.

Tröltzsch u. a. (2012) betrachten sowohl Hitzewarnsysteme als auch passive und aktive Kühlung in Krankenhäusern. Ausgehend von der Annahme, dass Hitzewarnsysteme 30% der Hitzetode verhindern können, ergibt sich ein Nutzen von 2,5 Mrd. Euro pro Jahr der Kosten von lediglich 5 Mio. Euro jährlich gegenübersteht. Allerdings relativieren Tröltzsch u. a. (2012) ihr Ergebnis, da vermutlich auch ohne Hitzewarnsysteme eine Verhaltensanpassung erfolgen würde. Die Zusatzkosten durch passive und aktive Kühlung in Krankenhäusern belaufen sich laut Tröltzsch u. a. (2012) auf 150 bis 475 Mio. Euro jährlich und stehen einem Nutzen von 188 bis 274 Mio. Euro gegenüber, der sich aus den entgangenen Produktivitätsverlusten des Krankenhauspersonals und vermiedenen Krankenhauskosten ergibt. Hier ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis also nicht so eindeutig wie im Fall der Hitzewarnsysteme.

Der Aspekt der autonomen Anpassung wird bei Watkiss u. a. (2009) in der Bewertung der Mortalität berücksichtigt und beeinflusst die Ergebnisse erheblich. Es wird eine lineare und fixe Anpassungsregel angenommen, die aussagt, dass alle 30 Jahre eine Akklimatisierung von 1°C erfolgt. Die geschätzte Anzahl der durch den Klimawandel verursachten Mortalität ist unter der Annahme von Akklimatisierung um ca. das fünffache niedriger als ohne Berücksichtigung von Akklimatisierung. Jedoch geben Watkiss u. a. (2009) zu Bedenken, dass die Akklimatisierungsrate eventuell eine zu schnelle Anpassung unterstellt, was zu einer Unterschätzung der Ergebnisse führen würde (siehe Abb. 3.1).

### 3.3.4 Schlussbemerkungen

Die Bewertung von gesundheitlichen Klimafolgen wird dadurch erschwert, dass die Einflüsse vielfältig und oftmals nicht einfach zu quantifizieren sind. Darüber hinaus wird eine Bewertung z.B. von Mortalität aus ethischen Gründen häufig kritisiert. Vermutlich gibt es aus den genannten Gründen nur so wenige Studien, die sich diesem Thema widmen.

Die beschriebenen Studien haben nicht den Anspruch, eine vollständige Betrachtung aller Klimaauswirkungen im Gesundheitsbereich durchzuführen. Vielmehr konzentrieren sie sich auf bestimmte Teilaspekte und versuchen, erste Kennzahlen möglicher Klimaschäden dort zu liefern. Zum Teil basieren die Ergebnisse auf stark vereinfachenden und unsicheren Annahmen. So wird z.B. bei Hübler u. a. (2007) in der Untersuchung der hitzebedingten Produktivitätseinbußen weder zwischen Innen- und Außendienst noch zwischen mentaler und physischer Arbeit unterschieden. Dabei würde man annehmen, dass in Deutschland ein Großteil der Wertschöpfung im Innendienst generiert wird, wo durch Anpassungsmaßnahmen wie Klimaanlage hitzebedingte Produktivitätsverluste fast gänzlich verhindert werden können. Allerdings wird in dem Szenario von Hübler u. a. (2007) keine Anpassung berücksichtigt, weshalb eine hohe Überschätzung der berechneten Pro-

duktivitätseinbußen anzunehmen ist. Das Beispiel soll deutlich machen, dass vereinfachende Annahmen die Ergebnisse hier eventuell entscheidend beeinflussen bzw. verzerren können.

Einige Aspekte gesundheitlicher Klimawirkungen wurden bisher noch keiner Quantifizierung unterzogen. Beispielsweise werden die Auswirkungen von Extremereignissen nur unzureichend betrachtet. Extremereignisse können Todesopfer fordern, physische und psychische Schäden verursachen und die Ausbreitung von Infektionskrankheiten nach sich ziehen. Watkiss u. a. (2009) nähern sich der Bewertung dieses Bereiches, indem sie die die Behandlungskosten infolge flutinduzierter psychischer Belastung berechnen. Auch die Ausbreitung von Krankheiten wird durch Klimaveränderungen beeinflusst und ist bislang nur durch eine Bewertung der Salmonellenerkrankungen bei Watkiss u. a. (2009) berücksichtigt worden.

## 4 Fazit

Was wissen wir nun über die Kosten und Nutzen der zukünftigen Folgen des Klimawandels für Deutschland sowie über die Kosten und Nutzen der Anpassung? Über die gesamtökonomischen Auswirkungen in Deutschland ist das Wissen sehr begrenzt. Dies liegt zum einen an den wenigen Studien, die sich damit befassen haben. Zum anderen liegt es aber auch daran, dass die im Rahmen dieser Untersuchung identifizierten Studien bei ihren Bewertungen idealisierte Annahmen treffen, die es unmöglich machen, die Relevanz der Ergebnisse für die existierende Ökonomie einzuschätzen.

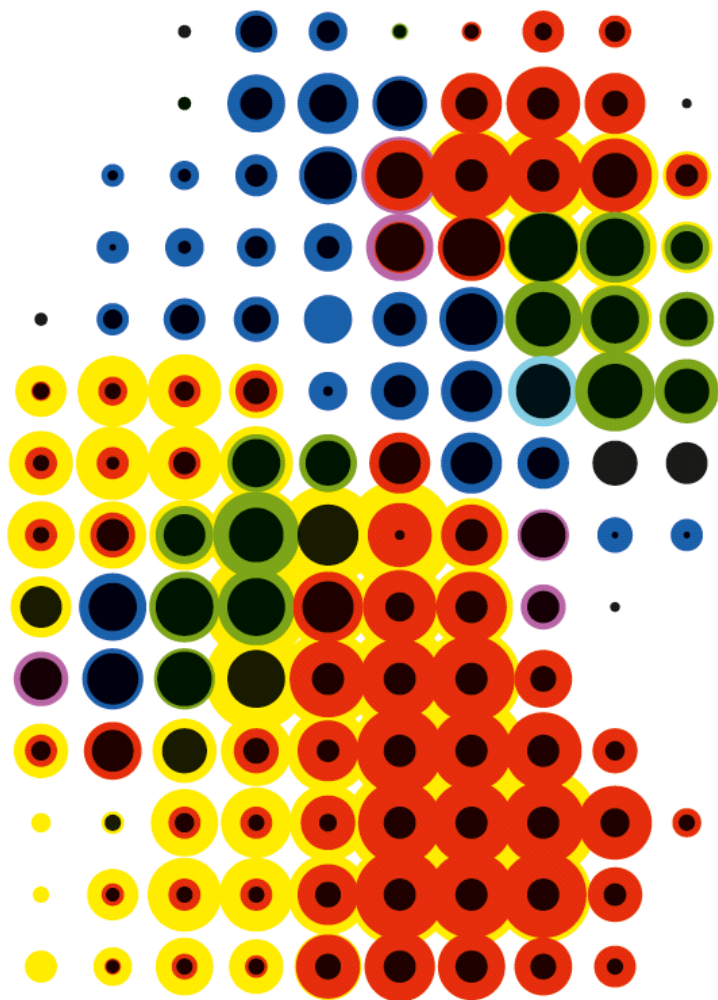
Aussagekräftiger sind hingegen sektorale Bewertungsstudien. Beispielsweise weisen Studien ein Nutzen-Kosten-Verhältnis aus den Anpassungsmaßnahmen im Küsten- und Hochwasserbereich in einer Bandbreite zwischen 4 und 60 nach. Das zeigt selbstverständlich nicht, dass Anpassungsmaßnahmen unter allen Umständen positiven ökonomischen Nutzen nach sich ziehen werden. Die identifizierten Studien unterstellen beispielsweise eine begrenzte Anzahl an sozio-ökonomischen Szenarien (A2, B1 oder B2) - wie sich das NKV in anderen sozio-ökonomischen und klimatischen Szenarien entwickelt, ist ohne entsprechende Analysen nicht zu beurteilen. Entsprechendes gilt für die Unsicherheiten bei der Bestimmung von Gesundheitskosten.

Neben dem Erfordernis einer ausführlicheren Berücksichtigung der Unsicherheiten lassen sich weitere Lehren für die Arbeit des Projekts aus der Berücksichtigung von Nicht-Marktgütern ziehen. Im Sektor Hochwasser- und Küstenschutz haben die meisten Studien lediglich die monetarisierbaren Klimawirkungen berücksichtigt. Nur eine Studie hat versucht, auch den Wert von ökologischen Auswirkungen in monetären Einheiten auszudrücken, indem Daten für entsprechende Zahlungsbereitschaften herangezogen wurden (Elsner u. a. 2005). Gleichzeitig erwähnen mehrere Studien, dass die Hochwasserauswirkungen auch weitere Schäden, für die keine Marktpreise existieren, mit sich bringen. Somit drängt sich die Frage auf, wie diese Schäden in die Bewertung der Auswirkungen einbezogen werden können. Der Gesundheitssektor wirft analoge Fragen auf. Ihnen soll im weiteren Verlauf des Projekts nachgegangen werden.

## Literaturverzeichnis

- Bosello, F., R. Nicholls, J. Richards, R. Roson, R. Tol (2012): Economic impacts of climate change in Europe: sea-level rise. *Climatic Change* 112, Nr. 1: 63-81.
- Bräuer, I., K. Umpfenbach, D. Blobel, M. Grünig, A. Best, M. Peter, H. Lückge, F. Kasser (2009): Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen. *Ecologic Institute*.
- Die Bundesregierung, Hrsg. (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf).
- Ciscar, J. C., A. Iglesias, L. Feyen, C. M. Goodess, L. Szabó, O. B. Christensen, R. Nicholls, u. a. (2009): Climate change impacts in Europe. [http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima.../file/publicacoes/impactos\\_vulnerabilidade/ingles/climate\\_impacts\\_impacts\\_europe.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima.../file/publicacoes/impactos_vulnerabilidade/ingles/climate_impacts_impacts_europe.pdf).
- Cole, D. H. (2008): Stern Review and Its Critics: Implications for the Theory and Practice of Benefit-Cost Analysis, *The. Nat. Resources J.* 48: 53.
- Costa, L., V. Tekken, J. Kropp (2009): Threat of sea level rise: Costs and benefits of adaptation in European coastal countries. *Journal of Coastal Research*, Special issue 56.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, M. van den Belt (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387 (1997): 253-260.
- Dannenberg, A., T. Mennel, D. Osberghaus, B. Sturm (2009): The economics of adaptation to climate change: the case of Germany. *ZEW, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung*.
- Ebenhöh, W., H. Sterr, F. Simmering (1997): Wissenschaftliches Sekretariat Klimaänderung & Küste AF-FORD, Oldenburg.
- EEA (2007): Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation. EEA Technical Report, European Environment Agency, Copenhagen.
- Elsner, W., C. Otte, I. Yu (2005): Klimawandel und regionale Wirtschaft : Vermögensschäden und Einkommensverluste durch extreme Klimaereignisse sowie Kosten-Nutzen-Analysen von Schutzmaßnahmen : am Beispiel der nordwestdeutschen Küstenregion. Peter Lang, Frankfurt.
- Feyen, L., R. Dankers, J. I. Barredo, M. Kalas, K. Bódis, A. de Roo, C. Lavalley (2006): Flood risk in Europe in a changing climate. *Institute of Environment and Sustainability*.
- Gebhardt, O., S. Kumke, B. Hansjürgens (2011): Kosten der Anpassung an den Klimawandel – Eine ökonomische Analyse ausgewählter Sektoren in Sachsen-Anhalt. *UFZ-Bericht, Umweltforschungszentrum*. [https://www.ufz.de/export/data/1/20252\\_UFZ\\_Bericht\\_052011\\_.pdf](https://www.ufz.de/export/data/1/20252_UFZ_Bericht_052011_.pdf).
- Heal, G. (2009): The economics of climate change: a post-stern perspective. *Climatic Change* 96 (3): 275-297. doi:10.1007/s10584-009-9641-z.
- Heuson, C., E. Gawel, O. Gebhardt, B. Hansjürgens, P. Lehmann, V. Meyer, R. Schwarze (2012): Ökonomische Grundfragen der Klimaanpassung: Umriss eines neuen Forschungsprogramms. *UFZ-Bericht, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung*. <https://opus.zbw-kiel.de/dspace/handle/10419/57864>.
- Hinkel, J., R. Nicholls, A. Vafeidis, R. Tol, T. Avagianou (2010): Assessing risk of and adaptation to sea-level rise in the European Union: an application of DIVA. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, Nr. 7: 703-719.
- IPCC CZMS (1990): Strategies for adaptation to sea level rise. Report of the Coastal Zone Management Subgroup. IPCC Response Strategies Working Group, Rijkswaterstaat, The Hague.
- Kemfert, C. (2007): Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden. *Wochenbericht* 74 (11): 165-169.

- Klepper, G., S. Peterson, W. Rickels, A. Kopmann, M. Weitzel (2009): Gutachten zu Perspektiven der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung zum Klimawandel. Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderschwerpunkts „Ökonomie des Klimawandels“ Kennzeichen: 01 SK 08 GC / Gutachten Klimaökonomie / ifw.
- Nicholls, R., R. Klein (2005): Climate change and coastal management on Europe's coast. In: *Managing European Coasts*, herausgegeben von J. Vermaat, W. Salomons, L. Bouwer, K. Turner, R. Allan, U. Förstner, W. Salomons, 199-226. Environmental Science, Springer Berlin Heidelberg.
- Osberghaus, D., C. Reif (2010): Total Costs and Budgetary Effects of Adaptation to Climate Change: An Assessment for the European Union. SSRN eLibrary (Juli 1). [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1649452](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1649452).
- Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Fourth Assessment Report (AR4). Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Richards, J. A., R. J. Nicholls (2009): Impacts of climate change in coastal systems in Europe. PESETA-Coastal Systems study. Working Paper. Institute for Prospective and Technological Studies, Joint Research Centre 2009.
- Spash, C. L. (2007): The economics of climate change impacts à la Stern: Novel and nuanced or rhetorically restricted?. *Ecological Economics* 63: 706-713.
- Stern, N. H. (2007): *The economics of climate change*. Cambridge University Press.
- Sterr, H. (2008): Assessment of Vulnerability and Adaptation to Sea-Level Rise for the Coastal Zone of Germany. *Journal of Coastal Research* 242: 380-393.
- Tol, R.S.J. (2011): The Social Cost of Carbon. In *Annual Review of Resource Economics*, Vol 3, hg von G.C. Rausser, V.K. Smith, und D. Zilberman, 3:419–443. Palo Alto: Annual Reviews.
- Tröltzsch, J., B. Görlach, H. Lückge, M. Peter, C. Sartorius (2011): Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel: Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Climate Change. Umweltbundesamt. <http://www.uba.de/uba-info-medien/4185.html>.
- Tröltzsch, J., B. Görlach, H. Lückge, M. Peter, C. Sartorius (2012): Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Climate Change. Umweltbundesamt. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4298.pdf>
- UBA (2007): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden: Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten / Umweltbundesamt. [Red.: Sylvia Schwermer]. Stand: April 2007. Dessau: Umweltbundesamt.
- Van der Sande, C.J. (2001): River flood damage assessment using IKONOS imagery. European Commission, Joint Research Centre, Natural Hazards Unit – Floods, Ispra (Va), Italy
- Watkiss, P., Horrocks, L., Pye, S., Searl, A., Hunt, A. (2009): Impacts of climate change in human health in Europe. PESETA-Human health study. JRC Scientific and Technical Reports, EUR, 24135.
- Watkiss, P., T. Downing (2008): The social cost of carbon: Valuation estimates and their use in UK policy. *Integrated Assessment* 8 (1): 85–105.
- Weitzman, M. L. (2007): A review of the Stern Review on the economics of climate change. *Journal of Economic Literature* 45 (3): 703-724.



[www.oekonomie-klimawandel.de](http://www.oekonomie-klimawandel.de)