

# Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel

Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen  
von Anpassungsmaßnahmen an den  
Klimawandel



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3709 41 121

## **Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel**

**Literaturauswertung zu Kosten und Nutzen von  
Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel**

von

**Jenny Tröltzsch, Benjamin Görlach**  
Ecologic Institut, Berlin

**Helen Lückge, Martin Peter**  
INFRAS – Forschung und Beratung, Zürich

**Christian Sartorius**  
Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4185.html>  
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4359

Durchführung der Studie:	Ecologic Institut Pfalzburger Straße 43/44 110717 Berlin	INFRAS Binzstraße 23 8045 Zürich	Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung Breslauer Straße 48 76139 Karlsruhe
Abschlussdatum:	August 2011		
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: <a href="mailto:info@umweltbundesamt.de">info@umweltbundesamt.de</a> Internet: <a href="http://www.umweltbundesamt.de">http://www.umweltbundesamt.de</a> <a href="http://fuer-mensch-und-umwelt.de/">http://fuer-mensch-und-umwelt.de/</a>		
Redaktion:	Fachgebiet I 1.7 Kompass – Klimafolgen und Anpassung in Deutschland Clemens Haße		

Dessau-Roßlau, September 2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Übergreifende Fragen, Methodik und Abgrenzung .....</b>	<b>3</b>
2.1	Zeitliche Abgrenzung .....	3
2.2	Inhaltliche Abgrenzung: Kosten und Nutzen der Anpassung .....	7
2.3	Integrationsgrad von Anpassungsmaßnahmen.....	9
2.4	Räumliche Abgrenzung.....	11
2.5	Private Handlungsentscheide versus Rolle der öffentlichen Hand.....	11
2.6	Methodik der Auswertung.....	13
<b>3</b>	<b>Auswertung der Handlungsfelder .....</b>	<b>15</b>
3.1	Handlungsfeld <b>Gesundheit</b> .....	15
3.1.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	15
3.1.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	17
3.2	Handlungsfeld <b>Bauwesen</b> .....	21
3.2.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	21
3.2.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	23
3.3	Handlungsfeld <b>Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz</b> .....	26
3.3.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	26
3.3.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	30
3.4	Handlungsfeld <b>Biologische Vielfalt</b> .....	35
3.4.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	35
3.4.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	38
3.5	Handlungsfeld <b>Boden</b> .....	41
3.5.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	41

3.5.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	43
<b>3.6</b>	<b>Handlungsfeld Landwirtschaft .....</b>	<b>47</b>
3.6.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	47
3.6.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	49
<b>3.7</b>	<b>Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft.....</b>	<b>52</b>
3.7.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	52
3.7.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	53
<b>3.8</b>	<b>Handlungsfeld Fischerei .....</b>	<b>57</b>
3.8.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	57
3.8.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	58
<b>3.9</b>	<b>Handlungsfeld Energie.....</b>	<b>61</b>
3.9.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	61
3.9.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	64
<b>3.10</b>	<b>Handlungsfeld Finanzen/Versicherungen .....</b>	<b>68</b>
3.10.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	68
3.10.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	70
<b>3.11</b>	<b>Handlungsfeld Verkehr.....</b>	<b>75</b>
3.11.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	75
3.11.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	79
<b>3.12</b>	<b>Handlungsfeld Industrie und Gewerbe .....</b>	<b>83</b>
3.12.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	83
3.12.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	85
<b>3.13</b>	<b>Handlungsfeld Tourismus.....</b>	<b>88</b>
3.13.1	Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	88
3.13.2	Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	90

<b>3.14 Handlungsfeld Raum-, Regional- und Bauleitplanung .....</b>	<b>93</b>
3.14.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	93
3.14.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	94
<b>3.15 Handlungsfeld Bevölkerungsschutz .....</b>	<b>98</b>
3.15.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten.....	98
3.15.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen .....	99
<b>3.16 Internationale Einflusskanäle .....</b>	<b>104</b>
<b>4 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>106</b>
4.1 Zusammenfassung je Handlungsbereich.....	106
4.2 Zusammenfassung zu methodischen Aspekten.....	111
4.3 Lehren für die weiteren Arbeiten und Ausblick .....	112
<b>5 Referenzen .....</b>	<b>114</b>

# I Einleitung

Die Veränderung des globalen Klimas ist in Form steigender Oberflächentemperaturen bereits zu beobachten und wird sich Prognosen zufolge in Zukunft noch verstärken. Die Änderungen der Mitteltemperatur und die daraus resultierenden Veränderungen der Niederschlagsverteilung, des Meeresspiegels und der Windverhältnisse ziehen vielfältige sozio-ökonomische Folgewirkungen nach sich. Es ist davon auszugehen, dass auch in Deutschland eine Reihe von Wirtschaftssektoren direkt betroffen sein werden. Dazu gehören der Tourismus, die Land- und Forstwirtschaft (einschließlich Fischerei), die Energie- und Wasserversorgung, das Versicherungsgewerbe, aber auch die öffentliche Hand, z. B. über die Verkehrsinfrastruktur und den Küsten- und Hochwasserschutz. Daneben sind gesamtwirtschaftliche Effekte zu erwarten, die sich auf mehrere oder alle Sektoren gleichzeitig auswirken. Dabei wird z.B. die Exportwirtschaft von einer schwächeren Nachfrage betroffen sein, falls in Folge der Klimaänderung Einbußen des BIP im stärker betroffenen Mittelmeerraum und in den Schwellenländern Asiens ausgelöst werden. Weiter betreffen die gesamtwirtschaftlichen Effekte insb. auch nicht-marktgängige Güter, etwa durch die Gefährdung der menschlichen Gesundheit, der Biodiversität und anderer Naturgüter.

Dabei werden die Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland regional und sektoral sehr unterschiedlich ausfallen. Zum Teil sind Auswirkungen bereits heute zu beobachten. Die für Deutschland künftig zu erwartenden Schäden können ab 2050 im dreistelligen Milliardenbereich pro Jahr liegen. Allerdings sind nach bisherigem Erkenntnisstand Anpassungsmaßnahmen in nahezu allen Bereichen möglich, so dass bei einer vorausschauenden Politik die zu erwartenden Schäden signifikant reduziert werden können. Ebenfalls ist eine Kombination mit Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen möglich. Diese Zahlen verdeutlichen das Ausmaß des Problems: sowohl durch die Kosten der Anpassungsmaßnahmen selbst als auch durch die verbleibenden Schadenskosten kommen erhebliche Belastungen auf Firmen, private Haushalte und die öffentlichen Haushalte zu. Ökonomische Analysen können dazu beitragen, diese Belastungen so gering wie möglich zu halten, knappe Ressourcen sinnvoll zu investieren und Fehlinvestitionen zu vermeiden.

Die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) wurde am 17. Dezember 2008 vom Bundeskabinett verabschiedet. Derzeit basieren die in der Strategie enthaltenen Maßnahmenvorschläge auf sektoralen bzw. schutzgutbezogenen Einzelbetrachtungen. Umfassende Kosten-Nutzen-Analysen, die für die Evaluierung der unterschiedlichen Politikoptionen notwendig sind, fehlen aber. Eine ökonomische Analyse der Klimaanpassung soll diese Lücke schließen und wesentliche Argumente für die Prioritätendiskussion in Deutschland liefern. Die Probleme bei der Einschätzung der Kosten und Nutzen der Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sind mit der Tatsache verbunden, dass man es mit zahlreichen komplexen und unsicheren Faktoren zu tun hat und in den meisten Fällen vielfältige Anpassungspfade denkbar sind, sowohl in Bezug auf den Inhalt der Maßnahme als auch hinsichtlich der Implementierung und Finanzierung.

Vor diesem Hintergrund besteht die Notwendigkeit, die vorhandenen Methoden zur Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen zu prüfen und zu bewerten, um ein konsistentes Instrumentarium für Kosten-Nutzen-Analysen in diesem Bereich zu entwickeln. Der Stand des Wissens zu Kosten und Nutzen von klimapolitischen Maßnahmen stellt sich

jedoch sehr uneinheitlich dar. So sind in den letzten Jahren die Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen sehr intensiv untersucht worden. Dementsprechend liegt hier inzwischen ein umfangreicher Bestand an Studien und Untersuchungen vor, die Informationen zu Wirksamkeit, Kosteneffizienz, Kosten und Nutzen verschiedener Maßnahmen und Strategien liefern (exemplarisch McKinsey 2008; Fhg-ISI, FZJ, Öko-Institut und CEPE 2008; PIK und Fhg-ISI 2008).

Die Anpassung an den Klimawandel ist dagegen erst seit vergleichsweise kurzer Zeit Gegenstand von ökonomischen Betrachtungen, insofern liegt die Forschung hier in vielerlei Hinsicht noch zurück. Auf Ebene der einzelnen Handlungsfelder und zugehörigen Maßnahmen stellt sich die Lage allerdings differenziert dar: für einzelne Maßnahmen wie den technischen Hochwasserschutz stellt die Anpassung an den Klimawandel keine qualitativ neue Herausforderung dar, sondern eher eine Intensivierung bestehender Anstrengungen. Hier kann dementsprechend auf umfangreiche Vorarbeiten zurückgegriffen werden. In anderen Fällen bestehen erhebliche Wissenslücken und Unsicherheiten sowohl was die möglichen Folgen des Klimawandels, die denkbaren Anpassungsmaßnahmen und ihre Wirksamkeit, und schließlich die ökonomische Bewertung all dessen angeht.

Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt ein Konsortium aus Ecologic Institut, INFRAS und Fraunhofer-ISI beauftragt, im Rahmen des Ufoplan-Projekts Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (FKZ 3709 41 121) die ökonomischen Aspekte der Anpassung an den Klimawandel zu untersuchen. Das Projekt zielt einerseits darauf ab, in einer ersten Projektphase den vorhandenen Wissensstand zum Thema zusammenzutragen, aufzubereiten und zu vereinheitlichen, und andererseits in einer zweiten Projektphase gezielt Wissenslücken zu schließen. Die vorliegende Studie dokumentiert die Ergebnisse der ersten Phase, und stellt eine der ersten Anstrengungen dar, den Wissensstand zu ökonomischen Aspekten der Anpassung an den Klimawandel in Deutschland zusammenzutragen. Dabei liegt der Fokus, soweit möglich, auf einzelnen Anpassungsmaßnahmen in den 15 Handlungsfeldern, die die Deutsche Anpassungsstrategie identifiziert.

## 2 Übergreifende Fragen, Methodik und Abgrenzung

Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sind nicht nur ein vergleichsweise junger, sondern auch ein eher komplexer Gegenstand ökonomischer Untersuchungen. Dabei unterscheiden sich Anpassungsmaßnahmen in vielerlei Hinsicht von Maßnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen; diese Unterschiede schlagen sich auch auf die ökonomische Betrachtung nieder. So ist die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen wesentlich stärker abhängig vom konkreten räumlichen und zeitlichen Kontext, in dem die Maßnahme umgesetzt wird. Zudem gibt es, anders als bei Minderungsmaßnahmen, keine einzelne Maßzahl, mit der sich die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen messen ließe, und dementsprechend auch kein (zeitlich und mengenmäßig) quantifiziertes Ziel für die Anpassung.

Im Folgenden werden bestimmte Aspekte umrissen, die sich im Zuge der Literatursammlung als kritisch ergeben haben. Diese Zusammenstellung hat nicht den Anspruch, die Probleme der ökonomischen Bewertung von Anpassungsmaßnahmen abschließend zu diskutieren, sondern greift vielmehr einzelne Aspekte heraus, die für das Verständnis der folgenden Übersicht über die Handlungsfelder wichtig erscheinen. Dies betrifft insbesondere auch Fragen der Abgrenzung – sowohl was den Begriff der Anpassung selbst angeht, als auch die Abgrenzung von Kosten und Nutzen der Anpassung.

### 2.1 Zeitliche Abgrenzung

Während bei der Wirkung des Klimawandels im Wesentlichen eine Zeitachse betrachtet wird (d.h. wie lange dauert es bis ein bestimmter Effekt mit einer bestimmten Intensität zu Tage tritt?), müssen beim Einsatz von Maßnahmen gegen den Klimawandel (Vermeidung) oder zum Schutz gegen dessen Wirkung (Anpassung) grundsätzlich drei Zeitachsen unterschieden werden:

1. Die Zeit bis zu (dem Beginn) der Umsetzung einer Maßnahme,
2. Die Dauer bzw. der zeitliche Verlauf der Umsetzung dieser Maßnahme und
3. Die Zeitspanne (und die Art und Weise), in der die Maßnahme ihre Wirkung entfaltet.

Dabei ist die dritte Achse meist schon durch die Natur der jeweiligen Maßnahme vorherbestimmt. So hat die Erhöhung von Deichen einen unmittelbaren Schutz vor Hochwasser zur Folge. Demgegenüber wirken sich raumplanerische Maßnahmen wie die Entsiegelung und Nutzung des Bodens nur allmählich, d.h. über Jahre hinweg, auf den Grundwasserspiegel aus. Zum Zeitpunkt der Implementierung der jeweiligen Maßnahme ist jedenfalls bis zu einem gewissen Grad festgelegt, in welchem Zeitrahmen und welchem Umfang die Maßnahme wirksam wird. Größere Handlungsspielräume für die die Maßnahmen umsetzenden Akteure ergeben sich demgegenüber bei den Zeitaspekten (1) und (2). Sofern eine akute Betroffenheit durch den Klimawandel besteht, wirkt sich jedes Aufschieben einer Maßnahme und jede Verzögerung bei der Umsetzung unmittelbar auf den Grad der Betroffenheit aus. Allerdings gilt auch hier wieder, dass sich der Beginn der Umsetzung einer Maßnahme oft leichter beeinflussen lässt als der Verlauf. So kann ein politischer Beschluss zur Änderung der Bodennutzung relativ schnell gefällt werden. Die

Umsetzung kann dagegen durch bestehende Regeln oder Gesetze (z.B. Eigentumsrechte) oder die Verfügbarkeit benötigter Ressourcen eingeschränkt werden.

Aus der Kombination der unterschiedlichen Zeitachsen zur Umsetzung bzw. Wirksamkeit von Maßnahmen lassen sich unterschiedliche Fallkonstellationen ableiten:

		Zeithorizont bis zur Umsetzung der Maßnahme (1)	
		Kurz/Mittelfristig	Langfristig
Wirksamkeit der Maßnahme: time-lag zwischen Initiierung und Wirkung (2 + 3)	Kurz	Maßnahmen, die auf bereits absehbare Klimaauswirkungen abzielen, die bis 2050 bereits spürbar sind. → heute anstossen z.B. Hitzewarnsystem	Maßnahmen, die kurzfristig umgesetzt werden können und unter den bestehenden Unsicherheiten heute noch nicht entschieden werden müssen. → Handlungsbedarf abwarten z.B. Einsatz von anderen Pflanzensorten
	Lang	Verpasste Chancen	Maßnahmen mit langem Vorlauf, z.B. Raumplanung → heute anstossen z.B. Einrichten von Frischluftschneisen in Städten

Unabhängig davon, ob es um den Beginn oder den Verlauf einer Anpassungsmaßnahme geht, gibt es eine Reihe von Bestimmungsgründen, die allgemein für die Terminierung von Maßnahmen maßgeblich sind.

- Maßnahmen, die auf die rein defensive Abwendung von Schädwirkungen abzielen (entsprechend end-of-pipe), werden sinnvollerweise erst dann ergriffen, wenn entsprechende **Schadereignisse absehbar** sind. Zu frühzeitige Investitionen in solche Maßnahmen würden dazu führen, dass die Investitionen vor der ersten Nutzung längere Zeit brachlägen, d.h. dass Ressourcen verschwendet würden. Außerdem ist die mit der Investition verbundene Unsicherheit umso höher, je länger der zeitliche Abstand zwischen Ursache und Wirkung ist.
- Maßnahmen, die an der Ursache von Schädwirkungen ansetzen, haben meist eine gewisse **Vorlaufzeit**. Ein Beispiel dafür ist die bereits erwähnte Bodennutzung. Der Schutz oder die Aufforstung von Wäldern im Einzugsgebiet eines Flusses kann ebenso wie die Einrichtung von Poldern die Entstehung von Hochwassern von vorneherein hemmen, so dass bspw. die Erhöhung von Deichen gar nicht mehr notwendig ist. Eine Schwierigkeit besteht aber darin, dass diese Maßnahmen relativ große Flächen in Anspruch nehmen und dass mit vertretbarem Aufwand nicht kurzfristig über solche Flächen verfügt werden kann (vgl. Zeitaspekt 2). Außerdem dauert es mehrere Jahrzehnte, bis auf einer zuvor unbewachsenen Fläche Bäume gewachsen sind.
- Maßnahmen müssen auch dann frühzeitig implementiert werden, wenn es dem oben diskutierten Zeitaspekt (3) entsprechend zwischen Ursache und Wirkung eine **Verzögerung** gibt oder **Schwellenwerte** in Erscheinung treten. Ein Beispiel hierfür ist die Erneuerung von Grundwasser oder der Schutz von Feuchtgebieten. Wurde zuvor zu viel Wasser entzogen, dann führt die Zufuhr zusätzlichen Wassers erst dann erneut zum Anstieg des Grundwasserspiegels, wenn das „grüne“ Wasser ergänzt wurde, das dem Boden zuvor entzogen worden war.

- Grundsätzlich ergibt sich die Notwendigkeit zur – auch zeitlichen – Priorisierung von Maßnahmen immer dann, wenn Budgetrestriktionen greifen. Die unterschiedlichen zeitlichen Aspekte bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ermöglichen jedoch eine Budget-Optimierung über die Zeit. Dabei kann es durchaus passieren, dass Maßnahmen mit schlechterem, aber noch positivem Kosten-Nutzen Verhältnis, jedoch einer langen Vorlaufzeit heute ergriffen werden, während Maßnahmen mit besserem Kosten-Nutzen Verhältnis und direkter Wirkung erst später implementiert werden.
- Weitere Bestimmungsgründe für die zeitliche Terminierung von Maßnahmen ergeben sich aus dem spezifischen Verhältnis einer Lösung und ihrem jeweiligen wirtschaftlichen, institutionellen und gesellschaftlichen Umfeld. Planungsunsicherheiten und Auswirkungen auf bestehende Anlagen, bei denen eine Verkürzung der Nutzungsdauer zum Anfallen nicht-amortisierbarer Kosten führen kann, sind ein typisches Beispiel eines Hemmfaktors für die Einführung bzw. den Erfolg einer Maßnahme. Führt eine Maßnahme, bspw. die veränderte Bewirtschaftung einer Talsperre, dazu, dass eine zuvor getätigte Investition (hier: Turbinen zur Stromgewinnung) nicht mehr im vorgesehenen Umfang genutzt werden kann, dann wird die Investition im entsprechenden Umfang entwertet. Da Investitionen aus volkswirtschaftlicher Sicht möglichst bis ans Ende ihrer Lebensdauer genutzt werden sollen, kann die Aufschiebung von Maßnahmen eher angezeigt sein, wenn sie sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit neuerer Investitionen auswirkt.
- Aus den institutionellen Rahmenbedingungen heraus können sich regelrechte **Zeitfenster** („windows of opportunity“) ergeben, innerhalb derer eine Maßnahme relativ günstig umgesetzt werden kann (David 1987; Kemp 2001; Zundel et al. 2005). Ein Beispiel dafür ist die europäische Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG), der entsprechend bis zum Jahr 2015 alle Oberflächengewässer einen guten Zustand und ein gutes ökologisches Potenzial erreichen sollen. Voraussetzung dafür ist auch in ländlichen Gebieten eine Abwasserbehandlung nach dem Stand der Technik. Solange die erforderliche Infrastruktur noch nicht fertiggestellt ist, besteht die Möglichkeit, zusätzliche Anforderungen, die sich aus der Anpassung an den Klimawandel ergeben, relativ kostengünstig, ggf. sogar ohne Mehrkosten, zu berücksichtigen. Ist die Infrastruktur aber erst einmal gebaut, dann sind Umbauten erforderlich, die sehr viel aufwändiger sein werden. Daher ist es in diesem Fall besonders wichtig, Maßnahmen möglichst frühzeitig zu ergreifen.
- Ein Grund, Maßnahmen aufzuschieben und erst später zu ergreifen, besteht oft darin, dass Ausmaß und Zustandekommen des Auslösers oder dessen Wirkung mit **Unsicherheit** behaftet sind. Diese Unsicherheit besteht einerseits auf Seiten der zu erwartenden Klimafolgen und andererseits auf Seiten der Anpassungsmaßnahmen, ihrer Kosten und ihrer Wirkung (s.u.). Hier besteht oft die Hoffnung, durch Verschiebung der Maßnahme in die Zukunft die Unsicherheit zu senken. Unglücklicherweise läuft dieses Argument den zuvor genannten Argumenten zuwider, wonach Maßnahmen meistens möglichst früh ergriffen werden sollten. Erschwerend kommt hinzu, dass sich angesichts einer Vielzahl von Herausforderungen (Klima, Demografie, Globalisierung) und der Größe und Komplexität des Betrachtungsgegenstandes die Annahme als Illusion erweisen könnte, dass die Unsicherheit im Zeitverlauf abnimmt. Die UK Adaptation Guidance schlägt für den Umgang mit Unsicherheiten die Methode der „Real Options“ Analyse vor, bei der die Möglichkeit einer flexiblen und bedarfsgerechten Ausgestaltung (z.B. in Form von nachträglichen Upgrades) explizit in der Kosten-Nutzen-Berechnung berücksichtigt wird (UK – Her Majesty's Treasury 2009).

- Oft haben Anpassungsmaßnahmen auch innovativen Charakter, d.h. Anschaffung und Betrieb der Anlagen sind (noch) teuer, es bestehen wenig Erfahrungen im Umgang und die Unsicherheit ist groß. In diesem Fall ist es sinnvoll, die Maßnahme im kleinen Maßstab – in sogenannten **Nischen** – zu erproben und so die Erfahrungen zu steigern und Kosten und Unsicherheit zu senken, bevor in nachfolgenden Schritten immer größere Bereiche einbezogen werden (Kemp et al. 1998). Diese sukzessive Ausweitung von Maßnahmen erfordert Zeit, so dass mit der Implementierung entsprechend frühzeitig begonnen werden muss.
- Selbst Maßnahmen, die heute als sinnvoll erachtet werden, können in Zukunft unerwünschte und unerwartete Nebenwirkungen hervorbringen. Eine Lösung dieses Problems besteht grundsätzlich vor allem darin, nicht alleine die Anpassung selbst, sondern die **Anpassungsfähigkeit** zu **verbessern**. Ein wichtiges Element langfristiger wirkungsvoller Maßnahmen besteht daher angesichts globaler Wandlungsprozesse darin, die Anpassungsfähigkeit einer Technologie, einer Branche oder der Nutzer der entsprechenden Produkte zu erhöhen. Ein Beispiel ist die Flexibilisierung der Abwasserinfrastruktur durch eine Steigerung der Dezentralität. Im Gegensatz zu kommunalen Kläranlagen können Kleinkläranlagen schneller aufgestellt und ggf. abgebaut und an einem anderen Ort wieder aufgebaut werden. Außerdem brauchen sie keine verbindenden Kanäle, die ggf. ebenfalls verlegt werden müssten. Schließlich weisen sie eine kürzere Nutzungsdauer auf, so dass die Wahrscheinlichkeit verringert wird, dass Anlagen nicht über ihre volle Lebensdauer genutzt werden können. Zusätzliche Anpassungsfähigkeit ist vor allem dann sinnvoll, wenn noch gar nicht sicher ist, in welche Richtung die Entwicklung beim Klimawandel gehen wird bzw. wenn sie auch aus anderen Zielsetzungen heraus sinnvoll wäre. Aus diesem Grund können und sollten entsprechende Maßnahmen vor allem bei erhöhter Unsicherheit so früh wie möglich ergriffen werden. Hier ist es nicht die Entscheidung zum Ergreifen einer Maßnahme, die langfristig erfolgt, sondern die Strategie, mit der in Zukunft die Wirkungen optimiert werden sollen.

Wie die vorangehende Auflistung entsprechender Bestimmungsgründe zeigt, gibt es viele Faktoren, die den günstigsten Zeitpunkt zur Implementierung von Maßnahmen der Klimaanpassung maßgeblich beeinflussen können. Die Entscheidung, ab wann die Umsetzung von Maßnahmen erfolgt und in welchem Zeitraum sie umgesetzt werden, ist dabei von entscheidender Bedeutung für die Höhe der Kosten. Da es aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, alle Maßnahmen zur gleichen Zeit durchzuführen, ist es durchaus sinnvoll, Maßnahmen entsprechend dem Zeithorizont zu differenzieren, innerhalb dessen sie umgesetzt werden sollen.

Die vorgenannten Einflussfaktoren lassen sich größtenteils auch als Kriterien der Flexibilität diskutieren. Solche Maßnahmen, die sich weiterentwickeln lassen, die mit unterschiedlicher Intensität umgesetzt werden können, die auch anderen Zwecken als der Anpassung an den Klimawandel dienen und die ggf. reversibel sind, erhöhen grundsätzlich die Flexibilität und verringern so das Risiko kostenträchtiger Fehlentscheidungen. Dagegen besteht bei Maßnahmen, die mit versunkenen Kosten verbunden sind, die nicht reversibel sind und die außer der Anpassung an den Klimawandel keinen Zusatznutzen haben, geringere Flexibilität (vgl. Sartorius 2006). In diesen Fällen kann es angezeigt sein, Entscheidungen erst später zu treffen, um Fehlallokationen zu verhindern.

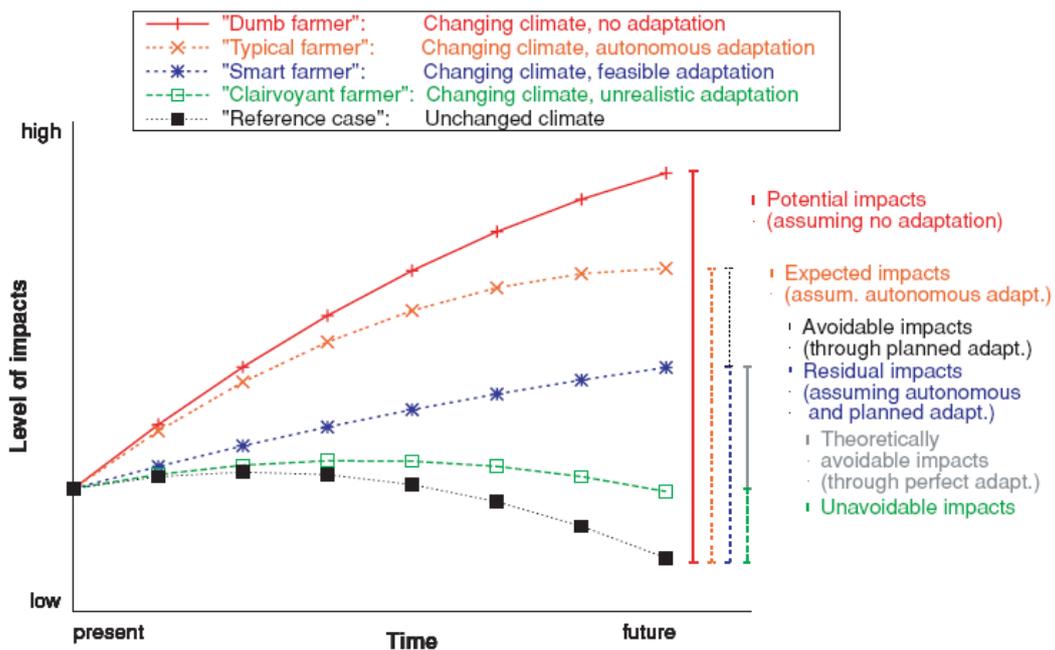
Als Fazit lässt sich festhalten, dass die Fristigkeit für die Umsetzung von Maßnahmen eine dreifache Rolle spielt: sie bestimmt den Zeitraum bis zum Beginn der Maßnahme, die Dauer

ihrer Umsetzung sowie die Dauer der Wirkung der Maßnahme. Aus der Perspektive derjenigen, die die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen beabsichtigen, ist der Zeitraum bis zur Umsetzung auf den ersten Blick wichtiger, weil die Einflussmöglichkeiten auf die Wirkung durch die Natur der Maßnahme von vorneherein beschränkt sind. Allerdings ist der optimale Umsetzungszeitpunkt von Maßnahmen von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, die sich (ebenso wie die Wirkungsdauer) aus dem Wesen der Maßnahme und ihrer Einbettung in das technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Umfeld ergeben. Zusätzlich beeinflussen sich verschiedene Maßnahmen gegenseitig. Dies alles spricht für eine systemische Herangehensweise, in der einzelne Maßnahmen nicht isoliert betrachtet werden.

## 2.2 Inhaltliche Abgrenzung: Kosten und Nutzen der Anpassung

Zur Gewährleistung einer optimalen Anpassung an Klimafolgen ist es in den meisten Fällen nötig, die möglichen Anpassungsalternativen näher zu untersuchen. Eine genauere Analyse der Handlungsoptionen kann die Gefahr von Fehlanpassung („maladaptation“), also Über- oder Unter-Anpassung, reduzieren. Für Analysen dieser Art bietet sich u.a. eine Kosten-Nutzen-Abschätzung an, welche im Folgenden betrachtet wird.

Die Bewertung spezifischer Maßnahmen zur Anpassung umfasst im einfachsten Fall eine Gegenüberstellung von Kosten, deren größter Teil in der Regel sofort anfällt und die, sofern die zu ergreifenden Maßnahmen bekannt sind, relativ genau beziffert werden können. Auf der anderen Seite steht der monetarisierte Nutzen, der in der Zukunft anfällt und relativ unsicher ist, da einerseits nicht genau absehbar ist, wie oft die antizipierten Schadensereignisse tatsächlich auftreten und wie groß die davon ausgehenden Schäden sein werden und da andererseits auch nicht sicher ist, welcher Anteil der Schäden mit Hilfe der Maßnahmen tatsächlich vermieden werden kann. An dieser Stelle ist es wichtig, festzustellen, welche Schäden sinnvollerweise in die Kalkulation der vermiedenen Schäden eingehen. Hierzu haben Füssel und Klein (2006) in anschaulicher Weise verschiedene Konzepte der Anpassung und die daraus resultierenden Schadenskategorien einander gegenübergestellt (siehe Abbildung).



**Abbildung 1: Verschiedene Konzepte von Anpassung und daraus resultierende Klimaschäden (Füssel/Klein 2006)**

Der (Netto)Nutzen ergibt sich aus den vermiedenen Schäden, das heißt aus der Differenz zwischen klimabedingten Schäden ohne und mit Anpassungsmaßnahmen. Bei den Schäden „ohne“ Anpassungsmaßnahmen ist dabei zu berücksichtigen, wie anpassungsfähig das betroffene System von sich aus, d.h. ohne zusätzliche Maßnahmen, ist. Ein Beispiel für autonome Anpassung ist die routinemäßige Entwicklung neuer Kulturpflanzensorten und ihr Test in der Landwirtschaft. Die angestrebten Verbesserungen gehen in verschiedene Richtungen, zu denen ein verbesserter Ertrag ebenso gehört wie bessere Anpassung an größere Trockenheit oder höhere Temperaturen. Dieser Grad der Anpassung wird als autonom bezeichnet. Da es abwegig wäre, die Kosten von Anpassungsmaßnahmen, die in einem anderen Kontext (hier: die Verbesserung der landwirtschaftlichen Praxis) sowieso durchgeführt werden, als Schaden zu bezeichnen und die mit diesen Maßnahmen vermiedenen Schäden als deren Nutzen, dient die autonome Anpassung i.d.R. als Referenz. Dem wird die Situation mit geplanten Anpassungsmaßnahmen gegenübergestellt, wobei die Abbildung andeutet, dass der tatsächliche (geplante) Anpassungsgrad nicht zu perfekter Anpassung, d.h. zu weitestgehender Annäherung an den Zustand ohne Klimawandel führen wird, da der Aufwand hierfür i.d.R. so hoch ist, dass die Kosten den Nutzen übersteigen oder die erforderlichen Ressourcen nicht verfügbar sind.

Die oben, auch in Abbildung 1 gemachten Ausführungen hinsichtlich der theoretisch (und praktisch) vermeidbaren Schäden suggerieren, dass das Leben mit bzw. nach dem Klimawandel in jedem Falle „schlechter“ sein wird als das Leben davor. Tatsächlich gilt dies aber nur in der kurzen bis mittleren Frist und wenn die Anpassungsfähigkeit gering ist. Auf längere Sicht resultieren aus dem Klimawandel wie aus jedem „Schock“ auch Chancen, die die Kosten der Anpassung wenigstens zum Teil aufwiegen können. Damit sind zum Teil die positiven Effekte des Klimawandels wie bspw. Tourismus an der Ostsee statt am Mittelmeer oder längere Wachstumsperioden in der Landwirtschaft gemeint, die von den möglichen Nutznießern auch erst genutzt werden müssen, die diesen aber eher zufällig zufallen. Wichtiger sind im Zusammenhang mit der Anpassung jedoch die Chancen, die Einzelne, eine Branche oder eine Volkswirtschaft erst erarbeiten, indem sie eine Herausforderung

proaktiv angehen. So lassen sich bspw. Standards zum Climate-proofing von Gebäuden und Infrastruktur schon frühzeitig setzen und mit – im Vergleich zu den ohne Anpassung möglichen Schäden – geringen Mehrkosten umsetzen. Wenn dann noch der Wettbewerbsvorteil in Betracht gezogen wird, den sich eine Volkswirtschaft gegenüber anderen Ländern durch frühzeitiges Handeln erarbeiten kann – und diese Gelegenheiten ergeben sich letzten Endes nur aus der Schocksituation – dann kann der Nettonutzen sogar positiv sein. Der letztgenannte Aspekt ist für einzelne privatwirtschaftliche Akteure weniger relevant, da es für sie schwierig ist, die notwendige gemeinschaftliche Aktion zu initiieren und weil die in fernerer Zukunft auftretenden höheren Nutzenwerte durch die höheren Renditeerwartungen (8% p.a. und mehr) „wegdiskontiert“ werden. Für öffentliche Akteure, die eine größere Verantwortung bezüglich der zukünftigen Lebensverhältnisse der Gemeinschaft tragen, die sie repräsentieren, sind die Renditeerwartungen dagegen deutlich geringer anzusetzen. Die Methodenkonvention des Umweltbundesamtes (2007) geht hier für Zeiträume bis zu oder über 20 Jahren von Diskontraten von 3 bzw. 1,5 % aus.

## 2.3 Integrationsgrad von Anpassungsmaßnahmen

Der Integrationsgrad von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ist ein wichtiger Parameter, der Auswirkungen sowohl auf Zeitaspekte wie Planungshorizont, Umsetzungsdauer und Wirkungsdauer als auch auf deren Kosten hat. Speziell für den Klimaanpassungskontext haben Burton et al. (1993) folgende Kategorisierung von Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen, die sich in wesentlichen Zügen am Integrationsgrad der Maßnahmen orientiert, der vom Anfang der Aufzählung bis zu ihrem Ende tendenziell zunimmt. Der Begriff des Integrationsgrades oder der Integriertheit, den Burton et al. selbst nicht verwenden, lehnt sich dabei an das Verständnis integrierter Umwelttechnologien an, die sich bspw. von nicht integrierten End-of-Pipe-Lösungen dadurch unterscheiden, dass Schäden nicht nachträglich rückgängig gemacht oder in ihrer Wirkung entschärft werden, sondern dass das Zustandekommen eines Schadens von vorneherein vermieden wird.

1. **Hinnahme von Schäden.** Die bewusste Entscheidung, keine Vorsorge zu betreiben; jeder trägt seine Schäden selbst. Dies kann eine gangbare Option darstellen, so lange nur eine marginale Betroffenheit durch Klimafolgen in der fernerer Zukunft besteht. Es kann die einzig verfügbare Option sein, wenn Verteilung der Schäden nicht möglich ist und Ressourcen zur Durchführung nicht zur Verfügung stehen (weil beispielsweise bei gegebenem Budget andere Optionen wichtiger erscheinen).
2. **Verteilung von Schäden.** Dies kann bedeuten, dass die Schäden für Einzelne auf der Basis einer Absprache von einer ganzen (z. B. Dorf-)Gemeinschaft getragen werden. Alternativ kann eine Risikoverteilung auch durch die Nutzung einer Vielzahl von Ressourcen oder Aktivitäten geschehen, so dass nie alle gleichzeitig von einem Schaden betroffen sind. Auch hier wird keine Vorsorge betrieben, aber es wird eine Versicherung zur Minderung der individuellen Schäden abgeschlossen.
3. **Verhinderung von Schäden.** Durch passive Schutzmaßnahmen werden zwar die Ursachen der Schäden nicht beeinflusst, wohl aber das Ausmaß der Schäden, die von diesen Ursachen hervorgerufen werden. Die Verhinderung von Schäden ist sinnvoll, solange die Verhinderung nicht teurer ist als die verhinderten Schäden. Das gilt auch für den folgenden Maßnahmentyp.

4. **Verminderung der Bedrohung.** Dieses Vorgehen setzt schon an den Ursachen der Schäden an, versucht also bspw. Hochwasser oder im Zuge des Klimaschutzes gar die sie verursachenden Extremwetterereignisse zu vermeiden. Diese vorbeugenden Maßnahmen setzen einen längeren Planungshorizont voraus, weil schon die Auslöser von Schäden beeinflusst werden müssen und nicht erst die unmittelbaren Auswirkungen der Schäden selbst. Der Vorteil besteht darin, dass die Kosten oft erheblich niedriger sind. In verschiedenen Studien (z.B. Stern 2006) wird z.B. gezeigt, dass die Vermeidung des Klimawandels kostengünstiger ist als die Abwendung der Schäden.
5. **Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource.** Z.B. Umstellung auf weniger hitzeempfindliche Kulturpflanzen oder Baumarten in der Land- und Forstwirtschaft. Hier werden zwar die Ursachen der Gefahr nicht beseitigt, das gefährdete System wird dem Einfluss dieser Gefahr aber durch Änderung gewisser Eigenschaften entzogen.
6. **Änderung des Standorts.** An die Stelle der Ressourcennutzung tritt hier eine Verlagerung an einen anderen, weniger gefährdeten Ort. Von diesem Unterschied abgesehen entsprechen sich die Fälle 5 und 6. Beide stellen im Grunde spezielle Ausprägungen des Falls 4 dar.
7. **Forschung.** Die Erforschung der Ursachen der Bedrohung sowie neuer Technologien zur Anpassung oder Abwehr von Schäden erweitert das Arsenal von Maßnahmen um zusätzliche Optionen. Forschung kann auch parallel zu Maßnahmen der Kategorien 3 bis 6 erfolgen. Sie erfordert den Einsatz zusätzlicher zeitlicher und materieller Ressourcen in der (meist begründeten) Hoffnung, die Kosten von Schäden oder Maßnahmen senken zu können.
8. **Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern.** In vielen Fällen, wie z.B. der Besiedlung von Überflutungsgebieten können Informationen und Sensibilisierung dazu beitragen, dass diese Gebiete gar nicht erst besiedelt werden oder, falls der Besiedlungsdruck dies nicht erlaubt, im Falle einer sich anbahnenden Flut rechtzeitig verlassen werden. Maßnahmen des Monitorings und der Überwachung sind mögliche Bestandteile dieses Ansatzes. Gleiches gilt für Notfallpläne. Auch Maßnahmen dieser Kategorie können immer parallel zu Maßnahmen anderer Kategorien erfolgen.

Stärker integrierte Maßnahmen sind weniger integrierten nicht generell vorzuziehen. Im Falle kurzfristig drohender oder geringer Gefahren können auch letztere vorzuziehen sein. Der Grad der Integriertheit ist daher immer gemeinsam mit dem Zeithorizont und den verfügbaren Ressourcen in die Bewertung einzubeziehen.

Zudem gibt die hier vorgenommene Unterscheidung ein Set von stilisierten Kategorien vor, die dem besseren Verständnis der einzelnen Maßnahmen dienen soll. Die Kategorien selbst sind dabei nicht immer trennscharf und teilweise überlappend, so dass Anpassungsmaßnahmen im Einzelfall mehreren Kategorien zuzuordnen sind. Zudem wird eine Anpassungsstrategie im Regelfall auf eine Kombination mehrerer Ansätze zurückgreifen.

## 2.4 Räumliche Abgrenzung

Die deutsche Anpassungsstrategie (DAS) fokussiert bisher auf die Effekte des Klimawandels in Deutschland, die daraus entstehenden Schäden und mögliche zu ergreifenden Anpassungsmaßnahmen zur Minderung der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Folgen. Wie sich der Klimawandel in anderen Weltregionen auf Deutschland auswirken könnte, etwa über schrumpfende Exportmärkte, Migration oder Sicherheitsbedrohungen, und welche Maßnahme zur Anpassung an diese internationalen Einflusskanäle zur Verfügung stehen, wird in der DAS bisher nicht thematisiert.

Deutschland wird im internationalen Vergleich physisch, aber auch in Bezug auf das Adaptationspotenzial der Wirtschaft, weniger stark vom Klimawandel betroffen sein als zahlreiche andere Weltregionen. Das bedeutet aber auch, dass die Auswirkungen des Klimawandels gerade für eine offene, exportorientierte Volkswirtschaft wie Deutschland nicht nur über die bisher meist im Fokus stehenden nationalen Einflusskanäle spürbar werden. Deutschland gehört zu den export- und importstärksten Ländern der Welt und ist somit besonders stark über die internationale Arbeitsteilung mit den übrigen Weltregionen verflochten. Veränderungen in der wirtschaftlichen Entwicklung anderer Weltregionen wirken sich daher vergleichsweise stark aus. Deshalb ist es bei der Frage nach den Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland wichtig, die internationalen Einflüsse in dieser Studie nicht ganz auszuklammern und somit die räumliche Abgrenzung etwas zu lockern. Wichtige internationale Einflusskanäle sind Handelsströme (Exporte und Importe von Waren und Dienstleistungen), der Devisen- und Kapitalmarkt, Investitionen, Arbeit und Migration, Technologie oder die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen. Bisherige Studien (z.B. Ecologic und Infras 2009, im Auftrag des BMF) haben gezeigt, dass die über die internationalen Einflusskanäle entstehenden Kosten des Klimawandels für Deutschland die direkten Einflüsse durch Schäden im Bundesgebiet übersteigen, und zudem eine volkswirtschaftlich relevante Größenordnung erreichen könnten.

Entsprechend dem Fokus der Deutschen Anpassungsstrategie konzentriert sich die vorliegende Studie auf die Wirkungen des Klimawandels in Deutschland und entsprechende Anpassungsmaßnahmen auf nationaler Ebene. Da die Bedeutung der internationalen Einflusskanäle für Deutschland bisher noch wenig analysiert ist, würden eine vertiefte Analyse der Schäden und mögliche Anpassungsmaßnahmen den Rahmen des Projekts sprengen. Die Wirkungen des Klimawandels über die internationalen Einflusskanäle werden aber ergänzend angesprochen. Basierend auf bestehenden Analysen soll aufgezeigt werden, welche Folgen der Klimawandel in anderen Weltregionen für Deutschland haben kann.

## 2.5 Private Handlungsentscheide versus Rolle der öffentlichen Hand

Anpassung an den Klimawandel ist keineswegs nur eine Aufgabe der öffentlichen Hand. Ein erheblicher Teil der Anpassungsmaßnahmen liegt im Bereich der privaten Handlungsentscheide der Wirtschaftssubjekte (Haushalte, Gewerbe, Industrie) und wird aus rein wirtschaftlichen Überlegungen von diesen auch umgesetzt. So wird der Industriesektor beim Neubau von Anlagen einen Eigenanreiz zur Prüfung des Standortes auf Klimagefahren haben und ggf. Schutzmassnahmen für heutige Anlagen ergreifen sobald die Produktion

gefährdet ist.<sup>1</sup> Auch private Haushalte werden sich autonom an den Klimawandel anpassen, z.B. über bessere Kühlung von Wohnungen gegen Hitze, die Wahl anderer Feriendestinationen oder die stärkere Nachfrage nach Versicherungsleistungen als Reaktion auf die zusätzlichen Klimarisiken.

Einige Bereiche liegen jedoch klar im Kompetenzbereich der öffentlichen Hand, insbesondere dort, wo öffentliche Güter betroffen sind. Dazu gehören insbesondere vorsorgende Maßnahmen im Bereich der Raumplanung, im Bevölkerungsschutz und zum Schutz der kritischen Infrastrukturen, welche teilweise im Besitz der öffentlichen Hand sind oder doch zumindest dessen Regulierungshoheit unterstehen.

Bei genauer Betrachtung zeigt sich aber ein großer Übergangsbereich zwischen Eigenverantwortung und Zuständigkeiten der öffentlichen Hand. In vielen Bereichen gestaltet der Staat die Rahmenbedingungen für private Aktivitäten, z.B. über Regulierungen oder Subventionen. Zudem gibt es direkte staatliche Handlungsmöglichkeiten in den Bereichen, bei denen der Staat die relevanten Unternehmen direkt kontrolliert oder besitzt, z.B. in den Bereichen Verkehr, Wasserwirtschaft, Schutzbauten, Abfallwesen, etc.. Aufgrund der erheblichen Unsicherheiten und des langfristigen Zeithorizonts ist zudem fraglich, ob die privaten Akteure über die notwendigen Informationen und Anreize verfügen, um eigenverantwortlich alle wichtigen Anpassungsmaßnahmen einzuleiten. Hier ist die Rolle des Staates als Sensibilisierer und Bereitsteller von Informationen und evtl. Starthelfer gefragt. Zudem können Finanzierungs- und Anreizinstrumente zum Einsatz kommen, um die Eigenverantwortung zu stärken. Mit welcher Intensität der Staat in privates Handeln eingreift, hängt – neben dem Verhältnis von privaten und gesellschaftlichen Kosten und Nutzen – auch davon ab, wie sicher die Informationen über mögliche Klimafolgen und die Folgen des Nichthandelns sind. Dabei wäre eine Argumentation in der folgenden Kaskade mit unterschiedlichen Eingriffstiefen des Staates möglich:

- Einige Bereiche haben für private Akteure Nutzen in absehbaren Zeithorizonten und liegen klar im Interesse der privaten Akteure, Anpassungsmaßnahmen werden dort autonom ergriffen. Der Staat kann sich hier in der Regel auf die Bereitstellung von Informationen beschränken.
- Falls die Eigenanreize nicht ausreichend sind, können ergänzend Instrumente des Ordnungsrechts zum Einsatz kommen, z.B. Planungsvorgaben, neue Standards für Infrastrukturen und Gebäude, Verbote (z.B. von neuen Bauten in stark gefährdeten Gebieten). Ordnungsrechtliche Vorgaben können selbst dort gerechtfertigt sein, in denen der Nutzen nachweisbar, die Kosten gering und das Eigeninteresse ausgeprägt ist, das entsprechende Verhalten aber dennoch ausbleibt (analog zu Sicherheitsgurten in PKW).
- In einigen Bereichen sind die finanziellen Anreize für das Ergreifen von Anpassungsmaßnahmen zu schwach, z.B. aufgrund der Unsicherheiten oder des langen Zeithorizonts. Hier kann der Staat dazu beitragen, die Anreize zu korrigieren. Dies sollte in erster Linie geschehen, indem externe Effekte internalisiert oder verzerrende

---

<sup>1</sup> Ob der Eigenanreiz stark genug ist, um eine Verhaltensänderung zu bewirken, und ob die wirtschaftlichen Akteure über ausreichendes Wissen verfügen, um den Anreiz wahrzunehmen und daraus richtige Handlungen herzuleiten, steht auf einem anderen Blatt. Insofern sind zumindest Informationsmaßnahmen, ggf. aber auch Regulierung, auch in solchen Fällen angebracht in denen ein Eigenanreiz der Akteure besteht.

Subventionen gestrichen werden, sofern diese einer effizienten Anpassung im Wege stehen. Zudem können u.U. Finanzierungsinstrumente sinnvoll sein, um sicherstellen, dass die Eigenvorsorge nicht an fehlenden finanziellen Mitteln scheitert (steuerliche Anreize, direkte Subventionen, direkte Finanztransfers).

An der Schnittstelle privater Handlungsentscheide und der Rolle des Staates ist auch das Thema Risikotransfer zu diskutieren. Heute besteht die Möglichkeit, dass private Akteure ihr Risiko gegen adäquate Prämien an einen Versicherer auslagern. Insbesondere die Elementarschadensversicherung kommt hier ins Spiel: Zukünftig soll die Eigenverantwortung bzw. die Stärkung der Prävention eine zunehmende Rolle spielen. Dazu muss gleichzeitig die Erwartungshaltung an staatliche Hilfen im Katastrophenfall reduziert werden. Aktuell kann die Versicherungswirtschaft einen umfassenden Versicherungsschutz gewährleisten, mögliche „Grenzen der Versicherbarkeit“ sind auf Basis der bisherigen Kenntnisse über den Klimawandel zumindest bis Mitte des Jahrhunderts nicht zu erwarten. Bei einer Zunahme von klimawandelbedingten Extremereignissen ab 2050 wird sich herausstellen, ob die privatwirtschaftliche Lösung haltbar ist, oder ob der Staat eine wichtigere Rolle einnehmen muss.

Der Risikotransfer kann also auf privater Ebene, zwischen privaten Akteuren und Versicherern erfolgen. Der Staat setzt die notwendigen Rahmenbedingungen (z.B. Hochwasserwarnsysteme), versucht über raumplanerische Maßnahmen das Risikopotential zu reduzieren (z.B. Freihalten von Retentionsflächen, vorsorgende Raumplanung in überschwemmungsgefährdeten Gebieten) und sichert seine eigenen, meist nicht-versicherbaren Infrastrukturen (vgl. Welp et al. 2010). Zudem sichert der Staat den Bevölkerungs- und Katastrophenschutz, z.B. die Evakuierung bei Überschwemmungsereignissen mit Hilfe der Feuerwehren. Der Staat ist mit diesen Aufgaben insbesondere dann gefordert, wenn Extremereignisse die Systemstabilität gefährden (eher gegen Ende des Jahrhunderts). Diese Aspekte werden detailliert im Querschnittsbereich Finanzen/Versicherungen diskutiert.

Diese Ausführungen verdeutlichen, dass eine klare Abgrenzung der Anpassungsmaßnahmen nach privaten Akteuren und öffentlicher Hand vielfach schwierig ist. Daher werden in den Handlungsbereichen die Maßnahmen in diesem Zwischenbericht integral betrachtet. In den weiteren Arbeiten können aber Anpassungsmaßnahmen ausgeklammert werden, die klar im privaten Bereich liegen.

## 2.6 Methodik der Auswertung

Die folgende Übersicht über den Stand der Forschung in den 15 Handlungsfeldern der Deutschen Anpassungsstrategie dokumentiert die wichtigsten Ergebnisse einer Literaturrecherche, die in der ersten Jahreshälfte 2010 durchgeführt wurde. Der Fokus der Recherche lag dabei auf Studien, die Anpassungsmaßnahmen in möglichst konkreter Form diskutierten, weniger dagegen auf Studien, die allgemein die Betroffenheit von Sektoren durch den Klimawandel zum Thema hatten. Ebenso wurden soweit irgend möglich Studien herangezogen, die quantifizierte Angaben zu Kosten und Nutzen lieferten (nicht notwendigerweise auch in monetärer Form), oder die anderweitig geeignet waren, zu einem besseren Verständnis von Kosten und Nutzen der Anpassung im jeweiligen Handlungsfeld beizutragen. Der regionale Schwerpunkt lag auf Studien zur Anpassung in Deutschland, wobei auch eine große Zahl von Studien aus Nachbarländern und sonstigem EU-Ausland betrachtet wurden. Im Zuge der Recherche wurden 139 Studien anhand einer Reihe von

Kriterien ausgewertet und in einer Datenbank erfasst. Die detaillierten Ergebnisse der Auswertung sind in einer excel-basierten Datenbank dokumentiert, die dem UBA vorliegt. Die geführten Experteninterviews haben die Ergebnisse der Literaturrecherche punktuell ergänzt.

Die untersuchten Studien sind vor allem Ergebnisse aus europäischen oder nationalen Forschungsprojekten, z.B. PESETA-Projekt, Routeplanner, ADAM-Projekt oder Forschungsprojekte des UBA. Darüber hinaus wurde auf Publikationen von nationalen Behörden, wie dem UK Department of Health zurückgegriffen. Weitere Studien wurden für internationale Organisationen, wie die Weltgesundheitsorganisation (WHO), die Weltbank oder die UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) angefertigt. Unter den deutschlandbezogenen Studien befindet sich Literatur, die ganz Deutschland abdeckt, z.B. Dannenberg et al. 2009. Ebenfalls sind regionale Studien enthalten, die größtenteils auf Landesebene, u.a. Gerstengarbe et al. 2003, aber teilweise noch kleinräumiger angesiedelt sind, z.B. die Studie von Mai et al. 2004, die sich mit Küstenschutz am Beispiel von Bremerhaven befasst.

## 3 Auswertung der Handlungsfelder

### 3.1 Handlungsfeld Gesundheit

Das Handlungsfeld Gesundheit steht in Deutschland momentan noch kaum im Fokus der Diskussion von Anpassungsstrategien. Da eine direkte Betroffenheit des einzelnen Individuums besteht, reagiert die Bevölkerung allerdings allgemein sehr sensibel auf Gesundheitsfragen. Das Handlungsfeld Gesundheit bietet diverse Überlappungen mit dem Handlungsfeld Bevölkerungsschutz. Dies wird vor allem bei der Betrachtung der Folgen von Extremwetterereignissen und Hitzewellen deutlich.

#### 3.1.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

##### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Aus den ausgewerteten Studien geht hervor, dass der Großteil der Studien sich mit den Folgen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit über Hitze, Trockenheit, Stürme, Hochwasser und die Zunahme neuer Krankheitsrisiken befasst. Eine Darstellung von Schadenskosten erfolgt nur bei einem kleinen Teil der betrachteten Studien. Bei den Schäden werden vor allem Auswirkungen von Temperaturerhöhungen und damit Herz-Kreislauf-Erkrankungen betrachtet. Vereinzelt werden auch Dürren, Stürme, die Erhöhung der Luftverschmutzung und höherer UV-Strahlung in die Betrachtung einbezogen. Die bisher in den untersuchten Studien abgedeckten Krankheiten konzentrieren sich vor allem auf durch von Vektoren übertragene Krankheiten, wie Zecken, Malaria oder Denguefieber (vgl. Hunter 2003, Lindgren 2006, Department on Health 2008, Mücke 2009) sowie auf durch Wasser übertragene Infektionen, z.B. Salmonellen oder Noroviren (vgl. Hunter 2003, Department of Health 2008). Weniger häufig werden Lebensmittelvergiftungen und hitzebedingte Atemwegserkrankungen untersucht. Ebenfalls wird die Möglichkeit genannt, dass sich allergische Reaktionen erhöhen bzw. sich die Beschwerdezeit verlängert, z.B. durch die größere Ausbreitung von allergieauslösenden Pflanzen, was durch höhere Temperaturen und höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen begünstigt wird.

Am besten quantifiziert sind bisher die zusätzlichen Todesfälle durch Temperaturerhöhungen im Sommer. Für den Winter sind ebenfalls Daten zu vermiedenen Todesfällen vorhanden. Bei Hübler et al. (2007) werden Sommer und Winter betrachtet und für das Jahr 2100 eine Erhöhung der Sterbefälle aufgrund der Temperaturveränderung auf 3.000 pro Jahr prognostiziert. Neben den Schäden auf die Gesundheit selbst (Krankheitstage und Auswirkungen auf Mortalität) sind Auswirkungen auf die Arbeitsproduktivität einer Volkswirtschaft zu berücksichtigen. So sind in der Literatur Werte zu finden, die einen Rückgang der Produktivität bei 35-37 °C um 75 % gegenüber der Komfort-Temperatur von knapp über 20°C ergeben (vgl. Bux 2006). Neben dem Rückgang der Produktivität durch hohe Temperaturen fallen auch Einbußen durch Krankheitstage ins Gewicht. Hübler et al. (2007) zeigen einen Rückgang von 0,1 bis 0,5 % des BIP durch Hitzeereignisse, also Temperaturerhöhungen im Sommer, auf.

Darüber hinaus werden die Gesundheitskosten der Privathaushalte zunehmen und sich die Ausgabenverteilung innerhalb des Budgets der Haushalte verschieben. Durch die höheren

Kosten im Gesundheitssektor steht ein geringerer Teil des privaten Einkommens zum Konsum von anderen Gütern und Dienstleistungen zur Verfügung, so dass es auch zu Auswirkungen auf andere wirtschaftliche Sektoren kommt (z.B. Bosello et al. 2005).

Bei der Erhebung von Schadenskosten sind vor allem Daten zu Temperaturveränderungen erhältlich. Die Schadenskosten durch Erhöhung der Temperatur und Hitzewellen und den damit verbundenen erhöhten Sterbefälle im Sommer 2003 in Rom werden in der Studie von Alberini und Chiabai (2005) untersucht. Des Weiteren wurden die Auswirkungen der Hitzewellen im Jahr 2003 im englischen County Hampshire monetarisiert (vgl. Hunt o.J.). Bei Kovats et al. (2006) werden die Auswirkungen der Temperaturveränderung (Erhöhung und Verringerung) auf die direkten Folgen für die Gesundheit (Mortalität) untersucht. Auf Basis der erhöhten Mortalität erfolgt eine Berechnung der Schadenskosten.

### Methodik der Studien

Prognosen der klimabedingt steigenden Häufigkeit für Erkrankungen bzw. die Verbreitung von bisher nicht in Europa vorhandenen Krankheiten werden zum Teil über Dynamic Integrated Assessment Models durchgeführt. Bei der Nutzung von Modellen werden meist sozio-ökonomische Indikatoren in die Modellierung einbezogen. In mehreren Studien wird dafür auf die Modelle des WHO Global Burden of Disease assessment zurückgegriffen, die weiter auf die spezielle Untersuchung angepasst werden. Diese Modelle werden vor allem bei der Untersuchung von durch Vektoren und durch Wasser übertragene Krankheiten genutzt (vgl. Tol 2001, Bosello et al 2005, Ebi 2007). Für die Auswirkungen von Hitzewellen wird auf Daten aus der Vergangenheit zurückgegriffen. Dabei wird vor allem die Hitzewelle im Jahr 2003 als Basis herangezogen. Die Evaluation der Krankenfälle erfolgt dann über zusätzliche Todesfälle und Krankenhauseinlieferungen (z.B. Hunt, A. o.J.).

Für die Evaluierung der Schadenskosten wird bei den meisten Studien die Zahlungsbereitschaft nach dem Konzept des „value of statistical life“ oder ähnlichen Ansätzen, wie dem "value of a life-year"-Konzept genutzt. Eine weitere genutzte Möglichkeit der Monetarisierung ist der Opportunitätskosten-Ansatz, wobei als Basis der Berechnung medizinische Behandlungskosten herangezogen werden.

Die Beeinträchtigung des BIP durch den Rückgang der Arbeitsproduktivität bei Temperaturerhöhungen wird bei Hübler et al. (2007) über das heutige BIP berechnet, es findet keine Schätzung des BIP für das Jahr 2100 statt. Mit Hilfe des REMO-Klimamodells werden die wahrgenommenen Tagestemperaturen modelliert und mit der Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit verrechnet. Hübler et al. (2007) verwenden für den Rückgang der Arbeitsproduktivität Daten aus der Literatur.

Die Schäden werden auf der Basis von diversen Klimaszenarien analysiert. Je nach geographischem Untersuchungsgebiet sind dies vor allem die IPCC-Szenarien A2 und B2, welche z.B. in der PESETA-Studie (Ciscar 2009) anhand von regionalen Klimamodellen noch heruntergebrochen werden. Für Studien, die auf Auswirkungen in Großbritannien fokussieren, werden zum Großteil die Klimaszenarien des UK Climate Impacts Programme (UKCIP) verwendet. Für die untersuchte Studie aus den Niederlanden wurde ebenfalls ein regionales Klimaszenario des KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) genutzt. Der Betrachtungszeitraum variiert in den ausgewerteten Studien sehr stark. Teilweise abhängig von den verwendeten Klimaszenarien sind sowohl Studien zu finden, die einen Untersuchungszeitraum über das gesamte 21. Jahrhundert (2000-2100) (z.B. Tol und

Dowlatabadi 2001) nutzen, als auch der Bezug für ein Jahr, z.B. 2020 ist vertreten (z.B. Alberini und Chiabai 2005).

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die vorliegenden Studien konzentrieren sich auf einzelne Gruppen von Krankheiten, die als besonders klimarelevant eingestuft werden können. Es ist ein Schwerpunkt auf der Untersuchung von durch Vektoren und durch Wasser übertragene Infektionen und von hitzebedingten Herz-Kreislaufkrankungen zu erkennen, wobei z.B. die Ausbreitung von Atemwegserkrankungen noch weniger erforscht ist. Bei der Analyse der untersuchten Studien wird deutlich, dass auch die Prognose der Ausbreitung von Krankheiten noch sehr kontrovers und mit hohen Unsicherheiten behaftet ist. Die Monetarisierung kann im Handlungsfeld gut über das „value of statistical life“ oder ähnliche Konzepte durchgeführt werden. Da ein Menschenleben in solchen Berechnungen mit einem sehr hohen monetären Wert abgebildet wird, können aber schon kleine Prognoseschwächen der Mortalität zu großen Verzerrungen der Schadenskosten führen. Da medizinische Behandlungskosten bereits über die Abrechnungssummen für Ärzt/inn/e/n erfasst werden, kann dieses Konzept ebenfalls empfohlen werden. Dabei ist zu beachten, ob sich die Schwere der Erkrankung klimawandelbedingt verändert.

Die Aussagen zur Beeinträchtigung der Produktivität sind momentan noch mit hohen Unsicherheiten behaftet. So variieren die Angaben über den Zusammenhang von Arbeitsproduktivität und Temperaturerhöhung in der Literatur sehr stark. Die Daten sind hier stark abhängig von der Art der Tätigkeit und dem Ort der Tätigkeit (innen, außen). Diese Aspekte fließen in die Studien momentan nur sehr eingeschränkt ein, so dass hier noch ein wesentlicher Forschungsbedarf besteht.

## 3.1.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Die untersuchten Studien im Handlungsfeld Gesundheit teilen sich ca. gleich auf sektorübergreifende und sektorale Studien auf, wobei dies wissenschaftliche Studien sind und zu einem kleinen Studien, die von Gesundheitsbehörden herausgegeben wurden. Der größte Teil sind Studien aus anderen Staaten, u.a. aus Großbritannien, den Niederlanden und Italien. Aus Deutschland liegen momentan nur qualitative Bewertungen vor.

Die vorliegenden Studien enthalten vorwiegend Vorschläge zu Anpassungsmaßnahmen im Bereich Gesundheit. Nur bei zwei Studien werden konkrete Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt (Hunt o.J.; Ebi et al. 2004). Als Anpassungsmaßnahmen werden Hitzewarnsysteme und Informationen zum Verhalten bei Wetterextremen genannt. Der Schutz gegenüber Extremwetterereignissen, wie Überschwemmungen, Sturzfluten oder Erdbeben, welche zur Gefährdung von Menschenleben führen kann. Ein wichtiger Aspekt ist ebenfalls die Kühlung von Gebäuden – als aktive Kühlung für Krankenhäuser oder Pflegeheime, und passive Kühlung, u.a. über Verschattungselemente, für Wohngebäude. Weiterhin notwendig sind städteplanerische Veränderungen, z.B. Frischluftkorridor, die optimierte Frischluftzufuhr bieten, Stadtbegrünungen als Kälteinseln und die Vermeidung von weiterer Versiegelung, (vgl. auch Mücke et al. 2009, Zebisch et al. 2005, Baumüller 2008, Jendritzky & Koppe 2008).

Des Weiteren werden Überwachungs- bzw. Meldesysteme für Infektionskrankheiten und Frühwarnsysteme für vektorübertragene Krankheiten empfohlen. Des Weiteren werden Aktionspläne zur Bekämpfung von allergieauslösenden Pflanzen mit der Einrichtung von Meldestellen, der aktiven Bekämpfung der Pflanze durch Ausreißen oder Verbrennen sowie die Verbreitung von Informationen zum Umgang mit den Pflanzen<sup>2</sup>. Ebenfalls wird ein Aufbau von Krankenhauskapazitäten für häufiger auftretende Krankheiten empfohlen (vgl. Zebisch et al. 2005, Mücke et al 2009, Hunt o.J., Ebi et al. 2004).

Auf die zeitliche Dimension wurde nur in einer Studie eingegangen (Hunt, A. o.J.). Es wird erwähnt, dass als erstes kostengünstige Maßnahmen ergriffen werden sollen, z.B. Aufbau eines Hitzewarnsystems. Wenn sich die Unsicherheiten zu den Auswirkungen des Klimawandels verringert haben, werden kostenintensivere Anpassungsmaßnahmen, wie der Ausbau von Krankenhauskapazitäten für hitzebedingte Erkrankungen, begonnen. Die Einrichtung von Überwachungs- und Meldesystemen sind zeitlich relativ schnell umsetzbar, da über die Ärzt/inn/en bereits eine Erfassungsstruktur besteht, die nur auf weitere Erkrankungen ausgeweitet werden muss. Warnsysteme, vor allem Hitzewarnsysteme, können ebenfalls relativ leicht eingeführt werden, allerdings ist darüber hinaus ein Empfängernetz für die Warnungen zu schaffen und z.B. das Personal in Altenheimen über den Umgang mit den Warnungen zu informieren. Die Kühlung von Krankenhäusern ist eine notwendige Maßnahme, die eine gewisse Umsetzungsdauer benötigt und vor allem bei der Sanierung bzw. dem Neubau von Krankenhäusern einbezogen werden sollte. Bei dem Aufbau von weiteren Krankenhauskapazitäten und städteplanerische Veränderungen ist eine langfristige Umsetzung notwendig, ebenfalls ist der momentane Handlungsdruck noch nicht zu hoch. Bei allen erwähnten Maßnahmen tritt die erste Wirkung direkt nach Umsetzung der Maßnahme ein. Bei Melde- und Überwachungssystemen ist festzustellen, dass eine Beobachtung der Situation direkt möglich ist, allerdings der Aufbau von Basisdaten und damit das Erkennen von Veränderungen sich erst über eine gewisse Zeitdauer einstellt. Die Anpassungsmaßnahmen im Gesundheitsbereich fallen zum überwiegenden Teil in die Verantwortung der öffentlichen Hand und werden ebenfalls zu einem Großteil durch öffentliche Finanzen durchgeführt werden müssen. Von einer autonomen Anpassung der Bevölkerung und der Wirtschaft ist in geringem Ausmaß ebenfalls auszugehen, z.B. bei der Kühlung von Büro- oder Wohnräumen.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Einrichtung von Überwachungs- bzw. Meldesysteme für Infektionskrankheiten	Beobachtung der Auswirkungen des Klimawandel	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Erstellung von Aktionsplänen gegen allergieauslösende Pflanzen (Meldestellen einrichten, Bekämpfen der Pflanzen)	Beobachtung der Auswirkungen des Klimawandel, Bekämpfung der Pflanzen	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern Verhinderung von Schäden

<sup>2</sup> Expertengespräch mit Uwe Kaminski, DWD.

Subjektbezogene Maßnahme	Einrichtung von Warnsystemen für Hitze und vektorübertragene Krankheiten	Informationen über aktuelle Gefahrensituation liefern	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Training von Personal des Gesundheitssystems	Einstellen auf neue Krankheiten	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Information der Bevölkerung über Schutz gegen „neu“ auftretende Krankheiten bzw. dem Verhalten bei höheren Temperaturen	Verhaltensveränderung der Bevölkerung	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
Objektbezogene Maßnahme	Kühlung von Krankenhäuser über Klimaanlage oder	Schutz vor Hitze	Verhinderung von Schäden
	Kühlung von Gebäuden, u.a. Krankenhäusern, über Einbezug in Stadt- und Raumplanung	Schutz vor Hitze	Verhinderung von Schäden
	Aufbau von Krankenhauskapazitäten für häufiger auftretende Krankheiten	Versorgung der Bevölkerung im Notfall ermöglichen	Verhinderung von Schäden

Die genannten Maßnahmen sind zum Großteil No-Regret-Maßnahmen. Zum Beispiel wird die Kühlung von Gebäuden auch bei heutigen Temperaturen bereits als angenehm empfunden. Ebenfalls können Warnsysteme bereits jetzt die menschliche Gesundheit bei auftretenden Extremwetterereignissen schützen. Hitzewarnsysteme amortisieren sich aufgrund der relativ geringen Kosten und des hohen Nutzens bereits bei der Minimierung um wenige Todesfälle. Bei Hunt, A. (o.J.) wurde ebenfalls die Einrichtung von ausreichenden Kapazitäten in Krankenhäusern als No-regret-Maßnahmen beschrieben, da diese Kapazitäten auch für andere Erkrankungen genutzt werden können. Ein Training von Krankenhauspersonal bezüglich neuer Krankheiten ist natürlich nur dann effizient, wenn diese Krankheiten wirklich auftreten. Das gleiche trifft auf die Verbreitung von Informationen in der Bevölkerung zu. Die Maßnahmen stimmen z.T. mit Maßnahmen im Handlungsfeld Bevölkerungsschutz überein.

### Methodik der Studien

Eine Priorisierung erfolgte nur in einer Studie (Hunt, A. o.J.), wobei als Priorisierungskriterium die Kosten genutzt wurden. Der Nutzen der Maßnahmen wurde mit dem bereits bei den Schadenskosten erwähnten Konzept des „value of statistical life“ berechnet, z.B. bei der Kosten-Nutzen-Analyse zum Hitzewarnsystem in Philadelphia (eine nähere Erläuterung erfolgt im Kapitel: Bevölkerungsschutz). Bei der Studie von (Hunt o.J.) werden zwar monetäre Größen für den Nutzen von Anpassungsmaßnahmen angegeben. Allerdings wird die Berechnung dieser Größen nicht beschrieben. Veränderungen des Verhaltens der Bevölkerung werden z.B. mit einem maximalen Nutzen von £ 3-15 Mio. angegeben.

## Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Der überwiegende Teil der Studien enthält qualitative Angaben zu den Anpassungsmaßnahmen. Eine Quantifizierung erfolgt in wenigen Fällen über das Konzept des „value of statistical life“. Diese Studien stammen aber alle aus dem europäischen Ausland oder den USA. Es liegen für Deutschland oft verwendete und recht gut anerkannte „Values of statistical life“ vor, z.B. aus EU-Projekten zur Monetarisierung externer Kosten in Europa (siehe Maibach et al. 2008), die methodisch vergleichbar berechnet wurden, so dass die Umrechnung der Methodik zur Quantifizierung für Deutschland möglich scheint. Eine statistische Auswertung der erhöhten Anzahl von Todesfällen bzw. Krankenhauseinlieferungen sollte auch in Deutschland möglich sein. Dabei muss allerdings ein oder mehrere in der Vergangenheit eingetretene Wetterereignis als Standard zugrunde gelegt werden. Der Erfolg von Anpassungsmaßnahmen, d.h. die Reduktion der Mortalität, müsste anhand der durchgeführten Studien erfolgen, evtl. können auch Daten von eingeführten Systemen in Deutschland ausgewertet werden.

## 3.2 Handlungsfeld Bauwesen

Das Handlungsfeld Bauwesen befasst sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf Gebäude und die zugehörige Infrastruktur, insbesondere die Abwasserinfrastruktur. In Abgrenzung zu den Handlungsfeldern Wasserwirtschaft und Energiewirtschaft geht es nicht um die eigentlichen, primären Dienstleistungen, die von diesen Infrastrukturen erbracht werden, sondern um unerwünschte Nebeneffekte wie z.B. Rückstau und Überflutung von Kanalisationen oder Spannungsspitzen im Stromnetz, die durch Blitzeinschläge verursacht werden und deren Häufigkeit im Zuge des Klimawandels möglicherweise deutlich zunehmen könnte. Dabei stehen einerseits klimabedingte Schäden an den Gebäuden selbst im Fokus des Interesses, andererseits Schäden (gelegentlich auch Vorteile) für die Bewohner der Gebäude. Die Erkenntnisse aus der Analyse dieses Handlungsfeldes lassen sich auch auf andere Handlungsfelder übertragen, in denen von Menschen bewohnte Gebäude eine Rolle spielen, insbesondere also Industrie und Gewerbe. Schließlich gibt es noch Überschneidungen mit dem Handlungsfeld der menschlichen Gesundheit, da unzureichend angepasste Gebäude Leben und Gesundheit von Bewohnern und anderen Menschen gefährden können (DAS 2008).

### 3.2.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

Insgesamt konnten sieben<sup>7</sup> Quellen identifiziert und ausgewertet werden, die zu klimabedingten Schäden im Handlungsfeld Bauwesen Aussagen machen.

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Hochwasser und Stürme bzw. Starkregen wurden von allen Referenzen zum Thema Bauwesen als mögliche Schadensursachen genannt. In beiden Fällen stehen die Schäden am Gebäude sowie im Falle des Hochwassers auch der im Gebäude befindlichen Vermögensgegenstände im Vordergrund. Im Extremfall können vor allem durch herunter fallende Gebäudeteile auch Menschen gefährdet werden. Vor allem in bergigen Regionen können längere Regenperioden außerdem Hangrutsche hervorrufen, die zum Totalverlust von Gebäuden und zum Verlust von Menschenleben führen können (Ecoplan 2007; Sgobbi und Carraro 2008). Auch Hitze kann für die Gesundheit der Bewohner ein Problem darstellen, wenn sich die Innenräume infolge schlechter Wärmedämmung und fehlender Verschattungsmöglichkeiten sehr stark aufheizen (Grothmann et al. 2009).

Aber nicht nur die Bewohner bzw. Besitzer der Gebäude sind vom Klimawandel betroffen, sondern auch die Bauindustrie und das Baugewerbe (einschließlich Planer und Architekten). Die Erbauer und Käufer von neuen Gebäuden könnten Bauunternehmen oder Gebäudeplaner für Schäden haftbar machen, die aufgrund absehbarer Klimaveränderungen eingetreten sind. Berkhout et al. (2004a; 2004b) stellen eine solche Bedrohung für Großbritannien in Aussicht. In Deutschland werden für die Bauwirtschaft entsprechende Standards vorgegeben, die ggf. an das sich verändernde Klima angepasst werden (DAS 2008). Solange sich am Bau beschäftigte Unternehmen an diese Vorschriften halten, können sie für Schäden nicht zur Verantwortung gezogen werden. Außerdem geben Berkhout et al. zu bedenken, dass es durch häufigere Stürme und längere Regenperioden zur Verzögerung bzw. Verlängerung von Baumaßnahmen kommen kann – mit entsprechenden negativen Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens.

Die Bezifferung der Kosten erfolgt in allen Fällen auf der Grundlage der Schäden, genauer gesagt des Aufwandes, der nötig ist, die Schäden zu beseitigen. Bei Totalverlust kommt der Wert des jeweiligen Objektes in Betracht. In beiden Fällen sind das auch die Schäden, die im Falle des Abschlusses einer entsprechenden Versicherung von den Versicherungsgesellschaften zu erstatten sind. Versicherungen sind dementsprechend meist auch die Quellen für die Zahlen. Sgobbi und Carraro (2008) untersuchen außerdem die volkswirtschaftlichen Schäden, das heißt die von den Extremwetterereignissen verursachten Einbußen an wirtschaftlicher Produktivität. Diese Kosten sind aber in der Regel nicht dem Bauwesen zuzurechnen, da das Bauwesen den Produktivitätsverlust weder verursacht hat noch selbst Ort des Produktivitätsverlustes ist.

Stern (2006) und Ackerman et al. (2008) sind von den untersuchten Quellen die einzigen, die Angaben über den Anstieg der Schadenskosten auf der Ebene ganzer Volkswirtschaften machen. Stern (2006) geht davon aus, dass ein Temperaturanstieg um 3°C die gegenwärtigen Schadenskosten in den USA etwa verdoppeln würde, womit sie etwa 0,13 Prozent des BIP betragen. In Europa, wo Stürme im Durchschnitt weniger stark sind, wäre von einem klimabedingten Anstieg der Schadenskosten von Stürmen bis zum Jahr 2080 um 16 bis 68 Prozent auszugehen, was in etwa 0,1 Prozent des BIP entspräche. Ackerman et al. (2008) gelangen bis 2100 dagegen für die USA zu einer Schadenshöhe von insgesamt 422 Mrd. US\$ entsprechend 0,41 Prozent des BIP. Allerdings handelt es sich dabei überwiegend um Schäden infolge von Hurrikans, die i.d.R. deutlich größer ausfallen als Sturmschäden hierzulande.

### Methodik der Studien

Die Quantifizierung der Schäden erfolgt in den meisten Studien anhand von Versicherungssummen vergangener Extremwetterereignisse. Relativ leicht lassen sich dabei im Zuge von Fallstudien die versicherten Schäden für bestimmte Extremwetterereignisse (z.B. Sturm Kyrill, Hurrikan Katrina) bestimmen. Unklar ist allerdings, wie aus diesen Zahlen die Schadenssummen abgeleitet werden können, die vom Klimawandel verursacht werden. Eine Möglichkeit besteht darin, Annahmen darüber zu bilden, in welchem Umfang sich die Häufigkeit und Intensität schwerer Stürme und Hochwasser als Folge des Klimawandels verändern wird und daraus den Anstieg der Schadenssummen hochzurechnen (ECCP 2008; Ackerman et al. 2008). Problematisch ist hierbei aber einerseits, dass zuverlässige Aussagen über diese Aspekte des Klimawandels bisher kaum existieren. Außerdem sind Versicherungssummen deswegen von begrenzter Aussagekraft, weil immer nur ein Teil der Schäden versichert ist. Außerdem sind Schäden und Versicherung geographisch nicht gleich verteilt (Ecoplan 2007). Grothmann et al. (2009) gehen daher den Weg, den durchschnittlichen Schaden pro Gebäude zu bestimmen. Sie verzichten aber darauf, die Klimafolgekosten hochzurechnen.

Hitzewellen als Ursache für gesundheitliche Beeinträchtigungen der Bewohner von Gebäuden werden vereinzelt erwähnt, sie werden aber nie quantifiziert – vermutlich wegen Problemen bei der Bewertung, d.h. bei der Zuordnung entsprechender Krankheitskosten (vgl. auch Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“)

Obwohl in allen Studien unterstellt wird, dass die Häufigkeit und/oder Intensität von Extremwetterereignissen klimabedingt in Zukunft zunehmen wird, ist in den meisten Fällen nicht ersichtlich, woher diese Erkenntnisse kommen. In einigen Fällen (z.B. Ackerman et al. 2008) wird Bezug genommen auf IPCC (2007a), obwohl IPCC nur Aussagen über geographische Großräume macht, Extremwetterereignisse aber bekanntermaßen

kleinräumigen Charakter haben. Als Einzige der untersuchten Studien gibt Ecoplan (2007) zwei Quellen (Frei 2004 und OcCC 2007) an, aus denen Angaben zu Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen gezogen wurden.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Im Vergleich zum Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz, in dem Hochwasser ebenfalls als eine mögliche Ausprägung des Klimawandels betrachtet wird, ist im Bereich des Bauwesens nicht nur die Zahl der für die Auswertung verfügbaren Studien deutlich geringer, auch der betriebene methodische Aufwand ist wesentlich geringer. Das mag darin begründet sein, dass einerseits auf Seiten der Klimamodellierung die erforderlichen Daten mit größeren Unsicherheiten behaftet sind. Andererseits sind mit der Wasserwirtschaft öffentliche Behörden befasst, denen die Fürsorge für die Bevölkerung obliegt, wogegen das Bauwesen privatwirtschaftlich organisiert ist. Damit nimmt der Klimawandel naturgemäß eine andere Stellung ein, mit entsprechenden (negativen) Folgen für die Höhe der bereitstehenden Ressourcen.

Ausgangspunkt für die Kostenermittlung sind in fast allen Fällen Daten von Versicherungsunternehmen zur Höhe der durch Extremwetter verursachten Schäden an Gebäuden. Dabei muss aber auf jeden Fall untersucht werden, in welcher Relation die versicherten Schäden zur Gesamthöhe der Schäden stehen. Außerdem muss analysiert werden, in welchem Umfang diese Schäden sich durch den Klimawandel ausweiten. Am ehesten erfüllt unter den betrachteten Studien diejenigen von Ecoplan (2007) diese Anforderungen.

## 3.2.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Von den Instrumenten zur Vermeidung von Hochwasser, die bei der Analyse des Handlungsfeldes Wasser genannt werden, fallen in den Bereich des Bauwesens nur diejenigen, die sich mit Anpassungsmaßnahmen im unmittelbaren Umfeld der Gebäude selbst befassen. (Alle anderen werden im Handlungsfeld Raum-, Regional-, Bauleitplanung behandelt.) In Frage kommen also Maßnahmen aus dem Bereich der Gefahrenabwehr wie der Bau von Dämmen oder der Schutz gegen eindringendes Wasser durch Barrikaden. Im Fall von Stürmen können exponierte oder anderweitig empfindliche Gebäudeteile (z.B. Dächer und Fassaden) besonders geschützt oder so ausgelegt werden, dass die Sensitivität reduziert wird. Um Maßnahmen der Gefahrenabwehr umzusetzen ist außerdem auch die Einrichtung entsprechender Vorhersage- und Warnsysteme erforderlich. Interessanterweise wird diese Option im Kontext des Bauwesens in keiner der untersuchten Studien erwähnt. Ursache dafür könnte sein, dass diese Warnsysteme nicht dem Bausektor zugerechnet werden. Erwähnt wird dagegen die Möglichkeit, Schäden durch eine Versicherung zu kompensieren, solange entsprechende Schäden nicht zu häufig auftreten. Vorbeugemaßnahmen (z.B. Schutz gegen Sonneneinstrahlung, Auswahl des Standortes und angepasste Ausrichtung des Gebäudes) sind schließlich beim Schutz der Bewohner gegen anhaltende, starke Hitze in Betracht zu ziehen. Allerdings werden hier auch rein defensive Maßnahmen wie die Klimatisierung belasteter Räume oder Gebäude in Erwägung gezogen.

Die nachträgliche Anpassung bestehender Gebäude an die Klimaveränderungen ist in begrenztem Umfang (und mit erhöhtem Aufwand) grundsätzlich kurzfristig machbar. Ebenso

kurzfristig ließen sich bei Neubauten umfassendere Anpassungsmaßnahmen zu niedrigeren Kosten verwirklichen. Das setzt allerdings voraus, dass Planer und Architekten über entsprechende Informationen verfügen und dass relevante Baustandards entsprechend angepasst werden – beides eher mittelfristig wirksame Prozesse. Umfassende Veränderungen im Bestand sind dagegen nur langfristig umsetzbar.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Berücksichtigung von Klimatrends bei der Konstruktion/ Auslegung von Gebäuden	Vermeidung unmittelbarer und mittelbarer Schäden (Haftung von Bauunternehmen) des Klimawandels	Verminderung der Bedrohung
Subjektbezogene Maßnahme	Information von Architekten, Ingenieurbüros, Bauherren usw. über Auswirkungen des Klimawandels und Maßnahmen zur Anpassung	Vermeidung von Schäden durch eigenverantwortliches Handeln der Betroffenen	Information, Sensibilisierung; Verminderung der Schäden
Objektbezogene Maßnahme	Reduktion der Sonneneinstrahlung (Art, Größe, Verschattung von Fenstern) Fassaden- und Dachdämmung Begrünung von Dächern Nachtlüftung, Klimatisierung	Vermeidung von Gesundheitsschäden und der Beeinträchtigung des Wohnkomforts	Verminderung der Schäden
	Behandlung der Gebäudehülle Rückstauklappen Dimensionierung von Regenwasserabläufen und Kanalisation Stabilere Dach- und Fenstermaterialien	Vermeidung unmittelbarer Schäden von Hochwasser, Starkregen, Stürmen und Hagelschlag an Gebäuden	Verminderung der Schäden
	Lage/Form des Gebäudes Konstruktion/Struktur des Daches	Vermeidung von Schäden durch Extremwetterereignisse	Verminderung der Schäden

### Methodik der Studien

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass nur etwa die Hälfte der analysierten Studien Angaben zu den Kosten von Anpassungsmaßnahmen macht. Die meisten Studien, die die Kosten von Anpassungsmaßnahmen untersuchen (Grothmann et al. 2009; Sgobbi und Carraro 2008; Van Ierland et al. 2007), tun dies exemplarisch für einzelne Maßnahmen und betonen dabei, dass die Kosten stark vom Einzelfall abhängen und daher nicht auf ganze Sektoren oder Volkswirtschaften hochgerechnet werden können. Der Stern Review (2006) ist die einzige Studie, die pauschale Angaben für die zwecks Anpassung notwendigen Zusatzinvestitionen macht. Danach belaufen sich die Anpassungsinvestitionen für Stürme und Hochwasser auf 1

bis 10 Prozent (letzteres bei einem Temperaturanstieg um 4°C) der gesamten Investitionen in Gebäude und Infrastruktur, die sich in den OECD-Ländern auf 1,5 Billionen US\$ pro Jahr belaufen. In Relation zum BIP sind das 0,05 bis 0,5 Prozent. Darin enthalten sind auch Kosten, die den Handlungsfeldern Wasserwirtschaft und Verkehr zuzuordnen sind. Die vermiedenen Kosten von Stürmen und Hochwasser belaufen sich demgegenüber in Europa auf 0,1 bis maximal 0,4 Prozent des BIP, je nachdem welche Zeitperspektive angelegt und welche Klimaveränderungen zugrunde gelegt werden (siehe oben).

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die exemplarische Bewertung von Einzelmaßnahmen zur Vermeidung von Schäden aufgrund von Hochwasser und Stürmen ist vor allem dann sinnvoll, wenn der Versuch unternommen wird, diese Kosten auf eine ganze Region oder einen ganzen Wirtschaftssektor hochzurechnen. Gegenwärtig fehlen dafür in vielen Fällen noch die notwendigen Erfahrungswerte.

Ein generelles Problem beim Vergleich der aggregierten Kosten von Maßnahmen der Klimaanpassung aus verschiedenen Quellen ist die Vermengung verschiedener Handlungsfelder und Klimaszenarien. In vielen Fällen werden unter Extremwetterereignissen Hochwasser und Stürme subsummiert, obwohl im Handlungsfeld Bauwesen nur Stürme und ein kleinerer Teilaspekt des Hochwassers relevant sind. Aus geographischer Perspektive macht es außerdem einen bedeutenden Unterschied, ob tropische Ereignisse wie Hurrikans oder Taifuns mit einbezogen werden oder nicht. Wegen der größeren ökonomischen Relevanz dieser Ereignisse überrascht es nicht, dass Kosten bisher vor allem für die von diesen Ereignissen betroffenen Regionen beziffert wurden. Für Europa sind sie aber kaum relevant. Schließlich ist es entscheidend, welches Ausmaß des Klimawandels unterstellt wird und welche Zeitperspektive angelegt wird. Bei Stern (2006) und Ackerman et al. (2008) ist die Zeitperspektive mit 2080 bzw. 2100 vergleichbar. Die für diese Zeitperspektive unterstellte Klimaerwärmung variiert hingegen zwischen 1 und 5°C.

### 3.3 Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz

Das Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz ist ein sehr breites Handlungsfeld, das sich mit allen Aspekten des Wasserkreislaufes auseinandersetzt, die vom Klimawandel beeinflusst sind und sich auf das sozioökonomische sowie ökologische Umfeld des Menschen auswirken. Dazu gehört einerseits die Sicherstellung der unmittelbaren Versorgung mit Wasser in und Entsorgung des Abwassers aus verschiedenen Verwendungszwecken, die ebenso wie die Ableitung von Regenwasser das Betätigungsfeld der Siedlungswasserwirtschaft darstellt. Andererseits können Siedlungs- und Naturräume von Hochwasserereignissen oder Trockenperioden betroffen sein, auf deren Entstehung und Auswirkungen sie selbst keinen oder nur geringen Einfluss besitzen. Eine weitere klimabedingte Bedrohung geht für küstennahe Siedlungs- und Wirtschaftsbereiche vom steigenden Meeresspiegel und einer Zunahme von Stürmen aus, denen die bestehenden Schutzeinrichtungen möglicherweise nicht mehr gewachsen sind (DAS 2008).

Vom Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz gehen zahlreiche Querverbindungen zu anderen Wirtschafts- oder Naturbereichen und damit auch Handlungsfeldern aus, von denen insbesondere Konfliktfälle und Synergien von besonderem Interesse sind. Als Beispiel für Erstere seien hier Verwendungskonflikte zwischen Haushalten, Industrie, Land- (und Forst-)wirtschaft und bestimmten Naturräumen genannt, die zur Aufrechterhaltung ihrer Produktivität auf bestimmte Quantitäten und Qualitäten von Wasser angewiesen sind, die in manchen Regionen Deutschlands zeitweise möglicherweise nicht sichergestellt werden können. Synergien ergeben sich beispielsweise im Zusammenhang mit Feuchtgebieten, die die Wirkung von Hochwasser abmildern und zur Erneuerung des Grundwassers beitragen können, ihrerseits aber auf eine bestimmte Wasserversorgung angewiesen sind.

#### 3.3.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

Insgesamt konnten 24 Quellen identifiziert und ausgewertet werden, die zu klimabedingten Schäden im Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz Aussagen machen. Davon befassten sich 13 mit dem Thema Hochwasser, 14 mit dem Thema Wasserversorgung und 16 mit dem Küstenschutz. Zwischen Hochwasser und Wasserversorgung gab es eine weitgehende Überlappung, während sechs Veröffentlichungen sich ausschließlich mit dem Küstenschutz beschäftigten.

##### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

###### **Hochwasserschutz**

Die Häufigkeit und Intensität von Hochwasser wird durch verschiedene Klimaveränderungen beeinflusst. Durch länger anhaltende und/oder heftigere Niederschläge kann regional oder lokal Hochwasser entstehen, das meist kurzfristig und ohne lange Vorwarnzeit auftaucht und schnell wieder abebbt. Im Gegensatz dazu stehen Hochwasser, die einen ganzen Flusslauf betreffen und häufig mit der Kombination von intensiveren Niederschlägen und Schneeschmelze (bei durchschnittlich niedrigeren Wintertemperaturen) in den Quellgebieten im Zusammenhang stehen.

Bei den Schäden stehen meist Gebäude und Infrastruktur wie Brücken, Straßen oder Bahntrassen im Vordergrund. Die Bezifferung der Schäden erfolgt, wenn überhaupt, meist auf der Basis von Schadenssummen, die von der Versicherungswirtschaft bereitgestellt werden und sich meist auf Jahrhundertereignisse wie das Elbehochwasser von 2002 (Zebisch et al. 2005) beziehen. Ein durchschnittliches Hochwasser hat dabei Kosten in Höhe von 0,5 Promille des BIP zur Folge; bei einem „Jahrhunderthochwasser“ können es bis zu 2 Promille sein (EEA 2008). Die resultierenden Zahlen haben eher exemplarischen Charakter. Aussagekräftiger ist eine systematische Analyse der Entwicklung der versicherten Vermögensgegenstände insgesamt (EEA 2008). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass Gebäude nur teilweise und die Infrastruktur meist überhaupt nicht versichert sind. Dieser Umstand kann durch entsprechende Korrekturfaktoren berücksichtigt werden. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, den Anteil an den Hochwasserschäden zu beziffern, die auf den Klimawandel zurückzuführen sind. Die einfache Betrachtung von Zeitreihen ist hier kaum zielführend, da die in der Regel zu beobachtende Zunahme der Versicherungssumme nicht nur auf die Zunahme der Häufigkeit und Intensität der Wetterereignisse zurückzuführen sein dürfte, sondern auch auf die Zunahme des Anteils und des Wertes der versicherten Gebäude. Für die Bezifferung der expliziten Klimaschäden deutlich besser geeignet ist dagegen der Ansatz von Ciscar (2009), der für aktuelle Schadensereignisse von den jeweils ermittelten Schadenswerten ausgeht und anhand von Klimamodellen bestimmt, in welchem Umfang die Häufigkeit von Hochwasserereignissen einer bestimmten Kategorie (z.B. 100-jährige) und die davon ausgehenden Schäden voraussichtlich zunehmen werden. Auf diese Weise ist entsprechend der Genauigkeit der Klimamodelle bis zu einem gewissen Grad auch eine geographische Differenzierung der Ergebnisse möglich.<sup>3</sup> Für das Jahr 2080 gelangt Ciscar (2009) zu klimabedingten, zusätzlichen Schäden in Höhe von 7,7 bis 15 Mrd. Euro für Europa.

Weitere signifikante Kostenkategorien, die über die Schäden an Gebäuden und Infrastruktur hinausgeht, sind indirekte Kosten wie sie durch den Katastrophenschutz oder Produktionsausfälle hervorgerufen werden. Die Kosten des Katastrophenschutzes können laut Pfurtscheller und Schwarze (2010) bis zu 25 % des Gesamtschadens betragen; im Durchschnitt ist ein Anteil von etwa 10 Prozent anzusetzen. Allerdings ist zu beachten, dass der Katastrophenschutz der Abwehr unmittelbarer Hochwasserschäden dient und damit ebenso wie seine Kosten eher den Anpassungsmaßnahmen zuzuordnen ist.

### **Wasserversorgung**

Die Sicherung der Wasserversorgung – sowohl für Trinkwasser als auch zur Bewässerung und für Produktionsprozesse – ist im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel weltweit und vor allem in (temporären) Wassermangelgebieten ein wichtiges Thema, wogegen Wassermangel in Deutschland oftmals nicht als wichtiges Thema erachtet wird (z.B. Dannenberg et al. 2009). Bei genauerem Hinsehen lassen sich aber auch in Deutschland Regionen mit temporärem Wasserdefizit identifizieren (z.B. Brandenburg; Gerstengarbe et al. 2003). Die in diesem Zusammenhang auftretenden Probleme sind sowohl quantitativer als auch qualitativer Natur. Sinkende Grundwasserspiegel und sinkende Pegelstände von

---

<sup>3</sup> Dabei wird vereinfachend angenommen, dass Ereignisse der gleichen Schwere überall Schäden in vergleichbarer Höhe hervorrufen, was tatsächlich nicht der Fall ist und daher die Möglichkeiten der räumlichen Differenzierung ebenfalls stark einschränkt.

Talsperren machen es nicht nur schwieriger, die benötigten Wassermengen zu fördern, sondern auch die Wasserqualität des Rohwassers verschlechtert sich, nicht zuletzt, weil vorhandene Schadstoffe in einem geringeren Volumen gelöst sind. Hinzu kommt bei Oberflächengewässern im Sommer die Temperaturerhöhung, die sich negativ auf die hygienischen Parameter auswirken kann. Der schwierigeren Wasserversorgung steht außerdem eine größere Nachfrage gegenüber, die sich vor allem in der Landwirtschaft aus der temperaturbedingten stärkeren Verdunstung der Pflanzen und den größeren Verlusten bei der Bewässerung ergibt. In der Industrie ist vor allem im Bereich der Kühlung (z.B. bei Kraftwerken) mit Einschränkungen zu rechnen, wogegen bei den Haushalten kaum mit klimabedingten Engpässen zu rechnen ist.

Zur Berechnung der unmittelbar aus der schlechteren Wasserversorgung resultierenden Schäden gibt es zwei Ansätze, die gegebenenfalls miteinander kombiniert werden. Beispielhaft ist hier das Vorgehen von Titus (1992), der zunächst mit Hilfe von (angenommenen) Nachfrage- und Angebotselastizitäten den Preisanstieg ermittelt, den der Nachfrageanstieg bei gleichzeitiger Verknappung des Wassers in den USA zur Folge hätte. Dieser Preisanstieg wird auf die gesamte verbrauchte Wassermenge umgelegt und als volkswirtschaftlicher Schaden interpretiert, der durch den Klimawandel hervorgerufen wurde. Außerdem wird in Fällen besonders starker Verknappung von einer Wasserrationierung ausgegangen. Meist ist davon der Landwirtschaftssektor betroffen, weil dort für die Produktion von Gütern eines bestimmten Wertes am meisten Wasser verbraucht wird. In Folge der Rationierung sinkt die Produktivität. Der Schaden beziffert sich dann entsprechend aus dem Produktionsrückgang. Für den Zeitraum 1990 bis 2000 ermittelt Titus (1992) für die USA zusätzliche Kosten in Höhe von 6 bis 8 Mrd. US\$, d.h. 10 bis 12 Prozent der Wasserkosten ohne Klimawandel (64 Mrd. US\$).

Außerdem werden in Titus (2006) und Boyd und Walton (2006) auch Schäden berücksichtigt, die sich aus der verschlechterten Wasserqualität ergeben. Die Ermittlung der Schadenshöhe erfolgt hier auf der Basis der Vermeidungskosten, d.h. es werden die Kosten zusätzlicher Abwasserbehandlungsverfahren berechnet, mit deren Hilfe die Wasserqualität auf dem ursprünglichen Stand gehalten werden könnte. Diese Kosten sind mit 15 bis 52 Mrd. US\$ deutlich höher als die Kosten des Rückgangs der Versorgungsmenge.

### **Küstenschutz**

Die Schäden im Bereich des Küstenschutzes werden meist auf die Kombination des Anstiegs des Meeresspiegels mit stärkeren Stürmen zurückgeführt. In den meisten Fällen bemessen sich die entsprechenden Kosten analog zu Hochwasser im Binnenland an den verursachten Schäden an Vermögensgegenständen und ggf. am Wert des verlorenen Landes. Laut Ciscar (2009) könnten in Europa im Jahr 2085 bis zu 5,5 Mio. Menschen von Küstenschäden betroffen sein. Der Landverlust beläuft sich laut UNFCCC (2007) im Jahr 2085 auf 8 Mrd. US\$, wobei nur ein Viertel dem Klimawandel zuzuschreiben ist. Umfassendere Studien (z.B. Hostede et al. 2000; Elsner et al. 2001; Stern 2006) beziehen auch Produktivitätsverluste mit ein. Für Europa werden so im Jahr 2080 Schäden in Höhe von 12 bis 18 Mrd. Euro erwartet (EEA 2008). Das entspricht in der Größenordnung einem Promille des BIP. In den unmittelbar betroffenen Regionen kann der Schaden hingegen bis auf 5 Prozent des BIP ansteigen (Elsner et al. 2001). Diese Relation zeigt, dass Schäden im Zusammenhang mit Küstenschutz nur einen kleinen Teil der Bevölkerung unmittelbar betreffen.

## Methodik der Studien

Vor der Ermittlung der Kosten gilt es zunächst, anhand von Klimamodellen und den dort verwendeten Szenarien die für die Kosten ursächlichen Klimaveränderungen zu spezifizieren. Hier kommen je nach nationalem Kontext, in dem die Studien erstellt wurden, jeweils unterschiedliche Modelle zum Einsatz (z.B. ECHAM4, HADCM3, IPCC TAR). Oft werden die Modellberechnungen anhand von regionalen Klimamodellen noch weiter heruntergebrochen. Bei den zugrunde liegenden sozioökonomischen Emissionsszenarien, die den Verlauf des Klimawandels festlegen, scheinen sich in jüngerer Zeit mehr und mehr die IPCC-Szenarien und hier die Szenarien A2 und B2 durchzusetzen.

Auf der nächsten Ebene der Modellierung müssen die Ausprägungen des Klimawandels (z.B. Veränderung von Häufigkeit und Intensität von Niederschlägen, Anstieg von Temperaturen) in die physischen Ereignisse oder Prozesse übersetzt werden, die die Schäden hervorrufen. Für den Bereich des Küstenschutzes ist dies z.B. im EU-Kontext das Modell DIVA, für Hochwasser das Modell LISFLOOD (Ciscar 2009).

Die Methoden der Ermittlung der jeweiligen Schadenshöhen wurden bereits im vorangegangenen Kapitel erläutert, weil ohne sie ein Vergleich der teilweise sehr unterschiedlichen Kostenzahlen nicht möglich ist. Hier kommen, wie ebenfalls erwähnt wurde, teilweise zusätzlich ökonomische Modelle zum Einsatz, um die Auswirkungen der physischen Schäden auf die Produktivität und die Beschäftigung zu ermitteln. Meist handelt es sich dabei um ökonometrische allgemeine Gleichgewichtsmodelle (z.B. GEM-E3).

## Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die Anzahl der für den Bereich Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz vorliegenden Studien ist gemessen an den anderen Handlungsfeldern relativ groß. Auch wenn das sehr breite und teilweise heterogene Handlungsfeld in die einheitlicheren Bereiche Hochwasser, Wasserversorgung und Küstenschutz aufgeteilt wird, ist die Anzahl der relevanten Studien immer noch groß. Allerdings sind die geographischen Ausrichtungen ebenso wie die im Detail betrachteten Schäden und die angewendeten Modellansätze und Bewertungsmethoden sehr unterschiedlich, so dass es dem Betrachter schwer fällt, sich ein konsistentes Bild zu machen. Die Spanne der geographischen Abdeckung reicht bspw. im Bereich des Küstenschutzes von global bis zu einem einzelnen Dorf. Dabei sind die Annahmen im ersten Fall zu undifferenziert, um Schlussfolgerungen für Deutschland oder Mitteleuropa zu ziehen; im zweiten Fall sind sie zu speziell und es fehlt dem Leser/der Leserin die Möglichkeit der Hochrechnung.

Außerdem macht nur die Hälfte aller Studien Angaben zu Kosten, die über die anekdotische Darstellung einzelner Ereignisse hinausgehen. Allenfalls gewinnt der Leser/die Leserin also eine Vorstellung von der Größenordnung der Schäden. Für Hochwasser und Küstenschutz betragen sie um das Jahr 2080 ungefähr ein Promille des BIP, für die Wasserversorgung sind die Kosten deutlich niedriger. Nur wenn auch klimabedingte Einbußen bei der Wasserqualität berücksichtigt werden, gewinnt auch die Wasserversorgung an Relevanz. Allerdings ist hier kritisch anzumerken, dass bei den Kosten der Qualitätsverschlechterung der Ansatz der Vermeidungskosten verwendet wurde. Diese Herangehensweise ist aber nur legitim, wenn die Hinnahme oder Anpassung an eine schlechtere Wasserqualität nicht mit niedrigeren Kosten verbunden ist als die Vermeidung.

Interessanter als die in den Studien festgestellten Schadenshöhen ist ein Vergleich der verwendeten Forschungsansätze. In vielen Fällen ist nicht ersichtlich, wie die aufgeführten

Daten zustande kommen. Vorbildlich ist in diesem Zusammenhang die PESETA-Studie von Ciscar (2009), in der die einzelnen Vorgehensschritte klar dargestellt sind und aufeinander aufbauen.

### 3.3.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

#### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Als Instrumente zur Vermeidung von Hochwasser wird wiederholt die Einrichtung und der Erhalt von Retentionsflächen genannt. Unter Maßnahmen zur Vorbeugung von Hochwasserschäden fallen bauplanerische Vorschriften zur Nutzung (d.h. ein Verbot der Bebauung) von Ablaufflächen, die ein Aufstauen des Hochwassers verhindern. Eher in den Bereich der Gefahrenabwehr fallen der Bau von Dämmen sowie die Einrichtung von Vorhersage- und Warnsystemen, die die potenziell Betroffenen im Fall eines drohenden Hochwassers rechtzeitig in die Lage versetzen, individuelle Abwehrmaßnahmen zu ergreifen. Voraussetzung für die Wirksamkeit eines solchen Ansatzes ist jedoch, dass die Betroffenen rechtzeitig über wirksame Optionen informiert werden. Solche Maßnahmen können darin bestehen, Gebäude höher zu setzen oder zu versetzen, sie gegen das Eindringen von Wasser durch Barrikaden zu schützen oder sie konstruktiv so zu gestalten, dass das eindringende Wasser wenig Schaden anrichten kann. Schließlich besteht in solchen Fällen, in denen ein Hochwasser relativ unwahrscheinlich ist, die Möglichkeit, Schäden durch eine Versicherung zu kompensieren.

Ähnlich wie beim Hochwasser sehen auch die Maßnahmen des Küstenschutzes aus, wobei naturgemäß die Möglichkeiten der Vorbeugung begrenzter sind und daher die Maßnahmen der Gefahrenabwehr stark in den Vordergrund treten.

Aus zeitlicher Perspektive erfordern vor allem Retentionsflächen, aber auch die baulichen Maßnahmen der öffentlichen Gefahrenabwehr allein aufgrund ihrer Größenordnung einen beachtlichen planerischen Vorlauf. Individuelle Schutzmaßnahmen lassen sich anlässlich des Baus von Gebäuden kurzfristig installieren, sind aber dann, wie alle Baumaßnahmen nur langfristig reversibel. Alle Maßnahmen des verbesserten Wassermanagements sowie die Installation von Informationssystemen sind relativ kurzfristig umzusetzen und jederzeit veränderbar.

Bei der Wasserversorgung können Maßnahmen sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite ergriffen werden. Kurzfristig kann das Wasserangebot durch tiefere Brunnen, größere Rohre und stärkere Pumpen erhöht werden. Nachhaltig ist dieser Ansatz aber nur, wenn durch ein entsprechendes Management eine Übernutzung der Reservoirs vermieden wird, d.h. eine Grundwassererneuerung ermöglicht wird und Oberflächenwasser im erforderlichem Umfang und Qualität vorgehalten wird. Auch eine Überleitung von Wasser aus wasserreicheren Einzugsgebieten kann eine Option darstellen. Nehmen die Niederschlagsmengen insgesamt ab, so können diese Maßnahmen auch dann schon erforderlich sein, wenn die nachgefragte Menge nicht steigt. Auf der Nachfrageseite kann vor allem das Sparen von Wasser durch höhere Nutzungseffizienz und einen höheren Grad des Recyclings Wasserknappheit vermeiden helfen.<sup>4</sup> Um die zuletzt genannten Ziele

---

<sup>4</sup> In der Industrie wurde aufgrund der gesetzlichen Verpflichtung zur Reinigung ihres Abwassers schon früher ein Anstieg der Nutzungseffizienz und ein höherer Recyclinggrad verwirklicht.

durchzusetzen, sollten zunächst die Wasserverbraucher durch entsprechende Kampagnen informiert werden. Dies wird die Trinkwassernutzung eher wenig betreffen (für wenige Regionen Deutschlands ist ein Mangel an geeigneten Trinkwasserressourcen zu befürchten); stark ist in diesem Zusammenhang die Bewässerungslandwirtschaft betroffen, da sie die größten Wassermengen verbraucht. Gleichzeitig sind hier die Möglichkeiten der Einsparung durch die Umstellung auf andere Kulturpflanzen, auf andere Bewässerungsmethoden und das Meiden kritischer Jahreszeiten besonders groß. Um dem Anliegen höherer Nutzungseffizienz mehr Nachdruck zu verleihen, könnten sich außerdem das Einsetzen oder die Verschärfung von Effizienzstandards als nützlich erweisen. Auch die zeitweise Rationierung von Wasser wurde als Option genannt. Die wenigen Studien, die sich mit der klimabedingten Verschlechterung der Wasserqualität befassen, sehen die Verbesserung der Abwasserbehandlung als einzige Möglichkeit der Anpassung an.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Wasserrückhalt durch Rückhaltebecken und Überschwemmungsflächen, Wasserrückhalt in der Fläche durch dezentrales Regenwassermanagement (inkl. gesplittete Abwassergebühren)	Reduzierung des maximalen Hochwasserpegels und damit verbundener Schäden an Vermögen und Infrastruktur	Verminderung der Bedrohung
	Beseitigung der Zweckentfremdung von Retentionsräumen	Verringerung von Schäden aufgrund der Nutzung von Retentionsräumen	Verminderung von Bedrohung und Schäden
	In schweren Fällen: Evakuierung, materielle und psychische Unterstützung Betroffener	Begrenzung von Schäden an Leben und Gesundheit im Falle nicht vermeidbarer Überflutung	Verminderung der Schäden
	Rationelle Wassernutzung	Vermeidung der Beeinträchtigung des Grundwassers durch Reduzierung der Entnahme	Verminderung der Bedrohung
	Vermeidung der Trockenlegung von Feuchtgebieten	Vermeidung der Beeinträchtigung des Grundwasserhaushaltes durch natürliche Erneuerung	Verminderung der Bedrohung
	Änderung der Dünge- und Pestizideinsatzpraxis	Vermeidung der Beeinträchtigung der Grundwasserqualität durch Anpassung der landwirtschaftlichen Praxis	Verminderung der Bedrohung
	Bewässerung (falls genügend Oberflächenwasser vorhanden)	Vermeidung der Ausschwemmung von Phosphat, das trockenheitsbedingt von den Pflanzen nicht aufgenommen werden konnte	Verminderung der Bedrohung
	Verbessertes Wassermanagement mittels Talsperren und Wehren	Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs durch Vermeidung zu niedriger Flusspegel	Verminderung der Bedrohung
	Verbesserte Vorhersage für Transportplanung (auch Modal Shift)	Reduzierung wirtschaftlicher Verluste von Transportunternehmen durch rechtzeitige Planung von Alternativen im Falle von Hoch- oder Niedrigwasser	Information, Sensibilisierung; Verminderung der Schäden

Prozessbezogene Maßnahme	Mess- und Warnsysteme für Meeresspiegelhöhe, Tide und (Sturm) Wetterlagen	Vermeidung von Schäden durch eigenverantwortliche Vorsorge der Betroffenen	Information, Sensibilisierung; Verminderung der Schäden
	Einrichtung und striktere Überwachung von Gefahrenzonen	Vermeidung von Schäden aufgrund unangepasster Flächennutzung	Information, Sensibilisierung; Verminderung der Schäden
	Dünen- und Feuchtgebiet (wieder)bildung, Steinwälle, (Wieder-) Aufforstung	Vermeidung von Landverlust an der Küste durch natürliche Schutzmaßnahmen	Verminderung der Bedrohung
Prozessbezogen/ Subjektbezogen	Flächendeckendes Grundwassermonitoring/ Beschränkung der Grundwasserentnahme	Vermeidung der Beeinträchtigung des Grundwassers durch rechtzeitige Beschränkung der Entnahme	Verminderung der Bedrohung
Subjektbezogene Maßnahme	Vermittlung von Risikoinformationen + private Vorsorgemaßnahmen	Vermeidung von Schäden durch eigenverantwortliche Vorsorge der Betroffenen	Information, Sensibilisierung; Verminderung der Schäden
	Bessere Hochwasservorhersage	Vermeidung von Schäden durch eigenverantwortliches Handeln der Betroffenen	Information, Sensibilisierung; Verminderung der Schäden
	Verteilung von Medikamenten	Vermeidung von Gesundheitsschäden durch die klimawandelbedingte Ausbreitung von Epidemien	Verminderung der Schäden
	Beschränkung der Gewässernutzung	Vermeidung von Gesundheitsschäden aufgrund einer verschlechterten Gewässerqualität	Verminderung der Schäden
Objektbezogene Maßnahme	Meidung oder zumindest Kennzeichnung betroffener Siedlungsgebiete	Verringerung von Schäden auf von Hochwasser gefährdeten Flächen	Nutzungsänderung der betroffenen Ressource
	Angepasste Flächennutzung	Verringerung von Schäden auf von Hochwasser gefährdeten Flächen	Verminderung der Schäden
	Erhöhung von Deichen/ Wehren (HQ100)	Reduzierung der Auswirkungen steigender Hochwasserpegel auf Vermögen und Infrastruktur	Verminderung der Schäden
	Bauliche Vorsorge/Ab-sicherung für den Flutfall	Reduzierung der unmittelbaren Auswirkungen von Hochwasser auf Vermögen und Infrastruktur	Verminderung der Schäden
	Bereitstellung von Ersatz/Notfallinfrastruktur im Falle des Ausfalls der Wasserversorgung	Vermeidung von Gesundheitsschäden aufgrund einer verschlechterten Trinkwasserqualität	Verminderung der Schäden
	Naturnaher Fließgewässerausbau	Vermeidung von Gesundheits- und Umweltschäden aufgrund einer verschlechterten Gewässerqualität	Verminderung der Bedrohung
	Grundwassererneuerung	Vermeidung von Schäden durch Ausgleich zeitweise zu starker Grundwasserentnahmen	Verminderung der Schäden

Objektbezogene Maßnahme	Veränderung der Nutzung küstennaher Landstriche (Siedlung, Industrieansiedlung), evtl. Umsiedlung	Vermeidung wirtschaftlicher Schäden in den küstennahen Regionen aufgrund Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten	Nutzungsänderung der betroffenen Ressource
	Deiche, Flutmauern Fluttore Salzwasserbarrieren	Vermeidung von Schäden in den küstennahen Regionen durch Schutz vor Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten	Verminderung der Schäden
	Rückzug aus Teilgebieten und Umgestaltung der Flussmündung → Entlastung für den Rest	Vermeidung von Schäden in Teilen der Küstenregion durch Verlagerung der Schäden in andere Teile	Nutzungsänderung der betroffenen Ressource; Standortveränderung

### Methodik der Studien

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass nur etwa die Hälfte der analysierten Studien Angaben zu den Kosten von Anpassungsmaßnahmen macht. Die übrigen Studien, die Anpassungsmaßnahmen überhaupt nicht untersuchen oder für die vorgeschlagenen Maßnahmen keine Kosten angeben, werden hier nicht weiter betrachtet.

Von den Studien, die sich mit den Kosten von Anpassungsmaßnahmen befassen, legt etwa die Hälfte nicht im Detail offen, welche Maßnahmen im Einzelnen bewertet werden. Die Kosten, die im weiteren Verlauf der Studien aufgeführt werden, stehen dementsprechend nicht in Bezug zu den vorgeschlagenen Maßnahmen, sofern diese überhaupt spezifiziert wurden. Stattdessen stammen die Kosten meist in aggregierter Form aus Sekundärquellen. In einem Fall (Boyd und Walton 2006) erfolgt eine methodisch angemessene Bestimmung der Kosten spezifizierter Anpassungsmaßnahmen, da aber die Vermeidungskosten schon als Maß für die Höhe der vom Klimawandel verursachten Schäden dienen, ist eine Bestimmung des Kosten-Nutzenverhältnisses nicht möglich.

Letzten Endes werden nur in einer kleinen Zahl von Studien spezifische Anpassungsmaßnahmen im Einzelnen bewertet. Boyd und Walton (2006) führen Maßnahmen auf, um die Wasserqualität trotz Klimawandels auf dem aktuellen Stand zu halten, bestimmen die Kosten und rechnen sie auf Großbritannien hoch. Zebisch et al. (2005) nehmen für das von ihnen vorgeschlagene differenzierte Maßnahmenet keine monetäre Bewertung vor, sondern bitten im Rahmen einer Befragung eine kleine Zahl von Fachleuten um eine vergleichende Bewertung. Sie gelangen so zu einem Ranking der Maßnahmen, eine Kosten-Nutzen-Analyse ist nicht möglich. Ähnliches gilt für die Studie von Van Ierland et al. (2007). Hier werden zwar exemplarisch auch Kosten bestimmt. Die eigentliche vergleichende Bewertung erfolgt aber im Rahmen eines Rankings, das auch Widersprüche und Synergien zwischen einzelnen Maßnahmen sowie mit dem Umfeld in Betracht zieht. Um eine Kosten-Nutzen-Analyse zu ermöglichen, müssten hier die Ergebnisse des Rankings und die monetären Kosten zusammengeführt und den vermiedenen Schadenskosten gegenüber gestellt werden.

Parry et al. (2009) beschäftigen sich mit der Anpassung der Wasserversorgung an die klimabedingt zunehmende Nachfrage. Die vorgeschlagenen Maßnahmen sehen keinen Ausbau des bestehenden Systems vor, sondern Instandsetzungsmaßnahmen zur Vermeidung der aktuellen Wasserverschwendung sowie ein verbessertes Management. Die Kosten dafür belaufen sich global auf 369 Mio. US\$ pro Jahr und stehen einem vermiedenen

Schaden in Höhe von jährlich 11 Mrd. US\$ gegenüber. Im Bereich des Küstenschutz kommen Parry et al. (2009) je nach Maßnahme und Ausmaß des Meeresspiegelanstiegs auf Anpassungskosten in Höhe von 13 bis 26 Mrd. US\$ pro Jahr, die einem Schaden durch Landverlust in Höhe von 8 Mrd. US\$ gegenüberstehen. In beiden Fällen wären hinsichtlich einer Kosten-Nutzenabschätzung für Deutschland deutlich andere Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Außerdem geben die Autoren zu bedenken, dass die Schadenszahlen (aus dem UNFCCC-Bericht von 2007) wesentliche Schadenskategorien unberücksichtigt lassen und damit die Schadenskosten stark unterschätzen. Zu einem ähnlich ungünstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis im Bereich des Küstenschutzes gelangen auch Sgobbi und Carraro (2008) für Maßnahmen zur Vermeidung von Landverlusten an der italienischen Küste.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Etwa ein Viertel der vorliegenden Studien macht keine Angaben zur Anpassung an den Klimawandel und zu entsprechenden Maßnahmen, weil die Anpassung von vorne herein nicht im Fokus der Autoren lag. Ein gutes Viertel der Studien, vor allem im Bereich des Küstenschutzes macht zum Teil detaillierte Vorschläge für Anpassungsmaßnahmen ohne diesen in irgendeiner Form Kosten zuzuschreiben. Ein weiteres Viertel behandelt Anpassungsmaßnahmen als Aggregat und legt nicht offen, welche Anpassungsmaßnahmen betrachtet werden. Bei der Bezifferung der Kosten dieser Maßnahmenpakete wird meist auf aggregierte Daten aus anderen Studien Bezug genommen oder die Kosten relativ willkürlich ausgewählter (oder verfügbarer) Maßnahmenbeispiele werden entsprechend dem jeweiligen Bezugsrahmen hochgerechnet. Die Ergebnisse dieser Studien sind zu undifferenziert um zur Bewertung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel dienen zu können, weil unter anderem nicht klar ist, welche Auswirkungen des Klimawandels überhaupt vermieden werden können, wodurch eine Kosten-Nutzen-Analyse obsolet wird. Zu dieser Gruppe gehört auch Fankhauser (2010), der zwar eine monetäre Bewertung der (nicht spezifizierten) Maßnahmen vornimmt, aber darauf verzichtet, den Schaden zu bewerten, wodurch eine Kosten-Nutzen-Analyse ebenfalls unmöglich ist. In einem Fall (Boyd und Walton 2006) erfolgt eine methodisch angemessene Bestimmung der Kosten spezifizierter Anpassungsmaßnahmen, da aber die Vermeidungskosten schon als Maß für die Höhe der vom Klimawandel verursachten Schäden dienen, ist eine Bestimmung des Kosten-Nutzenverhältnisses nicht möglich.

Einige Studien (Zebisch u. a. 2005; Van Ierland et al. 2007) versuchen die monetäre Bewertung von Anpassungsmaßnahmen dadurch zu umgehen, dass sie ein Ranking auf der Basis von Befragungsergebnissen bzw. einer Art von Konsistenzmatrix durchführen. Beide Verfahren sind nützlich, weil sie zusätzliche Aspekte wie subjektive Einstellungen der Akteure oder Synergien zwischen den Maßnahmen mit einbeziehen. Sie sind aber nicht unaufwändig und bedürfen zur Einordnung in eine Kosten-Nutzen-Analyse dennoch der Ergänzung um monetarisierte Bewertungen.

## 3.4 Handlungsfeld Biologische Vielfalt

Das Handlungsfeld Biologische Vielfalt beschäftigt sich mit natürlichen Ökosystemen und den Konsequenzen des Klimawandels auf diese beschäftigt. Tier- und Pflanzenarten haben die Fähigkeit sich autonom an verändernde Rahmenbedingungen anzupassen, dafür sind allerdings längere Zeiträume notwendig. Aufgrund des Klimawandels, den damit verbundenen Extremereignissen und weiteren globalen Veränderungen wird angenommen, dass die Grenze der Belastbarkeit einiger natürlichen Ökosysteme im 21. Jahrhundert erreicht werden wird (vgl. IPCC 2007b). Um diesem Problem zu begegnen, wird ein verstärkter menschlicher Eingriff zur Erhaltung der Artenvielfalt notwendig sein. Das Handlungsfeld biologische Vielfalt zeigt vor allem Überschneidungen mit den Handlungsfeldern Boden, Fischerei sowie Wald- und Forstwirtschaft. Ebenfalls überlappt es mit dem Küsten- und Meeresschutz.

### 3.4.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Als relevante Klimaveränderungen können vor allem Temperaturveränderungen und Veränderungen im Niederschlagsregime, z.B. zwischen Sommer- und Winterhalbjahr genannt werden. Des weiteren wird eine Zunahme der Häufigkeit und Stärke von Extremwetterereignissen, z.B. Stürme und Feuer, prognostiziert. Darüber hinaus werden das häufigere Auftreten von Trockenheit, der Anstieg des Meeresspiegels und die Versalzung von Böden betrachtet. Als Folge dessen wird ausgemacht, dass die Lebensräume von Pflanzen und Tieren sich in Richtung Norden bzw. in höhere Lagen verschieben. BfN (2008) geht z.B. bis 2100 von einer Verschiebung der Lebensräume um 200 bis 1200 km in den Norden aus. Die Studie betrachtet dabei qualitative Veränderungen der Phänologie von Lebewesen, z.B. der Zeitpunkt der Blüte oder des Laubfalls, sowie Veränderungen im Fortpflanzungsverhalten, u.a. von Brutaktivitäten, Veränderungen in der Verbreitung von Arten und dem Artenreichtum. Die genannten Veränderungen beeinflussen auch die Nahrungskette und das Auftreten von Krankheiten und Schädlingen. Zum Beispiel wird für Trockenheit dargestellt, dass es sowohl zu einer starken Ausbreitung von einzelnen trockenresistenten Tier- und Pflanzenarten kommen kann, und gleichzeitig mit einem Rückgang bei Arten, die feuchtere Lebensbedingungen bevorzugen, gerechnet werden muss. Die Veränderung des Niederschlagsregimes wird starke Auswirkungen auf Feuchtgebiete, wie Moore, Sümpfe und Auen, und die dort lebenden Arten zeigen. Die Folgen auf den Wasserhaushalt stellen sich dann u.a. auch indirekt durch das Vermögen von Feuchtgebieten zur Wasserspeicherung und dem Ausgleich von Wasserabflüssen dar.

Die Schäden werden vereinzelt, anhand von Veränderungen der letzten Jahre mit Zahlen belegt, z.B. erwähnt De Groot (2006), dass die Größe der Schmetterlingspopulation in den Niederlanden in den letzten Jahrzehnten um 30-40 % zurückgegangen ist. Ob dies nur auf Klimaveränderungen zurückzuführen ist, wird allerdings nicht diskutiert.

Einigen Studien modellieren die Höhe des Aussterbens für die nächsten Jahrzehnte, z.B. Thomas et al. (2004) gibt ein Aussterben von 3-14% der Pflanzenarten in Europa an. Es existieren mehrere Studien aus Großbritannien, die einen Artenverlust bestimmen. Z.B. schätzen Walmsley et al. (2008) die Verbreitung von Pflanzen- und Tierarten anhand der

Verschiebung von passenden Lebensräumen. Die Auswirkungen auf die einzelnen Arten fallen dabei sehr unterschiedlich aus. Bei einigen Arten steht ein größeres Gebiet als Lebensraum zur Verfügung, z.B. der Perlmutterfalter; einige Arten werden aber in Großbritannien nicht mehr vorkommen, u.a. der Auerhahn. Im Projekt ATEAM wurden darüber hinaus Prognosen für den Artenverlust in Deutschland berechnet, wobei im „worst case Szenario“ bis 2080 in Nordwestdeutschland 25% und in Süd- und Ostdeutschland bis über 50% der Arten verloren gehen könnten (vgl. Schröter et al 2004).

Zur Berechnung von Schadenskosten ziehen Berry et al. (2006) die Wiederherstellungskosten heran. Die Kosten beziehen sich auf einzelne Habitate und betragen für 11 Habitate in Großbritannien für das Jahr 2050 im High-Szenario insgesamt £ 2,5 Mrd.; im Low-Szenario sinken diese auf £ 1,4 Mrd. Die Kostengrößen, die als Grundlage der Berechnung genutzt werden, stammen aus dem UK Biodiversity Action Plan. Es ist anzumerken, dass im UK Biodiversity Action Plan 28 Habitate beschrieben werden, so dass die genannten Zahlen keine vollständige Kostenaufstellung für Großbritannien darstellen.

### Methodik der Studien

Für die Bestimmung der Schäden wird das „climate envelope model“, das Modell der klimatischen Nischen, genutzt. Dabei entspricht eine klimatische Nische dem mit dem Areal korrelierten Klimaraum, in dem eine Pflanzenart unter natürlichen Bedingungen wachsen kann. Um die für eine oder mehrere Arten limitierenden klimatischen Parameter herauszuarbeiten, bietet sich ein korrelativer Ansatz an, bei dem Klima- und Verbreitungsmuster miteinander verschnitten werden. Anhand dieser Daten kann der "climate envelope" der Arten berechnet und in Ökogrammen dargestellt werden. Die klimatischen Nischen der einzelnen Arten lassen sich mit zukünftigen Klimaräumen ausgewählter geographischer Gebiete vergleichen. Eine räumliche Vorstellung über mögliche Arealverschiebungen erhält man durch die Modellierung der Areale anhand der klimatischen Nischen. Mit den Ergebnissen der Modellierung sollte allerdings sehr vorsichtig umgegangen werden. Zur Zeit liegt noch eine geringe Validität der Resultate vor, da noch eine große Unschärfe bei den Modellen besteht und ebenfalls eine unsichere Datenlage vorherrscht.<sup>5</sup>

Warmsley et al. (2007) verwenden ein solches „climate envelope model“, das SPECIES-Modell (Räumlicher Evaluator des Einflusses des Klimas auf die Artenhülle). Sie nutzen dieses Modell, um die Gebiete herauszufinden, die für eine bestimmte Art geeignet sind. Warsley et al. (2007) leiten direkt anhand der Veränderung des passenden artspezifischen Lebensraum ab, ob eine Art sich weiter oder weniger stark verbreiten wird. Bei Thomas et al. (2004) erfolgte die Validierung des climate envelope Ansatz mit Untersuchungen zur Verbreitung von Arten auf neuen Kontinenten und bei der Anpassung an die klimatischen Veränderungen der Eiszeit.

Berry et al. (2006) diskutieren die monetäre Bewertung der biologischen Vielfalt anhand von drei Methoden (Marktpreismethode, beobachtete Präferenzen, geäußerte Präferenzen). Dabei bestimmen sie ausgesuchte Wertekategorien der biologischen Vielfalt, z.B. Ökosystemfunktionen, genetische und Artenvielfalt, Vielfalt von Landschaftsformen und natürlichen Ressourcen. Die Marktpreismethode wird als nicht sehr ergiebig eingestuft, da

---

<sup>5</sup> Expertengespräch mit Rainer Schliep, TU-Berlin.

nur für wenige Arten Marktpreise vorhanden sind, die für die Bewertung der Biologischen Vielfalt genutzt werden können. Als theoretisch am besten geeignete Methode empfehlen sie die Bewertung der Zahlungsbereitschaft anhand der Contingent Valuation-Methode. Allerdings liegen momentan noch wenig Ergebnisse solcher Bewertungsmethoden vor, die sich unmittelbar auf den Bereich Anpassung und Biodiversität übertragen ließen. Davon abgesehen gelten die einschlägigen Kritikpunkte an contingent-valuation-Studien; so lässt sich etwa diskutieren, ob den Befragten wirklich ausreichende Informationen vorliegen, um den Nutzen der biologischen Vielfalt zu bewerten. Berry et al. (2006) nutzt deshalb Opportunitätskosten in Form von Wiederherstellungskosten. Dazu berechnen die Autoren die Größe jedes Habitats, und ermitteln dann die prozentuale Größe des verlorenen Habitats durch den Klimawandel. Die Größe des verlorenen Habitats ergibt sich aus dem Zugewinn und Verlust der Habitatgröße unter den Auswirkungen des Klimawandels, der im Rahmen der Studie für alle vorhandenen Habitate negativ war. Die verlorene Habitatgröße wird wiederum mit der Habitatgröße ohne Klimawandel verrechnet. Auf die verlorene Fläche werden die Kostenfaktoren für die Wiederherstellung pro Jahr angewandt. Dabei dienen die Kosten des UK Biodiversity Action Plan als Grundlage. In Übereinstimmung mit dem Projekt RegIS wird für das Global Sustainability (Low) scenario eine Verdopplung der Kosten empfohlen.

Der Ansatz über Zahlungsbereitschaften wurde in dem BfN-Projekt: Biodiversität und Klimawandel genutzt. Dabei wurde die Zahlungsbereitschaft für die Erholungsleistung auf der Insel Sylt erfasst und zur Bewertung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen verwendet.<sup>6</sup>

Die ausgewerteten Studien betrachten hauptsächlich Zeiträume bis 2050. Die Studie Warmsley et al. (2007) betrachtet auf Basis der UKCIP02-Szenarien darüber hinaus die Auswirkungen für Zeiträume 2011-2040 (2020s), 2041-2070 (2050s), 2071-2100 (2080s) und setzt dafür ein Low- und ein High-Szenario an. De Groot (2006) untersuchen vier Klimaszenarien des KNMI. Im Gegensatz dazu verwenden Thomas et al. (2004) keines der gängigen Klimaszenarien, stattdessen beschreiben sie die einzelnen Temperaturerhöhungen, die der Studie zu Grunde liegen.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Es liegen bereits erste quantitative Abschätzungen der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt vor. Bisher wurde allerdings keine solche Analysen für das gesamte Bundesgebiet durchgeführt. Daten aus anderen Ländern sind aufgrund der spezifischen Zusammensetzung von Ökosystemen kaum übertragbar. Bei der Diskussion der Ansätze zu den Schadenskosten wird deutlich, dass die Datenlage momentan noch sehr unbefriedigend ist und ein Abschätzung nur durch den Rückgriff auf weniger akkurate Methoden möglich ist. Durch den hohen Grad der Vernetzung innerhalb eines Ökosystems sind die Auswirkungen des Klimawandels auf einzelne Arten mit hohen Unsicherheiten behaftet. Zum Beispiel kann es zu starken, abrupten Veränderungen kommen, wenn ein „tipping point“ für ein bestimmtes Ökosystem erreicht ist.

---

<sup>6</sup> Expertengespräch mit Rainer Schliep, TU-Berlin.

## 3.4.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Die Hälfte der vorliegenden Studien sind sektorübergreifende Studien, z.B. für die EU oder einzelne deutsche Nachbarländer. Des Weiteren wurden Sektorstudien untersucht, die teilweise weitere Handlungsfelder, wie Forstwirtschaft oder Fischerei umfassen. Die Studien stammen mehrheitlich aus dem (europäischen) Ausland, wobei eine Übertragung konkreter Schadenszahlen aus den genannten Gründen schwierig ist. Eine Übertragung von prinzipiellen Anpassungsmaßnahmen sollte allerdings möglich sein.

Die vorliegenden Studien betrachten als Anpassungsmaßnahme den Aufbau und das Management von Naturschutzgebieten und deren Vernetzung, womit ein größerer Lebensraum geschaffen wird und Wanderungswege für Arten eröffnet werden sollen. Dabei steht die Diskussion von Landnutzungskonzepten und dadurch die Ausbreitung von Naturschutzbestrebungen im Vordergrund. Dies ist die einzige Anpassungsmaßnahme, die originär auf Biodiversität abzielt. Weitere Maßnahmen mit Bezug zum Schutz der Biodiversität finden sich in anderen Handlungsfeldern. So zählen Aufforstung und Anpassung des Baumartenmixes als Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld Forstwirtschaft, können aber auch der Anpassung im Bereich der Biodiversität dienen. Richtig durchgeführt, führen diese Maßnahmen u.a. dazu, dass eine höhere Diversität an Arten erreicht wird und die Widerstandsfähigkeit der natürlichen Ökosysteme erhöht wird. Des Weiteren sollten Maßnahmen im Bereich des Waldmanagements ergriffen werden, z.B. die Entwicklung von Monokulturen zu Mischwäldern oder die Nutzung von gegen Trockenheit resistenten Baumarten. Des Weiteren wird die Möglichkeit genannt, Agrarumweltmaßnahmen der EU zur Anpassung an den Klimawandel zu nutzen. Dabei kommt ein Teil der eingeführten Maßnahmen, wie verringerte Verwendung von Düngemitteln, auch der Anpassung im Bereich der biologischen Vielfalt zu Gute. Darüber hinaus könnte bei der Formulierung der Agrarumweltmaßnahmen noch deutlicher auf die Anpassung an den Klimawandel eingegangen werden. Weitere Maßnahmen mit Bezug auf die Biodiversität finden sich im Bereich Wasserbewirtschaftung und Küstenschutz, etwa der Aufbau eines integrierten Küstenmanagements und eines integrierten Wassermanagements für Ökosysteme, was u.a. auch den Wasserhaushalt bedrohter Feuchtgebiete umfasst. Eine Berechnung von Kosten für Anpassungsmaßnahmen erfolgt nur selten. Meist werden allenfalls maximal mögliche Kostenkomponenten genannt, die für eine Kosten-Nutzen-Betrachtung in Frage kommen, z.B. Landpreise bei der Einrichtung von Naturschutzzonen (vgl. De Groot 2006). Berry (2007) betrachtet die weltweiten Kosten für die Einrichtung und das Management von Schutzgebieten. Für das BAU-Szenario (IPPC-Emissionszenario A1B und B2) werden jährliche zusätzliche Kosten von US\$64.5 Mrd.; für das Mitigation-Szenario (B1) jährliche zusätzliche Kosten von US\$36 Mrd. geschätzt. Van Ierland et al. (2007) nennt ebenfalls verschiedene Kostenkomponenten für Anpassungsmaßnahmen, dabei bleibt allerdings die Berechnungsgrundlage unklar.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Aufbau und das Management von Naturschutzgebieten und deren Vernetzung	Erhaltung der biologischen Vielfalt	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern,
	Nutzung der Agrarumweltmaßnahmen der EU und Anpassung der Agrarumweltmaßnahmen an Klimawandelanpassung	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Erhaltung der biologischen Vielfalt	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern, Verminderung der Bedrohung
Prozessbezogene Maßnahme	Aufbau eines integrierten Wassermanagements für Ökosysteme und eines integrierten Küstenmanagements	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren,	Verhinderung von Schäden, Verminderung der Bedrohung, Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern,
Objektbezogene Maßnahme	Aufforstung und die Anpassung des Baumartenmixes	Artenvielfalt erhöhen, Betroffenheit einschränken	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Nutzung des Waldmanagements: Entwicklung von Monokulturen zu Mischwäldern oder die Nutzung von gegen Trockenheit resistenten Pflanzen	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Artenvielfalt erhöhen	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource

Hinsichtlich der zeitlichen Komponente führen die Studien aus, dass eine vollständige Verhinderung von Veränderungen nicht mehr möglich sein wird. Es wird angegeben, dass die Einrichtung von Schutzzonen eine wichtige Maßnahme ist, die auch relativ schnell begonnen werden sollte, da die Umsetzung lange dauert (z.B. De Groot (2006)). Auch Maßnahmen wie der Aufbau eines Wassermanagements oder Methoden des Waldmanagements entfalten ihre Wirkung erst mehrere Jahre oder sogar Jahrzehnte nach Einführung der Maßnahme. Die Maßnahmen werden mehrheitlich von öffentlichen Trägern zu initiieren und finanzieren sein. Im Bereich Forst- und Waldwirtschaft ist anzunehmen, dass einzelne Maßnahmen, die zur Stabilisierung des Waldbestandes führen, z.B. die Nutzung von trockenresistenten Arten, von den Waldbesitzern autonom durchgeführt werden.

Die Maßnahmen sind zum Großteil No-regret-Maßnahmen. Zum einen erhöhen die Maßnahmen die Widerstandsfähigkeit, der Ökosysteme auch gegenüber anderen Einflüssen, wie etwa der Luftverschmutzung; zum anderen dienen sie dem eigenständigen, erklärten Politikziel, den Verlust an Artenvielfalt zu stoppen. Die Anpassung an den Klimawandel verleiht diesem Ziel allenfalls eine besondere Dringlichkeit und erhöht die Kosten des Nichthandelns. Das Handlungsfeld Biologische Vielfalt zeigt dabei starke

Synergien mit anderen Bereichen, insbesondere mit den „naturnahen“ Handlungsfeldern Boden, Land- und Forstwirtschaft sowie Wasserwirtschaft und Küstenschutz.

### Methodik der Studien

Die Anpassungsmaßnahmen werden zum Großteil anhand bereits vorliegender Maßnahmen zur Erhöhung der Biodiversität formuliert, so sind viele Maßnahmen bereits im Einsatz, müssen aber auf weitere Gebiete ausgedehnt werden.

Die Berechnung der Anpassungskosten nach Berry (2007) nimmt als Grundlage die Kosten, die heute für Naturschutzgebiete entstehen. Alle Kostengrößen werden anhand realer Kosten berechnet.

De Groot (2006) schlägt zur Analyse der Anpassungsmaßnahmen Kostengrößen vor. Für die Kosten der Maßnahmen können reale Kostenkalkulationen von bereits durchgeführten Maßnahmen dienen. Allerdings weist der Autor darauf hin, dass diese Angaben erst noch erhoben werden müssen. Ebenfalls lässt sich der direkte Nutzen einer Erhöhung der Biodiversität momentan nicht bestimmen. Eine Veränderung der Landnutzung ließe sich über den Preis für den Ankauf von Land und über entgangene Einnahmen bei der Bewirtschaftung der Flächen abschätzen. Zur Bewertung von Aufforstungen können die Kosten zur Bewirtschaftung der Fläche dienen, der Nutzen kann dabei über höhere Einnahmen für die Holzwirtschaft kalkuliert werden.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die untersuchten Studien nennen eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen für den Bereich Biologische Vielfalt. Darunter sind viele Maßnahmen, die ohnehin bereits durchgeführt werden mit dem Ziel, Biodiversität zu schützen oder Ökosystemen zu erhalten, und die jetzt ausgeweitet werden sollen. Sehr vereinzelt liegen Studien vor, die die Kosten von Anpassungsmaßnahmen anhand von ähnlichen bereits durchgeführten Maßnahmen kalkulieren. Allerdings ist die Datenlage auf dem Gebiet sehr dünn. Besonders schwierig gestaltet sich dabei die monetäre Bewertung des Nutzens von biologischer Vielfalt. Dies kann zum Teil über Marktpreise geschehen, z.B. höhere Einnahmen durch den Verkauf von Nutzholz. Dieser Weg deckt aber nur einen geringen Teil der Funktionen ab, die eine höhere biologischen Vielfalt liefert. Weitere Ansätze befinden sich in der TEEB-Studie (vgl. Kumar 2010). Die hier aufgeführten Anpassungsmaßnahmen wurden für das europäische Ausland formuliert, können aber auf relevante Gebiete in Deutschland übertragen werden.

## 3.5 Handlungsfeld Boden

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Ressource Boden werden hauptsächlich im Bereich der Landwirtschaft betrachtet. Daneben spielt der Boden auch in der Forstwirtschaft eine wichtige Rolle, wo er die Produktivität des Waldwachstums maßgeblich beeinflusst. Auch die biologische Vielfalt wird unter anderem von den Eigenschaften des Bodens bestimmt, auf oder in dem sie angesiedelt ist. Von diesen ganz unmittelbar beeinflussten Handlungsfeldern abgesehen hat der Boden eine Reihe von ökologisch relevanten Funktionen, die auch noch auf andere Handlungsfelder, z.B. die Wasserwirtschaft ausstrahlen. So hat der Boden eine Speicherfunktion für (sogenanntes „grünes“) Wasser, das er bei hohem Angebot aufnimmt und bei Trockenheit wieder abgeben kann und somit zur Regulation des Wasserhaushalts beiträgt, wobei dies bei Starkniederschlägen nur begrenzt möglich ist. Eine weitere Funktion besteht in der Pufferfunktion durch die Absorption verschiedener Stoffe, die so nicht oder mit Verzögerung in den Wasserkörper übertreten. Besonders die im Boden siedelnden Mikroorganismen leisten außerdem einen wichtigen Beitrag zur Reinigung von Wasser bei der Passage von der Oberfläche ins Grundwasser. Gesunde Böden können ebenfalls ihre Aufgabe bei der Stoffumwandlung erfüllen, d.h. Schad- und Nährstoffe umwandeln, speichern und teilweise auch abbauen. Durch den Klimawandel verändert sich allerdings der Bodenstoffhaushalt und verschiedene Parameter der organischen Bodensubstanz, wie Gehalt, Menge oder Zusammensetzung. Dies wird Konsequenzen auf weitere Prozesse haben, z.B. Regulierung des Kohlenstoffkreislaufs, Wasserspeicherung im Boden und das Speichervermögen des Bodens für Schadstoffe nimmt ab. Als Auswirkungen des Klimawandels rücken im vorliegenden Bericht vor allem Probleme der Bodenerosion infolge von Trockenheit oder Starkniederschläge und Verlust der Retentionsfunktion infolge von Trockenheit ins Blickfeld.

### 3.5.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Insgesamt ist die Anzahl der Studien, die sich mit dem Bereich Boden befassen, gering. In den meisten Studien werden Auswirkungen auf die Bodenerosion durch klimawandelbedingte erhöhte Trockenheit, häufigere Wetterextreme und Extremniederschläge untersucht. Darüber hinaus werden vereinzelt die Folgen von höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (z.B. Schaller und Weigel 2007) betrachtet. Untersuchte Bodeneigenschaften und Bodenprozesse umfassen die biologische Aktivität, die organische Bodensubstanz, die Bodenstruktur, der Nährstoffstatus des Bodens, die Versauerung des Bodens und die Bodenwasser- sowie Gebietswasserbilanz (z.B. Schaller; Weigel 2007; Umweltbundsamt 2008; Böhm 2008).

In einigen Studien werden darüber hinaus Schadenskosten geschätzt. Pimentel et al. (1995) untersuchen die ökonomischen Schäden durch Bodenerosion anhand von einem Ertragsrückgang im Maisanbau, allerdings ohne dabei Bezug zu nehmen auf den Klimawandel oder die Anpassung daran.. Darüber hinaus werden die Kosten der Bodenerosion anhand von Maßnahmen zur Erhaltung der Produktivität der Ackerfläche berechnet. Dafür werden Off-site Kosten, wie Energiekosten für die Herstellung von Bewässerungssystemen, und On-site Kosten, z.B. die Mehrkosten zur Gewinnung ausreichenden Wassers oder die Kosten für einen Mehreinkauf von Düngemitteln, genutzt.

Die Berechnungen von Pimentel et al. (1995) ergeben Mehrkosten aufgrund der Bodenerosion von US\$ 196/ha.

Bei Darmendrail et al. (2004) analysieren zwei Fallstudien ökonomische Kosten der Bodenerosion bedingt durch Wasser- und Winderosion. Die Studie von Harris (2006) hat das Ziel, eine Methodik zu entwickeln, mit welcher der Wert des Bodens messbar ist. In diesem Rahmen werden verschiedene Ökosystemdienstleistungen des Bodens dargestellt und unter verschiedenen Bewirtschaftungsarten und Nutzungen evaluiert.

### Methodik der Studien

Den Betrachtungen der Schäden werden Klimamodelle zugrunde gelegt, z.B. HadCM3 oder das regionale Klimamodell WETTREG. Darauf aufbauend werden für die Bestimmung der Bodenerosion Erosionsmodelle, bei O'Neal (2005) z.B. das WEPP-CO2, genutzt. Des Weiteren analysieren Ertrags- bzw. Ökosystemmodelle Ertragsänderungen und die Entwicklung der Ökosysteme. Für die Untersuchung der Klimafolgen werden ebenfalls Experimente und Laboruntersuchungen verwendet, z.B. Freilanduntersuchungen, wie die FACE-Experimente (z.B. Schaller und Weigel 2007).

Die Schadenskosten werden über Ertragsänderungen und entgangene Einnahmen berechnet. Bei Darmendrail et al. (2004) erfolgt die Kostenabschätzung in drei Schritten: 1) Schätzung der betroffenen Fläche, 2) Bemessung der Häufigkeit des Schadens, 3) Ermittlung der Schadensgröße.

Pimentel et al. (1995) schätzen die Kosten der Erosion (als Ertragsrückgang) mithilfe eines empirischen Modells auf Basis aller Faktoren, die die Erosionsrate und Produktivität des Bodens beeinflussen. Als Resultat werden der Verlust an Wasser, Nährstoffen, Energie, usw. durch Wind- und Wassererosion berechnet. Als Kostengrößen werden zusätzliche Energiekosten, Kosten für die höhere Wassergewinnung und die Nutzung von mehr Düngemitteln, um die Auswaschung der Nährstoffe auszugleichen.

Harris (2007) entwickelt bzw. empfiehlt verschiedene Methoden zur Kostenberechnung. Dabei werden für den Nährstoffkreislauf Marktpreise empfohlen, für das Wasserrückhalte- und -reinigungsvermögen des Bodens Schadenskosten und Opportunitätskosten in Form von Kosten für Alternativaktivitäten im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung.

Die untersuchten Studien weisen einen Zeithorizont mindestens bis 2050 auf. Ein Drittel der Studien betrachtet den Zeitraum bis Ende des 21. Jahrhunderts. Es werden die IPCC-Emissionsszenarien A1B, A2 und B1 verwendet. Diese werden anhand von Globalmodellen (z.B. HadCM3, ECHAM4) und regionalen Klimamodellen heruntergebrochen. Bei den regionalen Klimamodellen wird vor allem auf WETTreg zurückgegriffen, in weniger Fällen auch auf REMO.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Bei der Betrachtung des Handlungsfelds Boden wird in allen Studien das Thema der Bodenerosion angesprochen. Einige Studien analysieren zudem die Themen Bodenwasserhaushalt und Bodenstoffhaushalt. Andere Eigenschaften wie Humusgehalt oder biologische Aktivität des Bodens werden dagegen kaum untersucht. Ein Bericht des Umweltbundsamtes hat das Ziel Bodenzustands- und Bodenmonitoringdaten für die

Klimafolgen- und Klimaanpassungsforschung aufzubereiten.<sup>7</sup> Die Publikation wird im Laufe des Jahres 2011 erscheinen.

Die Monetarisierung von Kosten und Nutzen beschränkt sich auf wenige Aspekte. Andere Eigenschaften, wie die biologische Aktivität, können schwierig monetarisiert werden. Es liegt in der Natur der Dinge, dass Projektionen bis zum Jahr 2050 auf zahlreiche Annahmen zurückgreifen müssen bzw. mit großen Unsicherheiten verbunden sind, sowohl was die Entwicklung wichtiger Preisrelationen angeht, als auch die möglichen Klimafolgen und den Bedarf an Anpassungsmaßnahmen.

### 3.5.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

#### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Die vorliegenden Studien sind vor allem wissenschaftliche Artikel bzw. Studien. Ebenfalls vertreten sind Veröffentlichungen von Behörden, z.B. des britischen Umweltministeriums (Defra). Teilweise geschieht die Analyse gemeinsam mit dem Bereich Landwirtschaft. Es liegen relativ viele Forschungsarbeiten aus Deutschland vor, aber auch aus den USA und Großbritannien.

Nur wenige Studien betrachten Anpassungsmaßnahmen. Genannt werden u.a. objektbezogene Anpassungsmaßnahmen, z.B. schonende Pflanzungs- und Bodenbearbeitungsmethoden und die Anpassung des Dünge- und Pflanzenschutzregimes. Besonders hervorgehoben werden konservierende Bodenbearbeitungsmethoden und der Einsatz von Direktsaatverfahren (u.a. Wurbs & Steininger 2011). Weiterhin kann der verstärkte Anbau von Winterungen die Bodenerosion im Winter verringern. Eine durchgängige Bepflanzung kann, z.B. durch Zwischenfrüchte und Untersaaten, angestrebt werden. Bodenerosion wird auch vermindert, indem die Hanglängen verkürzt werden und die Bodenbedeckung erhöht wird. Dies kann durch die Grasstreifen erfolgen, welche den Abfluss von Niederschlägen bremsen. Auch der Einsatz tiefwurzelnder Sorten kann zu einer geringeren Erosion führen. Die Anpassungsmaßnahmen überschneiden sich sehr stark mit Anpassungsmaßnahmen im Bereich Landwirtschaft, so kann z.B. ein Anbau von tiefwurzelnden Sorten auch zur Reaktion auf Sommertrockenheit dienen. Eine weitere Überschneidung besteht mit dem Bereich Hochwasserschutz, so kann die konservierende Bodenbearbeitung einen Beitrag zum vorsorgenden Hochwasserschutz leisten, da sich die Infiltrationsrate des Bodens verändert (vgl. Brand-Sassen 2004, SoCo Project Team 2009). Ebenfalls dient der Erhalt bzw. Ausbau von unversiegelten Flächen und vor allem hydromorphen Böden der Erhöhung der Wasserrückhaltekapazität bei Extremniederschlägen. Des Weiteren wird bei diesen Maßnahmen der Wasserhaushalt über eine höhere Fähigkeit der Wasserspeicherung unterstützt. Durch die Erhaltung der Funktion als Kohlenstoffsene ergeben sich Synergieeffekte mit der Minderung von Treibhausgasemissionen. Zu Konkurrenz mit Emissionsminderungsmaßnahmen kommt es dagegen z.B. bei der konservierenden Bodenbearbeitung. Bei dieser Art der Bodenbearbeitung werden Pflanzenrückstände eingearbeitet, was sich positiv auf die Humusbildung auswirkt und damit u.a. positiv auf die Wasserspeicherkapazität sowie gegen

---

<sup>7</sup> Projekt BOKLIM, [www.boklim.de](http://www.boklim.de)

Überhitzung von oberflächennahen Bodenschichten und Winderosion wirkt. Allerdings werden heute Ernterückstände zunehmend energetisch in Biogasanlagen verwertet.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Objektbezogene Maßnahme	Anpassung des Dünge- und Pflanzenschutzregimes	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Sicherung Bodenfruchtbarkeit	Verhinderung von Schäden
	schonende Pflanzungs- und Bodenbearbeitungsmethoden, z.B. dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung, Etablierung von Direktsaatverfahren neben dem Mulchsaatverfahren	Erhaltung des Wasserhaushalts, Erhöhung des Humusgehalts, Sicherung von landwirtschaftlichen Erträgen, Verminderung der Erosion	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource, Verhinderung von Schäden
Objektbezogene Maßnahme	Einsatz von anderen Pflanzensorten, z.B. tiefwurzelnden Sorten	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Sicherung von landwirtschaftlichen Erträgen	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Durchgängige Bepflanzung der Felder (Einführung von Winterungen, Zwischenfrüchten, Untersaaten und Auftrag von Strohmulch)	Verminderung der Erosion	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Anlage paralleler Streifen quer zum Gefälle mit Wechsel der Fruchtart oder Einsaat Abflussbremsender Grasstreifen (bewirkt Erhöhung der Bodenbedeckung und Oberflächenrauigkeit sowie Verkürzung der Hanglänge)	Verminderung der Wassererosion	Verhinderung von Schäden
	Bau von Windbarrieren, z.B. Hecken	Verminderung der Winderosion, Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren	Verhinderung von Schäden
	Erhalt von unversiegelten Bodenflächen im Rahmen der Raumplanung	Erhöhung des Wasserspeichervermögens, geringere Bodenerosion, Erhalt der Wasseraufnahmekapazität bei Extremniederschlägen	Verhinderung von Schäden, Verminderung der Bedrohung
	Erhalt und Regeneration von Mooren (hydromorpher Böden)	Erhöhung des Wasserspeichervermögens, geringere Bodenerosion, Erhöhung der Wasseraufnahmekapazität bei Extremniederschlägen	Verhinderung von Schäden, Verminderung der Bedrohung

Objektbezogene Maßnahme	Erhalt bzw. Mehrung von Grünland und Wald, bzw. Vermeidung von Grünlandumbruch	Erhöhung des Wasserspeichervermögens, geringere Bodenerosion, Erhöhung der Wasser- aufnahmekapazität bei Extremniederschlägen	Verhinderung von Schäden, Verminderung der Bedrohung
	Bodenmonitoring	Informationen zum Bodenzustand und seinen Veränderungen liefern, Daten für die Prognosen bereit stellen	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern

Einige Maßnahmen können relativ kurzfristig eingesetzt werden, z.B. die Umstellung des Anpassung des Dünge- und Pflanzenschutzregimes und die Änderung von Pflanzenarten. Andere Anpassungsmaßnahmen, wie die Regeneration von Mooren oder ein Bodenmonitoring, werden erst mittelfristig ihre Wirkung entfalten. Voraussichtlich werden sich die Anpassungskosten sich zwischen privaten Akteuren und öffentlichen Trägern verteilen. Autonome Anpassung wird voraussichtlich bei vielen der landwirtschaftlichen Maßnahmen, wie etwa der Umstellung auf hitze- und trockenheitstolerante Pflanzensorten, eine Rolle spielen, wobei die Sortenwahl stark durch die EU-Agrarsubventionen gesteuert und somit auch durch politische Vorgaben beeinflusst wird. Unterstützung durch öffentliche Akteure und Finanzen wird u.a. bei der Regeneration von Mooren, sowie der Erhaltung und Ausbreitung von Grünland und Wald notwendig sein. Die Maßnahmen stellen zum Großteil No-regret-Maßnahmen dar. Da bereits momentan große Probleme im Bereich Bodenerosion aber auch bei der Problematik des Nährstoffgehalts von Böden bestehen, können die angestrebten Anpassungsmaßnahmen auch diese Probleme begegnen helfen.

### Methodik der Studien

Schaller und Weigel (2007) leiten Anpassungsmaßnahmen anhand der Akteursgruppen ab, die die Maßnahmen durchführen müssten. Dabei wird, u.a. unterschieden nach landwirtschaftlichen Betrieben, Pflanzenzüchtung, landwirtschaftlicher Beratung und der politischen Ebene.

Im Bereich Boden wurden keine Kosten bzw. Nutzen von Anpassungsmaßnahmen quantifiziert. Es soll hier auf eine Studie hingewiesen werden, die sich nicht mit der Anpassung an den Klimawandel befasst, aber allgemein Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenerosion betrachtet. Brand-Sassen (2004) führt Kosten-Nutzen-Analysen von Maßnahmen gegen Bodenerosion durch. Dabei werden die Kosten als direkte und indirekte Kosten aufgeschlüsselt. Direkte Kosten, z.B. Kosten für das Anlegen von Hecken, werden auf der Basis der KTBL-Kalkulationsdaten kalkuliert, die u.a. Informationen zu Maschinen- und Anlagekosten, zum Betriebsmitteleinsatz und Arbeitszeitbedarf für Außen- und Innenausbau sowie dem Gartenbau enthält. Es ist zu beachten, dass dies den momentanen Stand der Technik beschreibt, so dass zukünftige Preisänderungen nicht einbezogen werden. Unter indirekte Kosten fällt u.a. der Ertragsrückgang aufgrund der Verschattung von Anbaufläche. Der Nutzen der Maßnahmen wird hauptsächlich über Opportunitätskosten bestimmt, wie z.B. ein geringeres Risiko von Umbruch- und Neuansaatkosten bei Starkregenereignissen, oder über reale Kostenreduktion, wie verringerter Kosten für Pflanzenschutzmittel. Des Weiteren werden Ertragssteigerungen auf Basis von Marktpreisen angesetzt. Für die Vermeidung des Verlustes einer Tonne Oberbodens wird ein Nutzen von

rd. 4,8 €/t berechnet. Dabei ist die Vermeidung der Offsite-Schäden (z.B. geringere Kosten für die Beseitigung von Sediment) nicht mit eingerechnet. Die Nutzengrößen werden aus verschiedenen pflanzenbaulichen, bodenkundlichen und betriebswirtschaftlichen Versuchsergebnissen von Universitäten, Landwirtschaftskammern sowie Lehr- und Versuchsanstalten gewonnen.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

In der Literatur wird eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen beschrieben, die größtenteils mit Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft überlappen. Eine quantitative Betrachtung der Anpassungsmaßnahmen erfolgt nicht. Die wenigen Studien, die die Kosten und Nutzen von Maßnahmen gegen die Bodenerosion untersucht haben, weisen keinen Bezug zum Klimawandel auf (weder seinen Folgen, noch die Anpassung daran). Eine Quantifizierung der Anpassungsmaßnahmen im Zusammenhang mit den Klimafolgen steht aber noch aus.

Die in Brand-Sassen (2004) vorgeschlagene Methodik anhand der KTBL-Kalkulationsdaten und von Forschungsergebnissen kann für den Klimawandel genutzt werden. In der Studie erfolgt allerdings keine Integration von zukünftigen Entwicklungen, z.B. der Erhöhung von Rohstoffpreisen oder der Veränderung der Erlöse.

## 3.6 Handlungsfeld Landwirtschaft

Das Handlungsfeld Landwirtschaft ist von großer Bedeutung, da sich Veränderungen bei Niederschlägen und Temperaturen unmittelbar auf die Ernteerträge und diese wiederum auf die Nahrungsmittelversorgung auswirken. Außerdem hat die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre einen unmittelbaren Düngeeffekt. Dabei zeigen Ergebnisse von Studien, dass sich im Bereich Landwirtschaft auch positive Auswirkungen durch die Folgen des Klimawandels einstellen können, z.B. können sich durch höhere Temperaturen in manchen Regionen höhere Ernteerträge einstellen oder der Weinanbau in Süddeutschland kann auf wertvollere Sorten umgestellt werden (vgl. z.B. Stock 2005). Die Auswirkungen differenzieren dabei regional sehr stark, so dass mit Verallgemeinerungen sehr vorsichtig umzugehen ist. Das Handlungsfeld Landwirtschaft wird oft in sektorübergreifenden Studien mit der Wald- und Forstwirtschaft und teilweise der Fischerei betrachtet. Eine starke Überlappung ergibt sich mit dem Handlungsfeld Boden. Ebenfalls können Synergien mit den Bereichen biologische Vielfalt und Wasserhaushalt gesehen werden.

### 3.6.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Der Großteil der untersuchten Studien bezieht sich auf die Beschreibung von Schäden durch die Folgen des Klimawandels auf die Landwirtschaft. Schadenskosten werden nur in wenigen Studien betrachtet. Für die Beschreibung der Schäden, d.h. die Auswirkungen auf landwirtschaftliche Erträge, ziehen die analysierten Studien die Folgen von Temperaturänderungen, veränderter CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre, Änderungen des Wasserhaushalts und von jährlichen Niederschlagsmengen bzw. der saisonalen Verteilung von Niederschlägen heran. Darüber hinaus werden (z.B. bei Haneman und Dale 2006) die Auswirkungen des Anstiegs des Meeresspiegels, von Starkregenereignissen und Waldbränden auf die Landwirtschaft untersucht. Die Studien können dabei in regional fokussierte Untersuchungen (z.B. Kemfert und Kremers 2009; Stock 2005) und eher globale Betrachtungen unterschieden werden. Alle vorliegenden Studien behandeln die Klimafolgen auf den Pflanzenbau. Für die Viehzucht wird maximal ein höherer Hitzestress erwähnt. Weitergehende Untersuchungen bleiben dabei aber aus.

Die Monetarisierung der Schäden erfolgt fast ausschließlich über entgangene oder potenzielle Einnahmen, welche durch Ernterückgänge oder -zuwächse realisiert werden. Bei Ciscar (2009) werden für die Region Atlantic Central, in der Deutschland eingeordnet ist, positive Auswirkungen auf das BIP von bis 0,02% bis 2050, im Vergleich zur Periode 1961-1990, angegeben. Lang (2001) betrachtet die Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion in Westdeutschland und berechnet einen Anstieg des Produktionswerts um bis zu 12 %. Bei Zebisch u.a. (2005) werden Daten zu Ernteauffällen aufgrund von Extremwetterereignissen, hier speziell der Hitzewelle 2003, analysiert, wobei 2003 deutschlandweit durchschnittliche Ertragseinbußen von ca. 12% genannt werden. Eine Studie des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2009) berechnet die Auswirkungen des Klimawandels für verschiedene Zukunftsszenarien auf die Erträge im Agrarsektor. Dabei schauten sie sich verschiedene Fruchtarten an und berechnen die Folgen auf den Deckungsbeitrag für jeweilige Fruchtart und Zukunftsszenario.

Eine Studie (Mendelsohn et al. 1994) spricht den Ansatz auf Basis von hedonischen Preisen für Ackerland an.

### Methodik der Studien

Im Handlungsfeld Landwirtschaft muss zwischen Schäden ohne Anpassung und Schäden mit autonomer Anpassung unterschieden werden. Anpassung an diverse Rahmenbedingungen durch z.B. die Identifizierung der besten Sorten findet in der Landwirtschaft laufend statt. Diese autonome Anpassung kann ggf. zur Erwirtschaftung zusätzlicher Erträge führen.

Die Schäden, die in der Landwirtschaft entstehen, werden über Simulationsmodelle abgeleitet. Für die Auswirkungen auf Pflanzen werden Pflanzenwachstumsmodelle, z.B. das CERES Modell, verwendet. Bei Ciscar (2009) gehen z.B. Änderungen von landwirtschaftlichen Anbaugebieten, Ernteerträge und landwirtschaftliche Bewirtschaftung in die Modelle ein. Die zugrunde liegenden Daten über den Zusammenhang von Klimaveränderungen und Pflanzenwachstum werden durch Experimente gewonnen.

Weitere Modelle betrachten die gesamtwirtschaftlichen Kosten, z.B. Kemfert und Kremers (2009) verwenden das Konzept der Schadenskoeffizienten um die möglichen positiven Klimafolgen (entgangene Schäden) in einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell (CGE) Modell darzustellen. So kann zwischen ökonomischen Entwicklungen und den expliziten Klimafolgen im Obstbau unterschieden werden. Das Klimawandelszenario wird dann mit einem Basisszenario verglichen. Hamilton (2006) verwendet für seine Berechnung der potenziellen Veränderungen der Anbauerträge für verschiedene Regionen Großbritanniens das Ernteertragsmodell Cropsyst.

Für die Ermittlung der Schadenskosten werden reale Einkommen verwendet, bei Hamilton (2006) z.B. werden Einkommen unter der Annahme konstanter Preise und Kosten geschätzt.

Der Betrachtungszeitraum der Studien ist sehr unterschiedlich: 2030, 2050, 2100, aber auch verschiedene Intervalle werden genutzt: 2011-2040 und 2071-2100. Die meisten Untersuchungen reichen mindestens bis ins Jahr 2050, ca. ein Viertel sogar bis 2100.

Als Klimaszenarien liegen meist die IPCC-Emissionszenarien A1, A2, B1 oder/und B2 zugrunde. Über globale Klimamodelle (z.B. ECHAM4, HadCM3) werden diese anhand von Regionenmodellen, wie HIRHAM, RCA3, WETTreg, GLOWEL, STAR für die einzelnen Regionen konkretisiert. Ein Schwerpunkt bei der Anwendung von einzelnen Modellen kann nicht festgestellt werden.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die Betrachtung der Schäden in der Landwirtschaft bezieht sich fast nur auf den Anbau von Pflanzen. Die Viehzucht ist in den Studien bisher noch sehr selten vertreten. Darüber hinaus werden Ertragsveränderungen anhand von regionalen Klimamodellen beschrieben. Eine Lücke besteht noch bei der Monetarisierung der Schadenskosten für den Bereich. Gerade dadurch dass viele Berechnungen bis ins Jahr 2100 reichen, sind die Daten noch mit einer großen Unsicherheit verbunden.

## 3.6.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Der größte Teil der im Bereich Landwirtschaft vorliegenden Studien sind sektorübergreifende oder sektorbezogene wissenschaftliche Studien. Es wird der Anbau von anderen Pflanzensorten oder die Anpassung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmethoden, z.B. zur Verringerung von Bodenerosion genannt. Ebenfalls wird der Anbau von Früchten und Blumen nur bei der Einrichtung von Bewässerungssystemen profitabel sein können. Darüber hinaus kann die Umnutzung von Landflächen als Wasserrückhaltegebiete erfolgen. Dies ist eine sehr einschneidende Maßnahme, die sich u.a. mit der Regional- und Raumplanung überlappt, bzw. der Anpassung der Wasserwirtschaft. Als weitere Anpassungsmaßnahme, die eine Hinnahme der Schäden darstellt, sind Versicherungen gegen Extremwetterereignisse. Ein Großteil der Maßnahmen wirkt dabei aufeinander ein. So verändert eine Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung die Auswahl der angebauten Sorten oder die Bodenerosion. Die Umnutzung von landwirtschaftlichen Flächen hängt z.B. mit den angebauten Pflanzenarten zusammen.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Weiterentwicklung und Einführung von boden- und wasserschonenden Bewirtschaftungsmethoden	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Sicherung von landwirtschaftlichen Erträgen, Erhaltung des Wasserhaushalts	Forschung, Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
Subjektbezogene Maßnahme	Versicherung gegen Extremwetterereignisse	Absicherung gegen Wetterereignisse	Verteilung von Schäden
Objektbezogene Maßnahme	Anbau anderer Pflanzensorten, Einsatz von Düngemitteln, Veränderung des Aussaattermins	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Sicherung von landwirtschaftlichen Erträgen	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Landnutzungsänderung zu Wald, Pflanzen für Biomassekraftwerke	Umnutzung von landwirtschaftlichen Flächen	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Nutzung von Landflächen als Wasserrückhaltegebiete	Umnutzung von landwirtschaftlichen Flächen, Erhaltung des Wasserhaushalts	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Nutzung von boden- und wasserschonenden . Bewirtschaftungsmethoden, z.B. ökologischer Landbau	Sicherung von landwirtschaftlichen Erträgen, Erhaltung des Wasserhaushalts	Verminderung der Bedrohung
	Schließung/Umzug von Farmen	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Sicherung von landwirtschaftlichen Erträgen	Änderung des Standorts

Mehrere untersuchte Studien (vgl. Olesen und Bindi 2004) Bindi und Howden 2004) unterscheiden zwischen kurz- und langfristigen Anpassungsmaßnahmen. Kurzfristige Maßnahmen zeigen keine Überschneidungen mit anderen Sektoren, dies trifft z.B. auf die Veränderung des Aussaattermins oder den Einsatz von Düngemitteln zu. Zu den langfristigen Maßnahmen zählen Züchtungen, neue Ackerbautechniken, Landnutzungsänderungen sowie drastische Änderungen in der Bewirtschaftung. Die Zeitkomponente wird hier über den Zeitraum bis zur möglichen Umsetzung, also wann die Anpassungsmaßnahmen überhaupt einsetzbar sein wird, definiert. Im Bereich der Landwirtschaft wird damit gerechnet, dass zum größten Teil eine autonome Anpassung stattfinden wird (vgl. Osberghaus und Reif 2010). Dies begründet sich auf der großen Anteil von privaten Akteuren, die bereits den Umgang mit veränderten Rahmenbedingungen, u.a. klimatischen Faktoren gewohnt sind. Ebenfalls wird dies durch das ökonomische Interesse der Landwirte an hohen Ernteerträgen vorangetrieben. Ein Eingreifen der öffentlichen Hand wird aber bei der Erarbeitung von wasser- und bodenschonenden Bewirtschaftungsmethoden und, wie bereits im Kapitel Boden beschrieben, bei Landnutzungsänderungen notwendig sein.

Ein Teil der Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft, z.B. die Veränderung der Bodenbearbeitung, kann zu einer geringen Bodenerosion führen und sich damit positiv auf das Handlungsfeld Boden auswirken. Des Weiteren kann ein Wechsel der Anbaumethoden oder der geringere Einsatz von Düngemitteln einen positiven Effekt auf die biologische Artenvielfalt erzeugen. Weitere Zusammenhänge können auch mit dem Bereich Wasserbewirtschaftung gesehen werden, da z.B. eine höhere Wasserspeicherkapazität des Bodens sich positiv auf den Grundwasserspiegel und damit das Wasserangebot auswirkt. Wie gut zu erkennen ist, tritt eine starke Vernetzung mit weiteren Handlungsfeldern auf. Dies spricht dafür, dass ein Großteil der Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft No-regret-Maßnahmen darstellen, die sich auch ohne ein extremes Eintreten des Klimawandels positiv auf andere Bereiche, wie die Biologische Vielfalt, den Wasserhaushalt, oder für die landwirtschaftlich Produktion, z.B. durch die langfristig höhere Ertragsfähigkeit von Böden, auswirken.

### Methodik der Studien

Die Anpassungsmaßnahmen werden nicht strukturiert entwickelt. Eine Betrachtung der Kosten und des Nutzens von verschiedenen Anpassungsmaßnahmen findet bei Van Ierland et al (2007) in quantifizierter Form statt. Leider wird dort das zugrunde liegende methodische Vorgehen nicht weiter erläutert. De Groot (2006) greift zur Bewertung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen auf direkte Schadenskosten von vergangenen Wetterereignissen zurück, z.B. wurden Daten von Ernteaufschlägen und Schäden eines Starkregens im Jahr 1998 genutzt und mit einer Höhe von 600 Mio. Euro angegeben. Ebenfalls nutzt er entgangene Einnahmen, z.B. wird der Ernteaufschlag von Mais über den Marktpreis bestimmt. Der Ernteaufschlag durch ein Auftreten des Maiswurzelkäfers wird mit 6,5 bis 13 % angegeben. Zur Berechnung des ökonomischen Verlustes wurde ein Wert des Maises von 1.550 €/ha genutzt. Die Investitionen für Bewässerungssysteme werden anhand von realen Investitionskosten, die ca. 10.000 €/ha betragen. Ebenfalls fallen Betriebskosten von ca. 10.000 €/ha an. Der Anstieg der Einnahmen für Felder mit Bewässerung und angebauten Feldfrüchten, Gemüse und Blumen wird mit pro Jahr 175,- bis 743,- €/ha bei den jetzigen Klimabedingungen angegeben. Unter Klimaszenarien bei denen die Trockenheit um 22 % bis 37 % steigt, werden Werte von 213,- bis 1045,- €/ha erwartet.

Der Nutzen der Einrichtung von Wasserrückhaltebecken wird anhand der Landpreise für Ackerflächen (hedonische Preise), die einmal pro Jahr überflutet werden, geschätzt. Der Anhebung des Grundwasserlevels hat positive Auswirkungen auf Bodenerosion und den Wasserhaushalt, allerdings muss mit einer höheren Häufigkeit von Überschwemmungen gerechnet werden. Der finanzielle Verlust der Ernteauffälle durch Überschwemmungen wird über die HELP-Tabellen, die auf den Grundwasserstand basieren, und dem Waterpas-Model, das die Umsätze im Ackerbau in Abhängigkeit von wechselnden Grundwasserleveln modelliert. Für Landnutzungsänderungen wird der Nutzen über den Preis für Emissionszertifikate im Rahmen des Kyoto-Emissionshandels bestimmt.

### **Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien**

Für die Landwirtschaft werden eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen dargestellt, die sich teilweise kurzfristig realisieren lassen, aber zum Teil müssen erst noch die Voraussetzungen für den Einsatz geschaffen werden. Die Anpassungsmaßnahmen werden in den meisten Studien qualitativ erläutert. Einige Untersuchungen führen eine Quantifizierung des Nutzens und der Kosten von Maßnahmen durch. Dabei kommen aufgrund der großen Anzahl von Maßnahmen auch verschiedene Monetarisierungsmethoden zum Einsatz. Die quantifizierten Daten stammen aus Studien aus den Niederlanden. Soweit bisher einschätzbar kann die Datenbasis, z.B. die Abschätzung von Grundstückspreisen, auch auf Deutschland angewandt werden. Ebenfalls sind Marktpreise für landwirtschaftliche Produkte erhältlich, allerdings müssen diese zur Verbesserung der Qualität der Datenbasis anhand von ökonomischen Modellen für die betrachtete Zeitperiode modelliert werden.

## 3.7 Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft

Wälder haben eine Fülle von Funktionen, beginnend mit Ökosystemdienstleistungen, der Regulierung des Wasserhaushalts oder dem Schutz der biologischen Vielfalt, über die Nutzung als Erholungsgebiete, bis zur wirtschaftlichen Grundlage der kommerziellen Holzwirtschaft. Die Wald- und Forstwirtschaft hängt stark von klimatischen Faktoren ab, vor allem Niederschlag und Temperatur. Weitere Auswirkungen werden durch den veränderten Schädlingsbefall erwartet. Des Weiteren dient der Wald als Kohlendioxidspeicher und spielt als solcher eine wichtige Rolle für den Klimaschutz. Die Diskussion im Bereich im Wald- und Forstbereich ist u. a. verknüpft mit der Diskussion um Baumartenvielfalt und Waldtypen sowie damit zusammenhängenden Auswirkungen auf die Pflanzen- und Tierarten. Es gibt dabei wichtige Überschneidungen mit dem Bereich Biologische Vielfalt.

### 3.7.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Die untersuchten Studien betrachten vor allem die Folgen von Temperaturänderungen und Niederschlagsänderungen. Unter Temperaturveränderungen wird eine Zunahme der Wärmetage, aber auch eine Abnahme der Frosttage untersucht. Bei den Änderungen des Niederschlags stehen eine Verschiebung der Niederschläge von Sommer in den Winter, sowie stärkere Starkregenereignisse im Fokus. Teilweise werden auch weitere Extremwetterereignisse, z.B. Stürme und Überschwemmungen, betrachtet (z.B. Lindner et al. 2008; Ray 2008). Einigen Studien, z.B. Ray (2008); Broadmeadow et al. (2004), berücksichtigen weiterhin noch die Veränderung des CO<sub>2</sub>-Haushalts in der Atmosphäre. Stock (2005) analysiert darüber hinaus die Veränderung des Waldbrandgeschehens. Weiterhin werden indirekte Effekte, wie die Veränderung bei der Ausbreitung von Krankheiten und Pflanzenschädlingen und eine mögliche Nährstoffknappheit im Boden durch ein stärkeres Wachstum bei höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen angesprochen (z.B. bei Broadmeadow 2000; Broadmeadow et al. 2004). Zu den analysierten Auswirkungen zählen meist die Veränderungen des Baumwachstums und der Baumartenverteilung sowie des Verbreitungsgebietes von Baumarten. Eine Darstellung z.B. für Waldlebewesen wie Insekten, wird von Lindner et al. (2008) angesprochen, kann aber aufgrund der schwierigen Datenlage momentan noch nicht durchgeführt werden.

Keine der vorliegenden Studien nimmt eine Bestimmung von Schadenskosten vor. Lasch et al. (2002) quantifizieren Ertragsänderungen bei verschiedenen Nutzholzsornten. Die Ergebnisse zeigen eine hohe Unsicherheit. Es werden zwei verschiedene Klimaszenarien verwendet, nur bei der Baumart Eiche muss bei beiden Szenarien mit einem negativen Effekt gerechnet werden. Für die Arten Fichte, Kiefer und Buche fallen die Ergebnisse beim HadCM2-Szenario positiv aus (2,3 % bis 7,9 % im Vergleich zu heute), beim ECHAM4-Szenario zeigt sich ein Rückgang der Produktivität (-4,4 % bis -15,9 % im Vergleich zu heute). Ebenfalls erfolgt die Berechnung von klimawandelbedingten Veränderungen der Produktionsmenge von Papier und Zellstoff sowie von Nutzholz (Rive et al. 2005; Kirilenko und Sedjo 2007). Kirilenko und Sedjo (2007) diskutieren darüber hinaus mögliche Auswirkungen auf die Preise der hergestellten Produkte.

## Methodik der Studien

Um die Folgen möglicher Klimaänderungen einzuschätzen kommen Simulationsmodelle zum Einsatz, die die Waldentwicklung unter Klimaeinfluss beschreiben. Mehrere Studien nutzen das Waldwachstumsmodell 4C (vgl. Gerstengarbe u.a. 2003; Stock 2005). Das Modell beschreibt das Wachstum und die Mortalität von Baumkohorten. Das Anfangsstadium wird z.B. durch eine Forstinventur erfasst. Die Waldbrandgefahr wurde mit Hilfe von Waldbrandindizes über das Waldwachstumsmodell 4C geschätzt. Broadmeadow (2000) nutzt die Baumwachstumsmodelle GYC14 und GYC6. Die Studie von Rive et al. (2005) verwendet zur Bewertung der Ertragsänderungen das allgemeine Gleichgewichtsmodell GRACE. Bei Lasch et al. (2002) wurde mit dem Phasenmodell FORSKA-M die potenzielle natürliche Vegetation simuliert.

Die zugrunde liegenden Betrachtungszeiträume reichen mindestens bis zum Jahr 2050. Ein Drittel der Studien analysiert die Entwicklung bis ins Jahr 2080 oder sogar bis 2100. Die verwendeten Emissionsszenarien umfassen die IPCC-Szenarien A1B, B2 und A1, ohne dass sich ein Schwerpunkt bei einem einzelnen Szenario feststellen ließe. Zudem werden z.B. die UKCIP02-Klimamodelle oder ECHAM4 genutzt. Stock (2005) verwendet die regionalen Klimaszenarien STAR und GROWEL.

## Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Waldbestände und Baumartenverteilung wurde bereits analysiert. Allerdings liegen noch wenige Angaben zu den damit verbundenen Kosten vor. Einzelne Studien schätzen die klimabedingten Veränderungen des Ertrags von Nutzholz und weiteren Produkten, ohne diese Veränderungen jedoch als Kosten zu quantifizieren. Darüber hinaus erfolgt keine Schätzung der weiteren Effekte, wie der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt oder die Erholungsfunktion.

### 3.7.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

#### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Die sektoralen Studien für die Wald- und Forstwirtschaft bilden den Großteil der untersuchten Studien. Wenige Studien umfassen daneben noch Landwirtschaft und Fischerei. Ein Drittel der vorliegenden Studien sind sektorübergreifend. Die vorliegenden Untersuchungen sind mehrheitliche wissenschaftliche Studien.

Die meisten genannten Anpassungsmaßnahmen finden sich im Bereich der Waldbewirtschaftung. Van Ierland et al. (2007) nennen im Bereich Forstmanagement die Erhöhung der genetischen Vielfalt und der Artenvielfalt sowie die Anpflanzung von klimaresistenten Baumarten aus südlichen Ländern. Bei der Auswahl der Baumarten sollte auch der stärkere Befall mit Krankheiten und Schädlingen bedacht werden. Mit der gesteuerten Regenerierung von Wald über andere Baumarten steht eine Anpassungsmaßnahme zur Verfügung, mit der sofort begonnen werden kann (vgl. Lindner et al. 2008). Durch Durchforstung und Pflegemaßnahmen kann ein gewisser Schutz gegen Stürme erreicht werden. Die Rotationslänge im Anbau sollte verkürzt werden, d.h. ein Abernten sollte in kürzeren zeitlichen Abständen erfolgen, um die finanziellen Konsequenzen aus einem Schädlingsbefall oder von Stürmen zu begrenzen (z.B. Broadmeadow 2000; Lindner et al. 2008). Darüber hinaus wird empfohlen, klimabedingte Faktoren in

Forstmanagementsystemen zu integrieren, welche momentan der Erhaltung des Status quo dienen (vgl. Lindner et al. 2008). Die Infrastruktur, wie Transportwege, und die Erntetechniken müssen an weniger Frosttage und nassere Böden angepasst werden. Zur Regulation des Wasserhaushalts und der Vermeidung von Hitzestress wird die Rückhaltung von Winterniederschlägen in Bauwerken mit dem Ziel der Nutzung bei Sommertrockenheiten erwähnt (vgl. De Groot 2006). Für die private Forstwirtschaft wird eine Integration von Klimaschutzaspekten in das Risikomanagement empfohlen. Allerdings wurde auch die Akzeptanz der Veränderung von Arten in Waldbeständen als Anpassungsmaßnahme beschrieben. Als Maßnahmen gegen Waldbrände bietet sich an, das Waldbrandproblem verstärkt in die Raumplanung einzubeziehen, ferner bieten Warnsysteme für Waldbrände eine Option (vgl. Van Ierland et al. 2007; Lindner et al. 2008; Ray 2008; Angst 2007). In dem Bereich liegen hauptsächlich objektbezogene Maßnahmen vor, die eine Veränderung der Waldbestände, Pflanzenarten, Anbaumethoden oder Transportwege betreffen. Als prozessbezogene Anpassungsmaßnahme kann ein verbessertes Risikomanagement genannt werden. Die Akzeptanz veränderter Waldbestände stellt schließlich eine subjektbezogene Maßnahme dar.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Verbessertes Risikomanagement, Integration von klimawandelbedingten Faktoren in Forstmanagementsysteme	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Erhaltung der biologischen Vielfalt	Forschung, Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Integration des Waldbrandrisikos in die Raumplanung	Schutz des Waldbestandes	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern, Verminderung der Bedrohung
Subjektbezogene Maßnahme	Akzeptanz von veränderten Waldbeständen	Akzeptanz des Klimawandels	Hinnahme von Schäden
	Installation von Waldbrandwarnsystemen	Gewährleistung der Sicherheit, Schutz des Waldes	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
Objektbezogene Maßnahme	Erhöhung der Anpflanzung verschiedener Arten	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Erhöhung der Resistenz gegen Klimawandel	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource

Objektbezogene Maßnahme	Anpflanzung von klimaresistenten, schädlingsresistenten Baumarten	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Verkürzung der Rotationslänge bei Wirtschaftswäldern	Vulnerabilität gegenüber Extremereignisse reduzieren, Finanziellen Verlust aus Extremereignissen reduzieren	Verhinderung von Schäden
	Technische Anpassung der Infrastruktur und Erntetechnik	Gewährleistung der Verkehrswege, Ermöglichung der wirtschaftlichen Nutzung	Verhinderung von Schäden
	Wasserrückhaltung von Winterniederschlägen/ Wasserbewirtschaftungs- konzepte	Sicherung des Wasserhaushalts	Verhinderung von Schäden

Die meisten Maßnahmen im Bereich Forstwirtschaft stellen langfristige Aktivitäten dar, die ihre Wirkung erst nach einer relativ langen Zeitspanne zeigen. Lindner et al. (2008) gehen auf den zeitlichen Aspekt kurz ein; die Autoren argumentieren, dass aufgrund der langen Vorlaufzeiten die gesteuerten Regenerierung von Wald sofort beginnen sollte. Allerdings werden erfolgreiche Forstmanagement- oder Wasserbewirtschaftungskonzepte erst nach einigen Jahren umgesetzt sein. Auch relativ kurzfristig anwendbare Maßnahmen, wie die Anpflanzung von trockenresistenten Arten, werden erst mittelfristig wirken. Eine Priorisierung der Maßnahmen findet sich bei Van Ierland et al. (2007), die Anpassungsmaßnahmen anhand der Kriterien Wichtigkeit, Dringlichkeit, No-regret, Nebeneffekte auf andere Bereiche und Auswirkungen auf die Mitigation von Treibhausgasemissionen bewerten.

Ungefähr die Hälfte der deutschen Wälder sind im Besitz von Bund, Ländern oder Kommunen, so dass öffentliche Träger für diese Flächen die Anpassungsmaßnahmen übernehmen müssen. Es ist damit zu rechnen, dass Maßnahmen für die Anpassung in privaten Wäldern von den jeweiligen Waldbesitzern zum größeren Teil aus Eigeninteresse durchgeführt werden, allerdings kann die öffentliche Hand dies unterstützen, indem sie Handlungsempfehlungen formuliert und Informationen bereitstellt. Darüber hinaus können die bestehenden Fördermaßnahmen zum Waldbau stärker auf die Anpassung an den Klimawandel ausgerichtet werden.

Ein Großteil der Maßnahmen zählt zu den No-regret-Maßnahmen. So tragen zum Beispiel Maßnahmen, die die Biodiversität erhöhen und Monokulturen beseitigen, ebenfalls zu stabileren Baumbeständen und zum Schutz gegen Krankheiten und Schädlingsbefall bei. Die verschiedenen Maßnahmen in der Wald- und Forstwirtschaft weisen starke Synergien auf. Zum Beispiel kann eine Anpflanzung von klimaresistenten Arten dazu beitragen, die Artenvielfalt insgesamt zu erhöhen. Überschneidungen sind ebenfalls mit dem Bereich Biologische Vielfalt offensichtlich. Darüber hinaus dienen Wälder als Wasserspeicher und beeinflussen damit den Anpassungsbedarf im Bereich Wassermanagement. Des Weiteren tragen Wälder durch die Funktion als Kohlendioxid-speicher zum Klimaschutz bei.

## Methodik der Studien

In den vorliegenden Studien finden sich kaum Angaben zu den Kosten von Anpassungsmaßnahmen in der Wald- und Forstwirtschaft. Es werden vereinzelt mögliche Ansätze zur Bewertung genannt, z.B. wird bei der Verwendung von anderen Nutzholzarten auf Einnahmedifferenzen im Vergleich zu momentan angebauten Sorten hingewiesen (vgl. De Groot 2008). Lindner et al. (2008) bewerten fünf der vorgestellten Maßnahmen, u.a. die Erhöhung der Artenvielfalt und die Verwendung standortgerechter Baumarten, qualitativ bezüglich ihrer Umsetzbarkeit, Zuverlässigkeit und Kosteneffektivität. Zur Bestimmung der Kosteneffektivität werden dabei reale Kosten für die Durchführung der Maßnahmen, die reduzierte wirtschaftliche Ausbeute an Holz und die potenziellen Einnahmeverluste für Nutzholz durch Trockenheiten, Extremwetterereignisse bzw. Krankheits- oder Schädlingsbefall einbezogen.

## Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Für das Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft wird eine große Anzahl von Anpassungsmaßnahmen genannt. Quantitativen Kosten- und Nutzenbetrachtungen finden sich jedoch nicht; bestenfalls werden qualitative Überlegungen zu Kostenkategorien angestellt. Dies lässt sich zum Teil auf die Komplexität der Materie zurückführen – so etwa an den Herausforderungen bei der Bewertung von biologischer Vielfalt, Erholungsfunktionen oder von Ökosystemdienstleistungen. Eine Kalkulation der wirtschaftlichen Auswirkungen in Form von verringerten Erträgen erscheint dagegen weniger kritisch; diese wurde jedoch bislang mit Bezug auf den Klimawandel nicht durchgeführt. Darüber hinaus kann auf Kostendaten bisher durchgeführter Maßnahmen im Rahmen des Waldumbaus zurückgegriffen werden.

## 3.8 Handlungsfeld Fischerei

Fischerei ist ein Wirtschaftssektor, der vom Klimawandel unmittelbar betroffen sein wird. Der Klimawandel wirkt aufgrund von Temperaturanstieg und Versauerung direkt auf das Wasser und damit den Lebensraum von Fischen ein. Die ersten Veränderungen zeigen sich bereits in der Veränderung von Arten in Meeren, Flüssen und Seen. Der Klimawandel tritt dabei in Kombination auf mit anderen Herausforderungen, mit denen der Fischereisektor konfrontiert ist, allen voran die bereits festzustellende Überfischung vieler Fischarten. Die Fischerei stellt damit ein wichtiges Handlungsfeld dar. Das Handlungsfeld Fischerei wird oft in Kombination mit den anderen primären Wirtschaftssektoren Land- und Forstwirtschaft in sektorübergreifenden Studien betrachtet. Durch die Bedrohung des Aussterbens von Fischarten besteht ebenfalls eine Überschneidung mit dem Handlungsfeld biologische Vielfalt.

### 3.8.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Die untersuchten Studien im Bereich Fischerei nehmen meist nur eine qualitative Bewertung vor, d.h. erwartete Schäden und Klimaauswirkungen werden verbal beschrieben, eine weitergehende Quantifizierung oder sogar Monetarisierung in Form von Schadenskosten ist dagegen selten. Schäden treten dabei als Bestandsrückgang von Fisch auf, bis hin zum Artenverlust. Dabei wird von einer Veränderung der Meeresströmungen ausgegangen, was das Meeressystem und die Lebensgrundlagen der Fischarten erheblich stören kann. Ebenfalls wird ein Temperaturanstieg in den Meeren sowie deren Versauerung durch höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen analysiert. Als weitere Klimaauswirkung wurde in der Literatur die steigende Häufigkeit von Stürmen genannt (vgl. De Groot 2006). Die Folgen des Klimawandels wirken sich nicht nur auf freilebende Fischbestände aus, sondern beeinflussen auch die Fischzucht in Form von Aquakulturen.

Schadenskosten werden in zwei untersuchten Studien betrachtet. Margulis und Narain (2009) betrachten die Auswirkungen auf die primäre Produktivität und die Veränderungen der Artenzusammensetzung. Dabei wird ein Rückgang der Einnahmen in der Fischerei bis 2050 weltweit auf US\$ 10–31 Mrd. und in den Industrieländern auf US\$ 2–8 Mrd. geschätzt. Link und Tol (2006) analysieren die Schadenkosten, die durch erhöhte Temperaturen auf die Bestände zweier verschiedener Fischarten entstehen, und unterscheiden dabei nach verschiedenen Fischfangvarianten.

#### Methodik der Studien

Die Schäden für den Fischereisektor werden anhand von Klimaszenarien betrachtet. Dabei analysieren die vorliegenden Studien vor allem den Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Temperaturen und Veränderungen der Zusammensetzung der Fischarten. Es existieren wenig konkrete Studien, die die erwarteten Veränderungen der Fischbestände quantifizieren bzw. anderweitig konkretisieren, meist erfolgt eine beschreibende Betrachtung.

Die Schadenskosten werden bei Margulis und Narain (2009) über entgangene Einnahmen berechnet. Dafür werden in einem ersten Schritt mögliche Veränderungen des Fischfanges unter verschiedenen Klimaszenarien für alle Küstenstaaten und internationalen Gewässer

bestimmt. Daraus werden im zweiten Schritt Veränderungen des Umsatzes in der Fischerei und der Haushaltseinkommen geschätzt. Auf einen unabhängig vom Klimawandel eintretenden Rückgang der Fischbestände, z.B. durch Überfischung, gehen die Autoren nicht ein. Link und Tol (2006) legen in ihrer Analyse die entgangenen Einnahmen des Fischsektors zugrunde. Die Autoren führen eine bioökonomische Modellierung durch, die die Entwicklung von zwei wichtigen Fischbeständen (Dorsch und Kapelan) der Barentssee unter vier verschiedenen Szenarien klimabedingter Änderungen der Meeresströmung betrachtet. Dabei untersuchen sie die ökonomischen Auswirkungen auf drei verschiedene Flottentypen unter zwei Fangquotenregelungen.

Als Klimaszenarien werden IPCC-Klimaszenarien, wie die IPCC SRES A1-B, A2 und B1 Szenarien verwendet (z.B. Sgobbi und Carraro 2008; McCarl 2007). Des Weiteren werden weitere Szenarien verwendet. In der Studie von Van Ierland et al. (2007) z.B. die drei 2001 vom niederländischen meteorologischen Institut KMNI entwickelten Szenarien (low-central-high) und das "dry scenario", das 2003 ebenfalls vom KMNI als wasserknappes Szenario für die Niederlande entworfen wurde.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die Betrachtung der Schäden für den Fischereisektor ist mit deutlichen Unsicherheiten behaftet. Meist werden für die Fischerei nur relativ allgemeine qualitative Betrachtungen vorgenommen und mögliche Auswirkungen angedeutet. Aufgrund der unsicheren Datenlage über die Auswirkungen des Klimawandels berechnen nur wenige Studien Schadenskosten für diesen Sektor.

## 3.8.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Im Handlungsfeld Fischerei steht nur eine begrenzte Anzahl von Studien zur Verfügung. Dabei sind die Hälfte der untersuchten Studien sektorübergreifend und analysieren die Fischerei als einen unter vielen Sektoren, z.B. die Routeplanner-Studie aus den Niederlanden (Van Ierland et al. 2007). Die andere Hälfte sind sektorale wissenschaftliche Studien.

Als mögliche Anpassungsmaßnahmen werden vor allem die Verschärfung von Fischfangquoten und die Anpassung durch den Fang anderer Fischarten, z.B. durch die Nutzung von anderen Fangtechniken, diskutiert. Weitere Maßnahmen betreffen das Management von Aquakulturen, z.B. durch Rückgriff auf Arten, die eine höhere Hitzeresistenz aufweisen, oder durch eine geänderte Besatzdichte (z.B. McCarl 2007). Van Ierland et al. (2007) erwähnen auch die Verlagerung von Aquakulturen auf Weideland. Weitere genannte Anpassungsmaßnahmen sind das Eco-Labeling und die Zertifizierung von Fisch, wobei diese natürlich ebenfalls als Maßnahmen gegen die Überfischung dienen. Eine Trennung der beiden Wirkfelder ist hier nicht möglich. Die Ansiedlung von Muscheln als alternative Einnahmequelle kann ebenso eine Anpassungsmaßnahme darstellen, da sie die entgangenen Gewinne der Fischereiindustrie in kleinem Umfang ausgleichen kann. Des Weiteren müssen sich verarbeitende Unternehmen an die neuen Fischarten anpassen.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Verschärfung von Fischfangquoten	Schonung der Fischbestände	Verteilung von Schäden
	Eco-Labeling und die Zertifizierung von Fisch	Schonung der Fischbestände	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
Subjektbezogene Maßnahme	Erhöhung der Bekanntheit von Eco-Labels	Schonung der Fischbestände	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
Objektbezogene Maßnahme	Ausrichtung auf Fang von anderen Fischarten, z.B. durch Fangtechniken	Einstellen auf angebotene Fischarten	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Anpassung der Fischarten und das Management von Aquakulturen	Einstellen auf verändernde Rahmenbedingungen durch angepasste Fischarten	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Ansiedlung von Muscheln	Andere Einnahmequellen	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource
	Anpassung von verarbeitenden Unternehmen an die neuen Fischarten	Einstellen auf angebotene Fischarten	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource

Die zeitliche Dimension der Maßnahmen wird in den untersuchten Studien nicht näher betrachtet, wobei klar ist, dass einige der Maßnahmen kurzfristig keine Wirkungen erzielen. Bei Maßnahmen für Aquakulturen und die Anpassung der verarbeitenden Unternehmen an neue Fischarten bestehen erhebliche Anreize zur autonomen Anpassung der Betreiber, insofern werden diese voraussichtlich selbständig ergriffen. Weitere Maßnahmen, wie z.B. die stärkere Verbreitung von Eco-Labels und deren Vermarktung, benötigt eher Unterstützung von öffentlichen Akteur/inn/en.

### Methodik der Studien

Die Anpassungsmaßnahmen werden in den untersuchten Studien nicht methodisch hergeleitet, ebenso wenig werden Maßnahmen priorisiert. Zur Quantifizierung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen nennen von Margulis und Narain (2009) explizit die entgangenen Einnahmen. Van Ierland et al. (2007) berechnen für die Ansiedlung von Muscheln als alternativer Einnahmequelle die direkten Einnahmen für die verkauften Muscheln und werten diese als Nutzen der Maßnahme. Die Studie von Arnason et al (1999) betrachtet die Betriebskosten und den Nettonutzen von Fischereimanagementsystemen (Forschung, Erstellen von Fangquoten und Überwachung). Die Kostenabschätzungen wurden anhand der veröffentlichten Haushaltsberichte der relevanten Ministerien und Behörden durchgeführt. Diese Maßnahme wird in der Studie zwar nicht explizit als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel betrachtet, die Ergebnisse können jedoch eventuell übertragen werden. Die Kosten für das Fischereimanagement variieren in den Ländern zwischen 3 % und 26 % der Einnahmen im Fischfang.

## Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Trotz der geringen Anzahl der untersuchten Studien werden relativ viele Anpassungsmaßnahmen genannt, die auf verschiedene Akteursgruppen abzielen, u.a. politische Entscheidungsträger, produzierende und verarbeitende Unternehmen.

Durch die hohe Unsicherheit über die Auswirkungen des Klimawandels auf den Fischereisektor ist die Einschätzung von quantitativen Kosten- und Nutzenaspekten allerdings noch gering. Zudem gilt, dass die drohende Überfischung ein unmittelbares (und potenziell existenzbedrohendes) Problem darstellt, gegen den die Anpassung an die Folgen des Klimawandels in den Hintergrund tritt. Eine Quantifizierung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen kann, wie schon in einigen Studien exerziert, über entgangene Einnahmen erfolgen.

## 3.9 Handlungsfeld Energie

Die Energiebranche ist einer der großen Emittenten von Treibhausgasemissionen und als solche auch eine Verursacherin des Klimawandels. Gleichzeitig ist der Energiebereich aber auch von den Folgen des Klimawandels betroffen. Die Energieversorgung stellt eine tägliche, elementare Leistung für die Bevölkerung dar und gehört zu den technischen Basisinfrastrukturen und damit zu den kritischen Infrastrukturen. So würde ein Zusammenbrechen der Energieversorgung erhebliche Verwerfungen und große Kosten in weiten Teilen von Wirtschaft und Gesellschaft nach sich ziehen. Hier ist auch die Abhängigkeit anderer kritischer Infrastrukturen von einer sicheren Energieversorgung zu nennen, insbesondere in den Bereichen Verkehr sowie der Wasser- und Abwasserversorgung. Ein Zusammenbrechen der Energieversorgung würde die in diesen Bereichen dargestellten Wirkungskanäle verstärken.

### 3.9.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Die meisten untersuchten Studien betrachten die Folgen des Klimawandels sowohl für die Energienachfrage als auch die Energieerzeugung. Die konventionelle Energieerzeugung aus fossilen (oder nuklearen) Brennstoffen ist dabei vor allem von Änderungen im Wasserhaushalt und in der Häufigkeit von Wetterextremen betroffen, die sich auf den Betrieb von thermischen Kraftwerken auswirken, sofern diese auf Frischwasser zur Kühlung angewiesen sind. Zum einen darf das aus Kraftwerken in einen Fluss abgeleitete Wasser eine bestimmte Maximaltemperatur nicht überschreiten. Zum anderen sinkt mit steigender Temperatur die Kühlleistung des Wassers, und reicht schlimmstenfalls nicht mehr aus. De Groot (2006) gibt bei Energieausfällen von über 8 Stunden Kosten von ca. 30 Euro pro nicht-ausgelieferter kWh an. Eine Schätzung der Kosten für einen Energieausfall ist allerdings sehr schwierig, da die Strompreise sehr volatil sind. Die Kosten können bei Belastungsspitzen (die oft mit extremer Hitze zusammenfallen) noch sehr viel höher liegen. Daneben können die Brennstoffversorgung und deren Transport zu den Kraftwerken vom Klimawandel betroffen sein. Klimatische Einflüsse – insbesondere Stürme – können schließlich die Infrastruktur zur Übertragung und Verteilung von Energie beeinträchtigen.

Die Energienachfrage wird vor allem mit Blick auf den Temperaturanstieg und der damit einhergehenden Veränderung im Heiz- und Klimatisierungsbedarf betrachtet (vgl. Watkiss et al. 2006; Bosello et al. 2002; Amato et al. 2005; Wilbanks et al. 2008; Kemfert 2007; Dunkelberg u. a. 2009). Amato et al. (2005) prognostizieren z.B. unter Berücksichtigung des Klimawandels einen Anstieg der von Privathaushalten im US-Bundesstaat Massachusetts genutzten Energie um 2,1 % pro Einwohner im Jahr 2020 (im Vergleich zu Szenarien ohne Veränderungen durch den Klimawandel). Dabei wird für die Sommermonate ein Anstieg der Energienachfrage durch Privathaushalte um 6,8 % pro Einwohner und in den Wintermonaten ein Rückgang um 2,7 % pro Einwohner berechnet. Allerdings lassen sich diese Ergebnisse nicht auf Europa übertragen, vor allem aufgrund der (noch) deutlich geringeren Ausstattung mit Klimaanlage in Privathaushalten. Hitch und Point (o. J.) gehen im Business As Usual-Szenario von einer Vervierfachung der Klimaanlage in Großbritannien bis 2020 aus. Mansanet et al (2008) nehmen einen Zuwachs der Quote an Klimaanlage auf das US-

amerikanischen Niveau von 64 % der Haushalte an. Dadurch würde in Frankreich die Energienachfrage um 10TWh pro Jahr steigen.

Watkiss et al. (2006) schätzt für die Energienachfrage in Großbritannien unter den UKCIP socio-economic scenarios (World Markets, Provincial Enterprise, Global Sustainability and Local Stewardship) für alle Szenarien kumuliert über Winter und Sommer einen Rückgang im Vergleich zum Szenario ohne Klimawandel. Die Prognose wurde dabei für Privathaushalte und den Dienstleistungssektor durchgeführt und umfasst den Anstieg der Energienutzung zum Kühlen und der Einsparung von Heizenergie. Für 2050 liegen die Werte für die verschiedenen sozio-ökonomischen Szenarien zwischen einer Verringerung der Energienachfrage in Großbritannien von 3,3 % bis 5 %. Eskeland et al (2008) stellen Ergebnisse dar, nach denen die Energienachfrage für Heizen in Staaten nördlich der Alpen um 12-16 % bis 2050 sinkt. Die Daten beziehen sich auf ein Business-as-Usual Szenario, welches von einem durchschnittlichen weltweiten Temperaturanstieg von 4°C ausgeht.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf den Folgen von Veränderungen des Klimas (in Form von Wasserhaushalt, Wind und Sonnenstunden) auf die erneuerbaren Energien. Untersucht werden vor allem die Folgen für Wasserkraftwerke, die Stromerzeugung mit Biomasse, Windkraft- und Solaranlagen (z.B. Bye 2002; Fenger, J. 2007; Ecoplan 2007). De Groot (2006) stellen Berechnungen für eine verstärkte Stromerzeugung durch Windkraft- und Solaranlagen an, da durch stärkere und häufigere Winde sowie mehr Sonnenstunden neue Gebiete rentabel nutzbar werden. Ebenfalls untersuchen sie die Wirkung höherer Temperaturen und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf ein stärkeres Pflanzenwachstum und somit eine stärkere Nutzung von Biomasse aus Pflanzenresten. Fenger (2007) prognostiziert z.B. 15 % stärkere Winde in der Ostsee, so dass Windkraftanlagen ergiebiger produzieren können. Für Dänemark wird im Vergleich zum Szenario ohne Klimawandel bis 2050 eine Installation von zusätzlich 500 MW berechnet. Andere Autoren betrachten die Probleme von Laufwasserkraftwerken bei eintretenden Trockenheiten (z.B. Ecoplan 2007). So kann die Schweiz im Jahr 2050 im Mittel mit einem Rückgang der Energieerzeugung aus Wasserkraftwerken um 11 % unter das heutige Niveau rechnen. Bis 2100 könnte die Stromproduktion aus den heute vorhandenen Wasserkraftwerken im Mittel um 22 % sinken, wobei Änderungen in der Kapazität nicht berücksichtigt sind.

Bei der Rohstoff- und Brennstoffgewinnung können z.B. starke Stürme die Ölförderung beeinträchtigen, ebenso wie Starkregenereignisse ein Problem für Tagebaue darstellen können. Die Herstellung von Biomasse könnte durch Ernteauffälle in Form von Extremwetterereignissen, wie Hagel oder Starkregen, betroffen sein. Darüber hinaus kann es zu Transportschwierigkeiten durch die Beeinträchtigung von Gütertransporten kommen. Z.B. können niedrige Wasserstände von Schifffahrtsstraßen oder Überschwemmungen bei Bahn und Straße zu Problemen führen. Bei weniger Frosttagen können andererseits aber auch Verkehrsbeeinträchtigungen durch Schnee und Eis abnehmen (vgl. Dunkelberg u.a. 2009).

Bei Freileitungen, die zur Übertragung und Verteilung von Elektrizität genutzt werden, muss aufgrund von Temperatur und Wind mit einem größeren Durchhang gerechnet werden. Zudem sind diese höheren Windgeschwindigkeiten ausgesetzt und die Häufigkeit von Blitzen nimmt zu. Nach Eskeland et al (2008) mussten nach dem Wintersturm in Norddeutschland 2005 28.000 Strommasten erneuert werden, was Kosten von 500 Mio Euro für den Netzbetreiber (RWE) nach sich zog. Bei starken Winden kann es zudem zu einer Überlastung der Netze kommen, woraufhin Windkraftanlagen abgeschaltet werden müssen. Hier erfolgt auch stetig eine technische Weiterentwicklung, z.B. wird gerade an Rotorblättern geforscht, die sich Windgegebenheiten aktiv anpassen können (vgl. Gille 2011). Bei

häufigeren Starkregenereignissen besteht schließlich die Gefahr der Unterspülung von Gebäuden, Mastfundamenten und Kabeltrassen (vgl. Dunkelberg u. a. 2009).

### Methodik der Studien

Die meisten Studien simulieren die Nachfrage und das Angebot an Energie mit Hilfe von volkswirtschaftlichen Modellen. Fenger (2007) untersucht auf Basis verschiedener Klimamodelle die Klimafolgen auf die unterschiedlichen Energieträger. Dabei nutzt die Studie die globalen Klimamodelle ECHAM4 und HadAM3H, die anhand des Rossby Centre Regional Climate Model regionalisiert werden. Anschließend wird ein gegebenes Energiesystem der Länder angenommen und eine Simulation für die verschiedenen Klimaszenarien durchgeführt. Watkiss et al. (2006) ermitteln zunächst unter Verwendung von UKCIP-Klimaszenarien die Heiz- und Kühlgradtage für die Jahre 2020, 2050 und 2080; andere meteorologische Daten bleiben außen vor. Daraus wurden die Energienachfrageänderungen der Haushalte und des Dienstleistungssektors für Raumheizung und -kühlung unter den UKCIP02 sozio-ökonomischen Szenarien modelliert. Zur monetären Bewertung wurde die Aufteilung der Energieerzeugung nach Energieträgern und deren Preise geschätzt. Hadley et al. (2006) verwenden die Vorhersagen des Klimamodells PCM-IBIS für zwei Emissionsszenarien. Die simulierten Temperaturänderungen des Zeitraums 1971-2025 wurden geografisch und zeitlich aggregiert und in bevölkerungsgewichtete Heiz- und Kühlgradtage umgerechnet. Anschließend wurden sozio-ökonomische Vorhersagen einbezogen, und schließlich die Energienachfrage mit dem National Energy Modeling System berechnet. Bosello et al. (2002) verwenden ein allgemeines Gleichgewichtsmodell (CGE) (GTAP model v.6), um die Effekte einer Nachfrageänderung zu schätzen.

Da Energie als Faktor auch in gängigen volkswirtschaftlichen Modellen vorkommt, ist eine Modellierung auch für die Schäden des Klimawandels relativ einfach möglich. Allerdings besteht das Problem, dass die Modelle sich auf eingespeiste, geschätzte Daten beziehen und daher Annahmen über deren zukünftige Entwicklung die Ergebnisse stark beeinflussen. Bei der Untersuchung der betrachteten Zeiträume fällt auf, dass im Gegensatz zu den meisten anderen Sektoren im Energiebereich einige Studien lediglich den Zeitraum bis 2030 oder sogar nur bis 2020 betrachten. Allerdings ist ein Drittel der Studien auf den Zeitraum bis 2100 ausgerichtet.

Mehrere untersuchte Studien verwenden die IPCC-Emissionsszenarien A2 und B2, teilweise auch B1. Die verwendeten Klimamodelle variieren sehr stark. Es kommen sowohl ECHAM4, HadCM3 und HadCM2, DOE PCM sowie CGCM2 zum Einsatz. Diese werden mittels weiterer Modelle regionalisiert.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Das Handlungsfeld Energie ist, auch aufgrund seiner großen wirtschaftlichen Bedeutung, vergleichsweise gut abgedeckt. Die Datenlage und vor allem die vorhandene Methodik sind auf diesem Gebiet wesentlich besser gefestigt als in anderen Handlungsfeldern. Ebenfalls stellt die Monetarisierung keine große methodische Herausforderung dar. Unsicherheiten bestehen bei der Entwicklung der Energiepreise, auch vor dem Hintergrund der Endlichkeit der fossilen Energieträger und der anstehenden, weitreichenden Veränderungen in der Energieversorgung. Die Unsicherheiten im Rahmen der Klimamodellierung betreffen weniger die Temperaturveränderungen, sondern eher die Gefahr von Extremwetterereignissen, die Verlagerung von Niederschlägen und Trockenperioden, die kleinteiliger und schwieriger

vorherzusagen sind. So gehen etwa Ecoplan von einer sehr großen Bandbreite für die Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserkraftwerke aus: demnach kann die Minderproduktion bis 2050 zwischen 4 und 24 % liegen.

Die bisher vorliegenden Studien beschränken sich jedoch meist auf die Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor selbst (Erzeugung und Nachfrage) und nicht auf die weiteren Wirkungskanäle einer unsicheren Energieversorgung auf Wirtschaft und Gesellschaft.

Insgesamt sollten die möglichen Schäden des Klimawandels als Problemfeld nicht überbewertet werden. Die technischen und sozioökonomischen Herausforderungen aufgrund des anstehenden Transformationsprozesses hin zu einem nachhaltigeren Energiesystem sind ungleich wichtiger und relevanter. Im Mittelpunkt sollten Synergien stehen, die sowohl dem Transformationsprozess als auch der Anpassung an den Klimawandel dienen, Darunter fällt z.B. ein weiterer Netzausbau, bei welchem auf eine angepasste Bauweise bzw. Streckenführung zu achten ist.

### 3.9.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

#### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Ein Drittel der betrachteten Studien sind sektorübergreifende Studien der EU, aus Deutschland oder anderen Staaten der EU. Unter den sektoralen Studien finden sich deutlich mehr amerikanische Studien als in anderen Handlungsfeldern, was darauf hin deutet, dass dort im Vergleich zu Europa eine größere Betroffenheit vorhanden ist bzw. der Problematik größere Bedeutung beigemessen wird.

Für das Handlungsfeld Energie werden verschiedene Anpassungsmaßnahmen angegeben. Dazu zählen unter anderem veränderte Bestimmungen für das Einleiten von Kühlwasser in Flüsse. Van Ierland et al. (2007) vergleichen den Nutzen dieser Maßnahme mit den Kosten für eine ausbleibende Stromversorgung privater Haushalte und der Industrie. Bei dieser Maßnahme muss allerdings mit starken ökologischen Auswirkungen auf die Gewässer und eventuell mit höheren Aufwendungen für die Trinkwasserversorgung gerechnet werden. Eine weitere Anpassungsmaßnahme stellt die Einrichtungen von Kühltürmen zur Abkühlung von Kühlwasser, von Trockenkühlung oder die Verwendung der Wärme in nahen Industriestandorten dar (vgl. Van Ierland et al. 2007, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt 2008, Jochem 2008). Um die Versorgung mit ausreichendem Kühlwasser zu ermöglichen, werden bereits Kraftwerke mit Notwasseranschlüssen versehen. Für Trockenheitsperioden kann Kühlwasser in Ausgleichseen vorgehalten werden, so dass bei nicht ausreichendem Flusswasser darauf zurückgegriffen werden kann (vgl. Dunkelberg u. a. 2009).

Ein zweiter Maßnahmenkomplex sind Maßnahmen zur Minderung der Energienachfrage, die damit gleichsam die Vulnerabilität gegenüber einer unsichereren Energieversorgung verringern. Dabei nennt De Groot (2006) z.B. die Weiterentwicklung von Gebäudekonzepten und Einflüsse auf die Stadtplanung, so dass weniger Energie für Kühlen und Heizen aufgewendete Energie eingesetzt werden muss (vgl. auch Bettgenhäuser et al. 2011, Bettgenhäuser & Boermans 2011). Bei dieser Maßnahme kann der Energieverbrauch von angepassten Häusern und konventionellen Häusern verglichen und mit Marktpreisen bewertet werden. Darüber hinaus ist ein Vergleich mit den Lebenszykluskosten für klassische Kühlsysteme möglich. Zur Reduktion der Energienachfrage zählt ebenfalls das

Nutzen von energiesparenden technischen Geräten, z.B. Energiesparlampen, oder Kampagnen zur Erhöhung der Sensibilität der Energienutzung bei der Bevölkerung und der Industrie (z.B. De Groot 2006; Wilbanks et al. 2008, Bettgenhäuser et al. 2011, Oehme et al. 2009). Der Nutzen kann nach Van Ierland et al. (2007) ebenfalls über vermiedene Ausfälle der Energieversorgung berechnet werden. Für diese Gruppe von Maßnahmen bestehen offensichtlich starke Synergien mit dem Klimaschutz. Die Abgrenzung von Maßnahmen zur Vermeidung gegenüber der Anpassung ist hier allerdings nicht möglich.

Eine weitere Gruppe von Anpassungsmaßnahmen betrifft die Stabilisierung der Energieerzeugung durch Diversifizierung und die Investition in Energieerzeugungsarten, die kein Kühlwasser benötigen. Als erstes wird dabei die stärkere Nutzung von erneuerbaren Energien genannt. Dabei können positive Auswirkungen auf die Nutzung von erneuerbaren Energien, z.B. mehr Sonnenstunden, stärkere Winde etc., Ausfälle in thermischen Kraftwerken z.T. kompensieren. Dafür kann allerdings an manchen Standorten eine technische Anpassung von Windkraftanlagen an höhere Windgeschwindigkeiten notwendig sein, welche in regelmäßige Repoweringaktivitäten einbezogen werden können. Dem Ausbau der erneuerbaren Energien müssen als Kosten Investitions- und Betriebskosten angerechnet werden. Durch die gleichzeitige Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen können die Preise für entsprechende CO<sub>2</sub>-Emissionen gegengerechnet werden. In dem Zusammenhang sind ebenfalls Investitionen für den Netzausbau vorzusehen, die Kosten werden primär als Mitigationskosten verstanden, aber ein weiterer Ausbau der erneuerbarer Energie zeigt auch aus Anpassungsgesichtspunkten positive Aspekte.

Weiterhin notwendig zur Stabilisierung der Energieversorgung sind technische Lösungen, die zu einer erhöhten Stabilität von Hochspannungsleitungen gegen Extremwetterereignisse beitragen. Watkiss et al. (2006) empfehlen hierfür ein verbessertes Vegetationsmanagement zum Schutz vor Sturmschäden am Stromnetz. Ebenfalls kann die Netzüberlastung im Fall von starken Stürmen durch ein kurzfristiges und schnellreagierendes Einspeisemanagement teilweise vermieden werden. Dabei mindern einzelne Energieerzeugungsanlagen bei der Gefahr von Netzüberlastungen ihre Leistung (vgl. Dunkelberg u. a. 2009). Maßnahmen zur Stabilisierung von Brennstofftransporten via Bahn oder Schiff werden im Handlungsfeld Verkehr angesprochen.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Weiterentwicklung von stadtplanerischen Konzepten und Gebäudekonzepten	Reduktion der Energienachfrage	Verhinderung von Schäden, Verminderung der Bedrohung
	Erhöhung der Temperaturgrenzwerte für rückgeleitetes Kühlwasser	Sicherung Energieproduktion	Hinnahme von Schäden
Subjektbezogene Maßnahme	Vermarktung, Information zu Optionen der Energieeinsparung	Reduktion der Energienachfrage	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern, Verminderung der Bedrohung

Objektbezogene Maßnahme	Ausbau der Nutzung von erneuerbarer Energie	Sicherung Energieproduktion, Senkung der Vulnerabilität durch Diversifizierung	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressource, Verminderung der Bedrohung
	Techn. Anpassung von Windkraftanlagen an stärkere Winde	Sicherung Energieproduktion	Verhinderung von Schäden
	Stabilisierung der Stromnetze	Sicherung Energieproduktion	Verhinderung von Schäden
	Einrichten von Kühltürmen	Sicherung Energieproduktion	Verhinderung von Schäden
	Bau von Gebäuden mit intelligenten Heiz- und Kühlkonzepten	Reduktion der Energienachfrage	Verhinderung von Schäden, Verminderung der Bedrohung

Die meisten Maßnahmen in diesem Bereich zeigen starke Überschneidungen mit der Reduktion von Treibhausgasemissionen. So tragen erneuerbare Energien und Energiesparen unmittelbar zur Emissionsminderung bei. Weitere Maßnahmen, wie Anpassung der Stromnetze, wie stabilere Masten, oder der Bau von Kühltürmen, stellen dagegen Regret-Maßnahmen dar, was durch die ohnehin bestehende Unsicherheit über die zukünftige Ausgestaltung der Energieversorgung noch verstärkt wird. Der Ausbau der Stromnetze ist ein Bestandteil des Umbaus zu einer nachhaltigen Energieversorgung. Dies ist keine Hauptmaßnahme der Anpassung an den Klimawandel, bietet aber auch Vorteile für diese und kann als No-regret\_Maßnahme gesehen werden. Die zeitliche Dimension der Maßnahmen ist sehr unterschiedlich, z.B. gehen manche Studien darauf ein, dass die Veränderung der Stadtplanung nur sehr langfristig erfolgen können (vgl. De Groot 2006). Neben Synergien mit der Reduktion von Treibhausgasemissionen zeigen sich auch positive Überschneidungen mit anderen Bereichen. Bei Veränderungen der Stadtplanung und Gebäudekonstruktion ergeben sich Synergien mit den Bereichen Raum-, Regional- und Bauleitplanung sowie Bauwesen. Des Weiteren können durch niedrigere Temperaturen in Gebäuden auch positive Effekte für die menschliche Gesundheit erreicht werden. Zudem sind die möglichen Dominoeffekte einer unsicheren Energieversorgung auf andere kritische Infrastrukturen (Verkehr, Kommunikation, Trinkwasserversorgung, Abwasserentsorgung) zu berücksichtigen. Einige Maßnahmen im Bereich Energie treten aber auch in Konkurrenz zu Maßnahmen in anderen Handlungsfeldern; so kann eine Einleitung von wärmerem Kühlwasser zu negativen Auswirkungen auf den Bereich biologische Vielfalt führen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anpassungsmaßnahmen und deren Investitionskosten im Bereich Energie vor allem von privaten Unternehmen getragen werden, welche die Kosten an die Haushalte weiterreichen.

### Methodik der Studien

Zur Quantifizierung der Anpassungsmaßnahmen werden reale Investitions- und Betriebskosten genutzt. Die Daten sind dabei aus dem Kraftwerksbau oder dem Errichten von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien bekannt. Ebenfalls kann der Preis für angepasste Häuser mit konventionellen Häusern und mit Ausgaben für Kühlsysteme

verglichen werden. Für den Nutzen der Maßnahmen werden vermiedene Schadenskosten in Höhe von Ausfällen der Energieversorgung auf Industrie und Haushalte genutzt. Die Berechnung der angegebenen Werte wird dabei allerdings nicht dargestellt. Ein Nutzen im Rahmen der erneuerbaren Energie ist auch über den Wert der eingesparten Zertifikate für CO<sub>2</sub>-Emissionen möglich (vgl. Van Ierland et al. 2007).

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Nur wenige der vorliegenden Studien nehmen bisher eine monetäre Bewertung der dargestellten Anpassungsmaßnahmen im Bereich Energie vor. Allerdings wäre eine monetäre Bewertung anhand des Marktpreises für Energie und dank der engen Verknüpfung mit wirtschaftlichen Aktivitäten relativ leicht möglich. So kann der Nutzen von vermiedenen Ausfällen der Energieversorgung z.B. anhand der entgangenen Einnahmen für die Energiewirtschaft sowie der entgangenen regionalen Wertschöpfung berechnet werden. Einschlägige Daten über die Energieversorgung liegen grundsätzlich vor. Die Einschätzung von Investitions- und Betriebskosten kann sich schon schwieriger darstellen, da dies z.T. auf vertrauliche Unternehmensdaten aufbaut. Die weiteren Wirkungskanäle einer unsicheren Energieversorgung sind deutlich schwerer zu quantifizieren, insbesondere die Auswirkungen auf die gesellschaftlichen Abläufe.

### 3.10 Handlungsfeld Finanzen/Versicherungen

Wie die vorangegangenen sektorbezogenen Fallstudien gezeigt haben, führt der Klimawandel insbesondere über die Zunahme von Extremwetterereignissen vermehrt zu erheblichen Schäden an öffentlichen und privaten Bauten, Infrastrukturen und landwirtschaftlicher Nutzfläche. Dieses Risiko kann bereits heute von privaten und risiko-aversen Akteuren gegen Zahlung einer risikogerechten Prämien an einen risiko-neutralen Versicherer transferiert werden (Dannenberg et al. 2009). Die Versicherungswirtschaft kann somit eine Rolle spielen, um die Eigenvorsorge der privaten Akteure zu stärken, die Lasten der öffentlichen Hand als „Versicherer letzter Instanz“ zu vermindern und gleichzeitig über das Pooling von Risiken die Verteilungswirkungen des Klimawandels zum Teil auszugleichen. Nach dem aktuellen Stand wird durch einen Risikotransfer auf privatwirtschaftlicher Ebene zwischen privaten Akteuren und Versicherern die Stärkung der Eigenverantwortung angestrebt. Die Versicherer sehen sich in der Lage, auch bei zunehmenden Klimarisiken einen umfassenden und bezahlbaren Versicherungsschutz gewährleisten zu können. Bis zur Mitte des Jahrhunderts werden die Grenzen der Versicherbarkeit nach heutigem Kenntnisstand nicht überschritten. Dafür muss jedoch die öffentliche Hand klare Signale setzen, dass der Staat im Katastrophenfall *nicht* als Helfer einspringt. Diese Strategie wurde auch nach dem Hochwasserereignis im August 2010 in Sachsen kommuniziert: in einer Regierungserklärung weist der sächsische Ministerpräsident auf die zentrale Rolle der Eigenverantwortung und die Möglichkeiten des Versicherungsschutzes hin. Das staatliche Hilfspaket umfasste daher auch keine direkten Hilfszahlungen, sondern lediglich zinsverbilligte Darlehen.<sup>8</sup>

Noch nicht klar ist, ob diese Strategie auch nach 2050 bei einem verstärkten Eintreten von Klimaereignissen haltbar ist. Insbesondere beim Auftreten extremer Ereignisse, die im gesamten Bundesgebiet zu Auswirkungen führen und die Systemstabilität gefährden, erscheint es möglich, dass die bestehenden Versicherungslösungen nicht mehr oder nur begrenzt greifen und der Staat eine verstärkte Rolle spielen müssen.

Bei der Ausgestaltung der Anpassungsmaßnahmen im Bereich Finanzen/Versicherungen ist eine enge Abstimmung mit anderen Handlungsbereichen notwendig, da z.B. raumplanerische Instrumente oder ordnungsrechtliche Vorgaben (z.B. neue Baustandards) und neue Versicherungslösungen sinnvoll ineinander greifen könnten.

#### 3.10.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

##### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Die Bedeutung des Klimawandels für die Versicherungswirtschaft lässt sich anhand der Entwicklung der versicherten Schäden illustrieren. Die folgende Abbildung der globalen versicherten Schäden aus Naturkatastrophen zeigt einen klaren Trend nach oben, wobei allerdings neben dem Klimawandel auch andere Faktoren, v.a. die Zunahme der

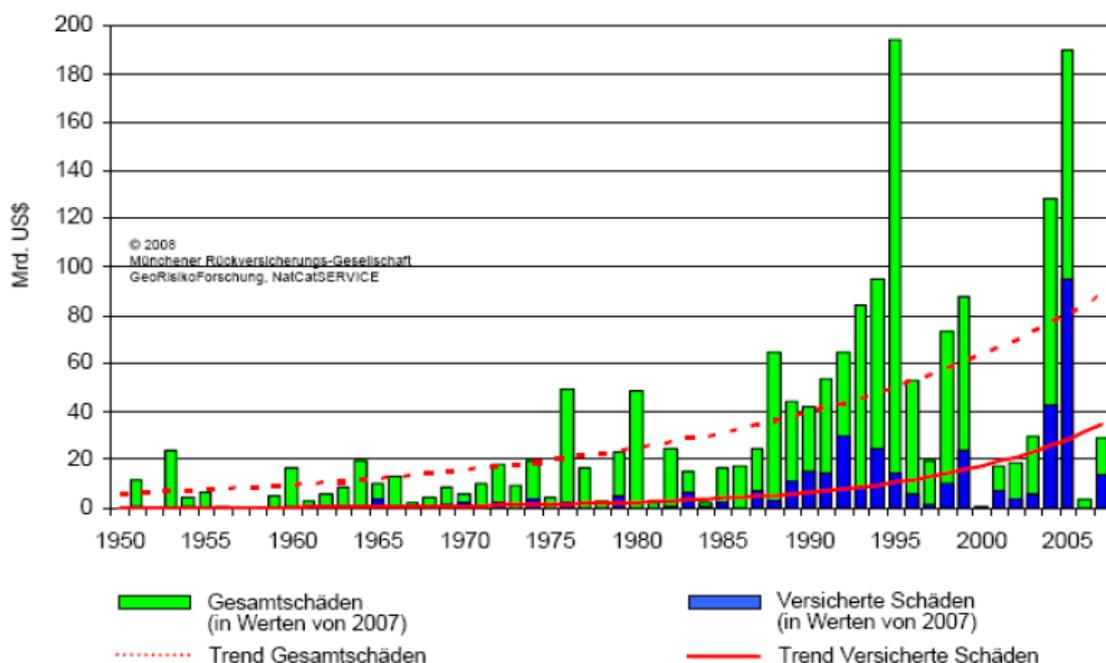
---

<sup>8</sup> Siehe Regierungserklärung des sächsischen Ministerpräsidenten Stanislaw Tillich zum Augusthochwasser 2010, Sächsischer Landtag, 1. September 2010  
<http://www.medienservice.sachsen.de/medien/news/158083>

versicherten Werte, für diese Entwicklung verantwortlich sind. Schmidt et al. (2009) zeigen jedoch auf, dass selbst unter Berücksichtigung von anderen Effekten wie Bevölkerungswachstum, Inflation, Wohlstandzunahme und Siedlungsentwicklung eine signifikante positive Korrelation zwischen Naturgefahren und globaler Temperatur zu verzeichnen ist.

Bei der Interpretation dieser Schadensentwicklung sind die unterschiedlichen Versicherungsdichten zu beachten. Vielen Akteuren ist nicht bewusst, dass z.B. Hochwasserereignisse nicht in der gängigen Hausratsversicherung enthalten sind und eine zusätzliche Elementarschadensversicherung notwendig ist. Das gleiche gilt im Bereich der Landwirtschaft, wo die „klassische“ Ernteausfallversicherung nur Hagelschäden umfasst, mit einer Mehrschadensversicherung jedoch zusätzliche Risiken abgedeckt werden können. Aktuell werden diese neuen Versicherungslösungen jedoch noch wenig genutzt: während die Versicherungsdichte bei Sturm und Hagel in Deutschland bei Privaten 75-80% beträgt, liegt sie bei Überschwemmungen dagegen unter 10% (Munich Re 2007). Seit den Hochwasserereignissen im Jahr 2002 hat die Versicherungsdichte bei den Elementarschadensversicherungen jedoch deutlich zugenommen.

Absolut ist die Versicherungsdichte jedoch weiterhin gering, so dass die beiden Trendkurven der Gesamtschäden und der versicherten Schäden auch für Deutschland deutlich voneinander abweichen.



Quelle: Münchner Rück Datenbank der Naturkatastrophen, NatCatSERVICE; Munich Re 2008.

**Abbildung 2: Naturkatastrophen 1950-2007, Globale Gesamt- und versicherte Schäden (Quelle: Münchner Rück Datenbank der Naturkatastrophen, NatCatService; Munich Re 2008).**

Den Versicherern ist diese Trendentwicklung bekannt und sie setzen sich aktuell in Zusammenarbeit mit der Wissenschaft damit auseinander, die Klimarisiken in ihre Risikomodelle zu integrieren. Nach Ansicht des Gesamtverbands der Deutschen Versicherer ist bis mindestens zur Mitte des Jahrhunderts die Versicherbarkeit zu gewährleisten. Unter

Einbezug neuer Akteure, wie z.B. der Auslagerung von Risiken auf den Finanzmarkt, wird es auch möglich sein, dass die Versicherungshöhen in einem finanzierbaren Bereich bleiben.<sup>9</sup>

Die Versicherer haben aktuell verschiedene Optionen, um die Höhe der Versicherungsprämien zu steuern. So sind eine Differenzierung in unterschiedliche Gefahrenzonen, die Anpassung von Selbstbehalten oder auch Vorgaben zur Baustruktur (z.B. keine technischen Geräte in Kellerräumen) möglich. Durch diese Möglichkeiten kann vermieden werden, dass es zu einer adversen Selektion kommt, bei der sich eine Versicherung nur noch für Akteure in gefährdeten Regionen lohnen würde. Über die Differenzierung nach Gefahrenzonen sowie die Nutzung von Selbstbehalten wird zudem das Problem des moral hazard reduziert.

Diese starke Bedeutung der Eigenvorsorge und der Prävention ist jedoch nur langfristig durchsetzbar, wenn die öffentliche Hand die richtigen Signale und Rahmenbedingungen setzt. Es muss klar sein, dass dieser Risikotransfer auch im Katastrophenfall Vorrang hat und der Staat nicht über direkte Hilfszahlungen falsche Signale setzt (vgl. Welp et al. 2010).

Zudem kann die öffentliche Hand über die Raumplanung dazu beitragen, dass das Risikopotential reduziert wird, damit diese Strategie der gestärkten Eigenvorsorge auch über 2050 hinaus Bestand haben wird. Insbesondere bei extremen Klimaereignissen mit Auswirkungen auf die Systemstabilität ist zudem sicherzustellen, dass der Staat die notwendigen Vorkehrungen für den Katastrophen- und Bevölkerungsschutz trifft. Dass in einem solchen Extremszenario die Versicherer an die Grenzen ihrer finanziellen Belastbarkeit geraten erscheint grundsätzlich möglich und sollte bei der weiteren Kooperation zwischen der Versicherungswirtschaft und der öffentlichen Hand berücksichtigt werden.

### Methodik der Studien

Derzeit liegen keine Studien vor, die global oder für Deutschland Aussagen zur Entwicklung der versicherten Schäden machen. Eine einfache Trend-Fortschreibung wurde im Rahmen der Studie „Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen“ (Ecologic/INFRAS 2009) diskutiert, dann aber nach Gesprächen mit der Versicherungswirtschaft aufgrund der verschiedenen Unsicherheits-Ebenen als nicht zielführend erachtet.

Die großen Versicherer und Rückversicherer arbeiten seit längerem daran, zukünftige Klimaentwicklungen in ihre Risikomodelle zu integrieren.

## 3.10.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

#### Einordnung nach Typen von Studien

Für den Handlungsbereich Finanzen/Versicherungswirtschaft sind einige global orientierte Studien vorhanden, die insbesondere die Rolle der Versicherer in Entwicklungsländern

---

<sup>9</sup> GDV, persönliche Kommunikation.

diskutieren (z.B. Warner et al. 2009). Spezifische Informationen für Deutschland sind in mehreren Typen von Studien/Analysen zu finden:

- Analysen der Versicherungswirtschaft: Die Versicherungswirtschaft arbeitet an der Integration der Klimarisiken in ihren Risikomodellen. Konkrete Zahlen liegen dazu bisher nicht vor.
- Studien der Finanzwirtschaft: Analysen zu neuen Finanzmarkt-Produkten, mit denen Versicherungsgesellschaften bzw. Rückversicherer ein Teil ihres Risikos auf den Kapitalmarkt auslagern können (siehe Übersicht in Deutsche Bank Research 2007).
- Sektorspezifische Studien, welche die Rolle von Versicherungslösungen diskutieren (z.B. Erdmann et al. 2008 für die Holzwirtschaft).
- Akademische Studien: Analyse neuer Versicherungsprodukte und Rollenteilung zwischen Staat und Versicherungswirtschaft, z.B. Einführung Elementarschadensversicherungs-Pflicht (z.B. Schwarze und Wagner 2003, Raschky et al. 2008, Ward et al. 2008). Teilweise mit Bezug zu historischen Schadensereignissen wie Hurrikane Katrina (Kunreuther und Pauly 2006).

### **Typisierung der Anpassungsmaßnahmen im Bereich Finanzen/Versicherungen**

Im Bereich der Versicherungswirtschaft ist eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen möglich, die aus rein betriebswirtschaftlichen Gründen auf Seite der Versicherer ergriffen werden und somit im Bereich der privaten Verantwortung liegen. Von besonderer Bedeutung sind jedoch Anpassungsmaßnahmen, welche auch weiterhin die Versicherbarkeit sicherstellen und verhindern, dass nicht versicherbare Risiken vollständig auf die öffentliche Hand zurück fallen. Die meisten Maßnahmen in diesem Bereich erfordern eine enge Kooperation von Versicherungswirtschaft und öffentlicher Hand.

Damit die Entwicklung hin zu einer verstärkten Eigenverantwortung geschafft werden kann, sind die entsprechenden Rahmenbedingungen von Seiten des Staates zu setzen. Eine Kooperation zwischen Staat und Versicherungswirtschaft bietet verschiedene win-win Situationen, mit denen der Staat seine Verantwortung begrenzen kann und die Rolle der Versicherungswirtschaft gestärkt wird. Mögliche Lösungen, die in diesem Zusammenhang diskutiert werden sind z.B. eine Versicherungspflicht für Elementarschäden, wie sie in anderen Bereichen (z.B. Gesundheitssystem) bereits existiert, oder auch eine klare Definition der staatlichen Aufgaben zur Prävention von Schäden (z.B. Hochwasserwarnungen, raumplanerische Vorgaben). Mit einer Versicherungspflicht kann dem Risiko der adversen Selektion begegnet werden, wenn ein Kontrahierungszwang besteht (Schwarze und Wagner 2003, Raschky et al. 2008, DIW 2008). In anderen Ländern werden solche Pflichtversicherungen teilweise bereits angewendet. Der Exkurs am Ende dieses Kapitels gibt eine Übersicht über die aktuellen Versicherungssituation in den wichtigsten europäischen Ländern.

Da vermieden werden soll, dass von Seite der öffentlichen Hand falsche Anreize für eine verstärkte Eigenvorsorge gesetzt werden (moral hazard), bleibt zu diskutieren, welche finanziellen Anreize zu einer erhöhten Versicherungsdichte führen könnten. So könnte z.B. ein reduzierter Steuersatz auf die entsprechenden Versicherungen gewährt werden.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme Schnittstelle Versicherungswirtschaft, öffentliche Hand	Bereitstellung neuer Versicherungsprodukte, bzw. Integration zusätzlicher Risiken (z.B. Mehrschadensversicherung in der Landwirtschaft)	Wirtschaftliches Risiko für einzelne Akteure reduzieren	Verteilung von Schäden
	Kontrahierungszwang für Objekte, welche bestimmte Baustandards erfüllen (z.B. Lösung in Florida mit Link an „Florida Building Code“ (Ward et al. 2008).	Vermeidung des moral hazard	Verteilung von Schäden
	Kooperationslösung Staat und Versicherungswirtschaft mit Definition der Rolle der öffentlichen Hand als Versicherer letzter Instanz (z.B. in UK).	Versicherbarkeit möglichst breit sichern, nur Restrisiko für öffentliche Hand.	Verteilung von Schäden
Subjektbezogene Maßnahmen zum verbesserten Umgang mit Risiken in der Versicherungswirtschaft Schnittstelle Versicherungswirtschaft, private Kunden	Neue Finanzmarkt-Instrumente, um Risiken auf den Kapitalmarkt auszulagern: Cat-Bonds, Cat Risks Collateralized Debt Obligation, Sidecars, Industry Loss Warrants (Deutsche Bank 2007)	Anstieg von Versicherungsprämien vermeiden, bzw. Versicherungsschutz sichern.	Verhinderung von Schäden
	Differenzierung der Versicherungsprämien und Selbstbehalte nach Gefahrenpotenzial	Finanzieller Anreiz zur Eigenvorsorge bzw. vermeiden, dass neue Werte in gefährdeten Gebieten entstehen.	Verteilen von Schäden
Subjektbezogene Maßnahme Schnittstelle Versicherungswirtschaft, öffentliche Hand	Stärkung der Rolle der Versicherungswirtschaft als Informationsquelle/ Sensibilisierer, Nutzung bestehender Informationen aus Risikomodellen (z.B. Hochwasserkarten)	Anteil versicherter Schäden erhöhen, falls keine Versicherungspflicht eingeführt wird.	Informieren, sensibilisieren, Verhaltensänderung fördern.
	Reines Awareness-raising, z.B. über Marketing für neue Versicherungslösungen (z.B. Werbekampagne in Bayern „Voraus denken – Elementar versichern“)	s.o.	Informieren, sensibilisieren, Verhaltensänderung fördern.

Bis jetzt liegen keine Studien vor, welche die Bedeutung der zunehmenden versicherten Schäden durch den Klimawandel auf die Versicherungsprämien untersuchen. Falls keine der oben beschriebenen Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden, ist davon auszugehen, dass die Versicherungsprämien zukünftig steigen werden bzw. einzelne stark gefährdete Objekte nicht mehr versichert werden (Dannenberget al. 2009). Über eine Differenzierung der Prämien oder die Erhöhung von Selbstbehalten stehen den Versicherern hier weitere Optionen zur Verfügung, um eine adverse Selektion zu vermeiden. Zudem ist zu beachten, dass insbesondere bei Unternehmen ein hoher Anreiz zum Selbstschutz besteht, da ein

Schaden mit Unterbrechung der Produktion existenzbedrohend sein kann, selbst wenn der Schaden an sich versichert ist.

### **Zeitliche Dimension der Maßnahmen**

Die Anpassungsmaßnahmen in der Versicherungswirtschaft haben verschiedene zeitliche Umsetzungshorizonte. Alle Maßnahmen, die auf eine Stärkung der Eigenvorsorge abzielen sollen möglichst bald ergriffen werden, um zu vermeiden, dass weitere Werte in gefährdeten Gebieten kumuliert werden. Die Versicherungswirtschaft hat dies erkannt und bietet bereits heute neue Versicherungslösungen an und versucht die Versicherungsdichte in Kooperation mit staatlichen Akteuren zu erhöhen (z.B. Werbekampagne für Elementarschadensversicherung in Bayern). Andere Maßnahmen, insbesondere der Rückgriff auf neue Finanzmarktinstrumente, sind weniger zeitkritisch.

Da die meisten Studien einzelne Aspekte der Anpassung in der Versicherungswirtschaft betrachten, wurde die zeitliche Dimension bisher noch nicht integral betrachtet. Grundsätzlich erfolgt die Argumentation jedoch in Anlehnung an die Anpassungsmaßnahmen im Querschnittsbereich Raum- und Regionalplanung, die in diesem Themenbereich wichtige Instrumente in einem Maßnahmenmix in Richtung einer effizienten Anpassungsstrategie darstellen.

### **Flexibilität der Maßnahmen – Regret/no-regret**

Der Aspekt der Flexibilität der Maßnahmen wird in den bestehenden Studien bisher nicht betrachtet. Alle Maßnahmen, die auf eine auch ohne Klimawirkungen sinnvolle Erhöhung der Versicherungsdichte abzielen, sind als no-regret Maßnahme zu bewerten, da damit die private Eigenvorsorge gestärkt wird (z.B. im Bereich Landwirtschaft). Wenn jedoch neue Versicherungslösungen wegen den klimabedingten Faktoren nötig werden, dann handelt es sich um Regret-Maßnahmen.

### **Methodik der Studien und Bewertung**

Die Studien folgen keiner bestimmten Methodik. Die meisten Studien basieren auf einer Darstellung der Entwicklung der versicherten Schäden und diskutieren dann spezifische Lösungen, wie die Versicherungswirtschaft mit diesem Trend umgehen kann, z.B. auf die Einführung einer Elementarschadensversicherungs-Pflicht. Eine Priorisierung und quantitative Bewertung der verschiedenen Maßnahmen wurde bisher noch nicht durchgeführt. Dazu wäre in einem ersten Schritt eine Einschätzung der Versicherungswirtschaft zur Entwicklung der klimabedingten Versicherungsschäden notwendig.

### **Exkurs: Versicherungslösungen in anderen Ländern**

Die Einführung einer Versicherungspflicht für Elementarschäden ist eine häufige diskutierte Möglichkeit, um das Versicherungsrisiko breiter zu streuen und um den Rückfall von nicht-versicherten Schäden auf die öffentliche Hand zu vermeiden. In anderen Ländern werden solche Pflichtversicherungen teilweise bereits angewendet. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die aktuellen Versicherungssituation in den wichtigsten europäischen Ländern.

Land	Art der Versicherungslösung	Rolle der öffentl. Hand	Restrisiko bei Privaten
<b>Schweiz</b>	Versicherungspflicht Elementarschäden	Duales System aus privaten und staatlichen Versicherern mit Monopolcharakter.	100% Versicherungsdichte. Selbstbehalt in Höhe von 10% der Schäden
<b>Frankreich</b>	Versicherungspflicht Naturgefahren, gekoppelt mit Hausrat- bzw. Kfz-Versicherungen (in Form eines Aufschlags von 12%).	Rückversicherung wird durch staatlichen Rückversicherer, mit unlimitierter Staatsgarantie	Fast 100% Versicherungsdichte Sehr geringer Selbstbehalt bei Schäden
<b>Niederlande</b>	Überschwemmungen (außer Schäden an Autos) sind von Versicherungslösungen ausgeschlossen. Überschwemmungsschäden (außer bei Sturmfluten) werden aus einem Katastrophenfonds finanziert.	Öffentliche Hand trägt hohes Risiko für Finanzierung	Restrisiko liegt bei Privaten, falls die Mittel aus dem Fonds nicht ausreichen.
<b>United Kingdom</b>	Überschwemmungsrisiken sind privat versicherbar. Sind meist in Hausratsversicherung eingebunden, die wiederum bei der Aufnahme einer Hypothek (im Zusammenhang mit Kreditvergabe) vorausgesetzt wird.	Bis 2004: Kooperationslösung zwischen privaten Versicherern und öffentlicher Hand. Versicherungen mussten zu vertretbarem Preis anbieten, Restrisiko wurde von der öffentlichen Hand getragen. Heutige Lösung hat hohes Risiko für öffentliche Hand.	75% der Gebäude sind versichert. Nicht versicherte Werte liegen eher in niedrigen Einkommensschichten, die sich Versicherung nicht leisten können.
<b>Spanien</b>	Versicherungspflicht gegen Naturgefahren Prämien werden von privaten Versicherungen erhoben, fließen dann aber in staatliche Monopolversicherung.	Staat trägt die Monopolversicherung Consorcio de Compensacion de Seguros, die über eine unlimitierte Staatsgarantie verfügt.	Sehr gering, Versicherungsdichte sehr hoch
<b>Österreich</b>	Versicherung gegen Naturgefahren ist rein privat Spezielle Risiken müssen zusätzlich abgesichert werden (Überschwemmungen, Lawinen, Erdbeben, etc.)	Seit 1986 gibt es einen Katastrophenfond.	Geringe Versicherungsdichte unter 15% bei Zusatzgefahren Zahlungen aus Katastrophenfond decken nur 50% der Schäden, falls Antragssteller nicht bereits privat versichert ist.

Quellen: Botzen und van den Bergh (2008), Schwarze (2010).

## 3.1 | Handlungsfeld Verkehr

Effiziente und zuverlässige Verkehrsinfrastrukturen und Transportdienstleistungen gehören zum Rückgrat einer Volkswirtschaft, ermöglichen wichtige gesellschaftliche Funktionen und dienen dem Zusammenhalt der Regionen. Sie sind ein Teil des Bereichs der kritischen Infrastrukturen (KRITIS).<sup>10</sup> Die deutsche Wirtschaft hat in den letzten Jahrzehnten eine stark spezialisierte und arbeitsteilige Struktur entwickelt, die von einem schnellen und qualitativ hochwertigen Gütertransportsystem abhängt. Beispielsweise die „just-in-time“ Produktion in wichtigen Wirtschaftssektoren wie der Automobilindustrie ist nur möglich, wenn der Transport reibungslos funktioniert. Weiterer Transportbedarf entsteht durch die starke Exportorientierung der deutschen Wirtschaft. Auch der Bereich des Personenverkehrs hat Auswirkungen auf das Wachstumspotenzial der deutschen Volkswirtschaft. Berufspendler müssen zuverlässig zur Arbeit kommen; die Erreichbarkeit für Kunden, Zulieferer und potenzielle Arbeitskräfte stellt einen wichtigen Aspekt der Standortattraktivität dar. Der Personenverkehr ist aber auch wichtig für den sozialen Zusammenhalt der Gesellschaft und für die Freizeitgestaltung.

### 3.1.1 | Angaben zu Schäden und Schadenskosten

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Der Klimawandel wirkt sich über zahlreiche Wirkungskanäle auf den Bereich Verkehr aus, und zwar gleichermaßen auf die Verkehrsträger Straße, Schiene, Wasser und Luft. Besonders relevant sind dabei die klimabedingte Zunahme von Extremwetterereignissen, Überschwemmungen, Starkniederschlägen, Hitzeperioden und in Küstennähe der Meeresspiegelanstieg. In einem Gutachten für das BMF (Ecologic/INFRAS 2009) sowie in einer Übersicht der Vulnerabilitäten und Anpassungsstrategien (Zebisch et al. 2005) sind die wichtigsten Wirkungskanäle schematisch dargestellt. Zusätzlich liegen einige Spezifizierungen vor, die aus aktuellen Analysen der zentralen Akteure in Deutschland hervorgehen (vgl. BAST 2010, Dogs 2010, KLIWAS 2009). Unter Berücksichtigung dieser neuen Erkenntnisse stellen sich die wichtigsten Wirkungskanäle wie folgt dar:

- **Verfügbarkeit/Zuverlässigkeit von Verkehrssystemen:** Extreme Wetterereignisse wie Unwetter, Überschwemmungen und Starkniederschläge, aber auch große und lang anhaltende Hitze verschlechtern die Verfügbarkeit von Verkehrsinfrastrukturen. Im Bereich der Straßeninfrastruktur sind z.B. folgende Aspekte relevant: Beschädigungen durch Rutschungen bei Starkniederschlägen, Beschädigung der Entwässerungssysteme, Schäden an Brücken, Verformungen des Straßenbelags aufgrund hoher Temperaturschwankungen, etc. Ähnliche Probleme ergeben sich im Bereich der Schieneninfrastrukturen oder durch stärkere Variation des Wasserstands für die Binnenschifffahrt. Auch die Luftfahrt wird durch extreme Wetterereignisse behindert, v.a. bei Unwettern mit Starkniederschlägen.

---

<sup>10</sup> Siehe: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie), im Internet unter: <http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/544770/publicationFile/27031/kritis.pdf>

- **Erhöhung Investitions- und Betriebskosten:** all diese Aspekte sowie die Notwendigkeit einer verbesserten Information und Signalisation erhöhen die Investitions- und Betriebskosten, u.a. weil die Planungssicherheit abnimmt und so Abläufe teuer werden. In einigen Bereichen werden auch Anpassungen der Streckenführung notwendig, was sich ebenfalls auf die Kosten auswirkt.
- **Effizienzverlust:** Die Beeinträchtigung des Verkehrssystems wirkt sich negativ auf dessen Effizienz aus, mit der Folge von Arbeitszeitverlusten, geringerer Flexibilität und höheren Produktionskosten. Dazu trägt auch die erhöhte Bau- und Reparaturtätigkeit an Verkehrsinfrastrukturen mit entsprechenden Behinderungen bei.
- **Gefährdung der Verkehrssicherheit:** Starkniederschlägen mit Gefahr von Aquaplaning, Windbruch, verformte Straßenbeläge, der Ausfall von verkehrstechnischen Anlagen aber auch die Beeinträchtigung von Verkehrsteilnehmern bei extremer Hitze reduzieren die Verkehrssicherheit.

## Methodik der Studien

### Allgemeiner Überblick

Bisher liegt keine umfassende quantitative Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehrssektor vor. Basierend auf Ergebnissen aus anderen Ländern (z.B. Marcoeconomica Limited 2006), wurden aber in der BMF Studie (Ecologic/INFRAS 2009) einige quantitativen Aspekte hergeleitet. Die stärksten wirtschaftlichen Auswirkungen werden dabei über den Wirkungskanal der Extremwetterereignisse im Bereich Überschwemmungen hergeleitet, mit zusätzlichen Kosten für die Betreiber von 0,6 Mrd. Euro im Jahr 2050 und von 1,5 Mrd. Euro im Jahr 2100.

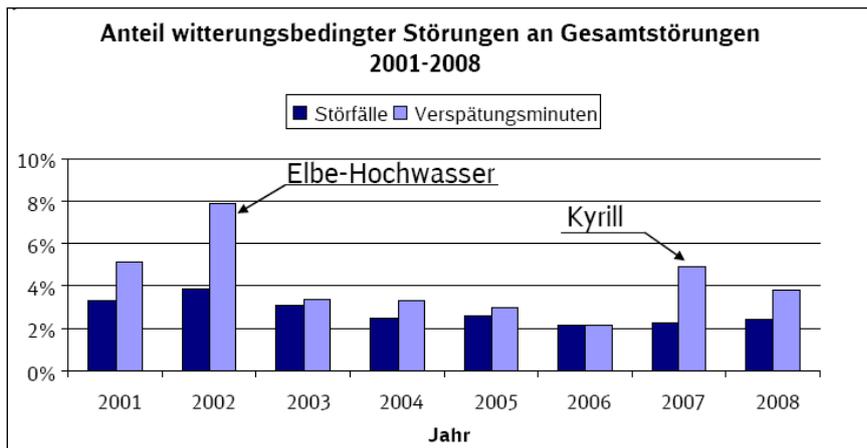
Aktuell haben verschiedene Akteure im Verkehrsbereich das Thema Anpassung an den Klimawandel aufgenommen und in einem ersten Schritt ihre Vulnerabilität erfasst. Hervorzuheben sind dabei die Arbeiten der Bundesanstalt für Straßenwesen mit dem „Positionspapier zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Straßeninfrastruktur in Deutschland“ (2010) und erste Arbeiten der Deutschen Bahn im Bereich Anpassung (Dogs 2010). Weitere Arbeiten liefen zu Beginn 2010 in der BMBF-Nachwuchsgruppe „Chamaeleon Research Project – Adapting Energy and Transport to Climate Change“ an, in der u.a. die Deutsche Bahn und Fraport beteiligt sind.<sup>11</sup>

Grundsätzlich arbeiten fast alle bestehenden Studien mit einer Bandbreite an IPCC-Szenarien, unter Berücksichtigung von A2 (pessimistisches Szenario), A1B und B1 (Interventions-Szenario). Die Herangehensweise erfolgte in den bestehenden Studien recht grob, in dem die Auswirkungen gesamthaft und nicht differenziert nach Klima-Szenarien dargestellt werden.

Methodisch lehnen sich die bestehenden Studien an Erkenntnisse aus zurückliegenden Wetterextremen an. Ähnlich wie die Studie für das BMF, knüpft auch die Vulnerabilitäts-Analyse der Deutschen Bahn an historische Daten an. In Bezug auf Störfälle und Verspätungsminuten ist dies in der folgenden Abbildung dargestellt.

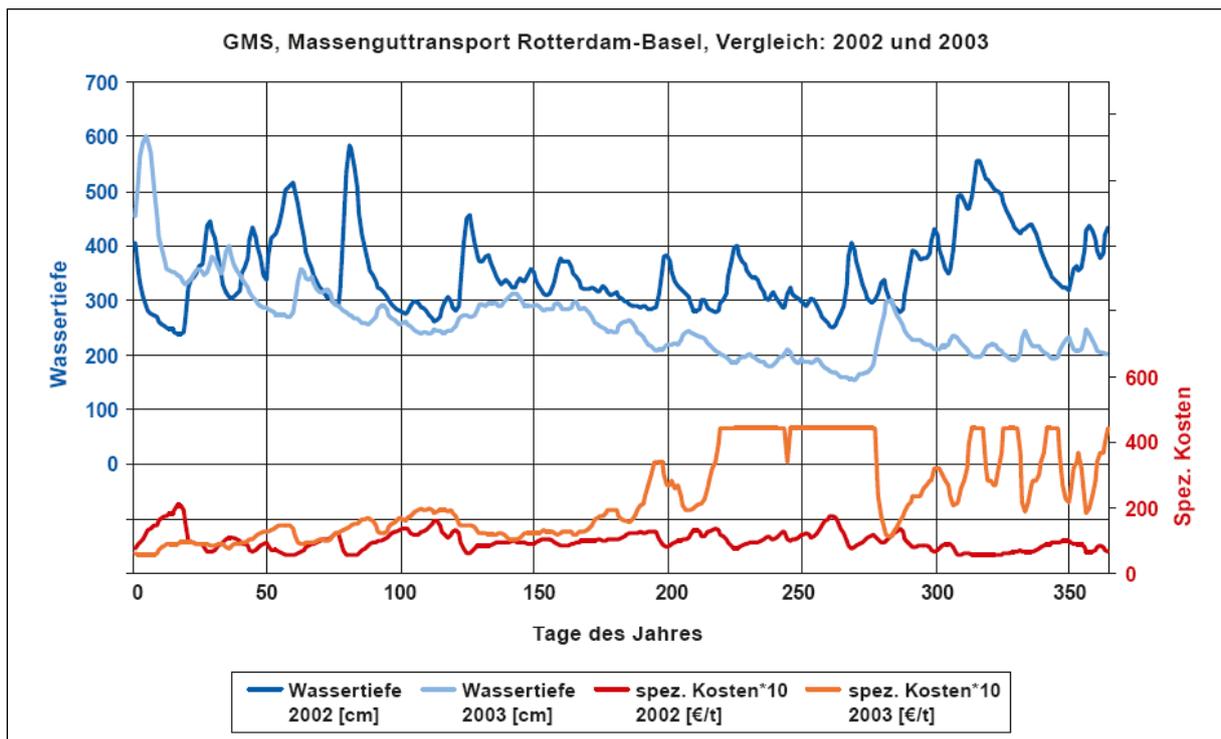
---

<sup>11</sup> <http://www.presse.uni-oldenburg.de/46006.html>, [www.chamaeleon-projekt.de](http://www.chamaeleon-projekt.de)



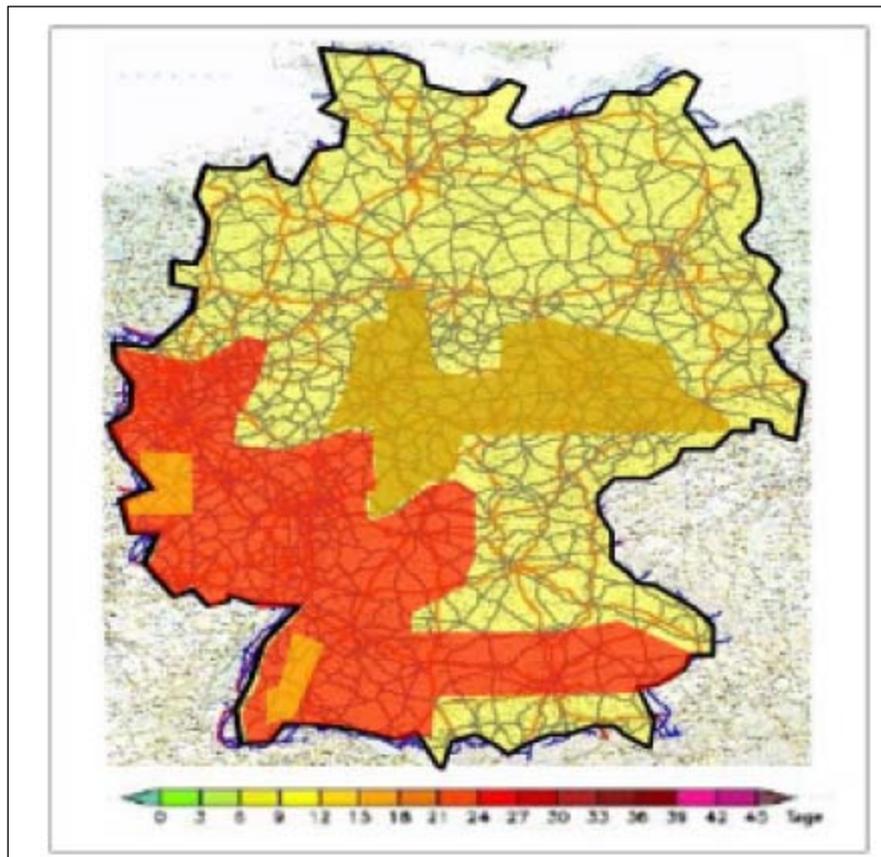
**Abbildung 3: Anteil witterungsbedingter Störungen an Gesamtstörungen 2001-2008 (Quelle: DB AG, Josefine Dogs 2009).**

Auch im Rahmen des Ressortforschungsprogramms des BMVBS KLIWAS (Klimawandel, Wasserstrassen, Schifffahrt) wird bei der Analyse wirtschaftlicher Aspekte des Klimawandels auf die Kosten historischer Ereignisse bzw. die heutige Einflussgrößen für die Kosten der Binnenschifffahrt zurück gegriffen. Bei der Binnenschifffahrt sind die Transportkosten insbesondere durch die Wassertiefe beeinflusst. Dies wirkt sich zum einen über den möglichen Tiefgang auf die maximale Zuladung des Schiffes und damit die Auslastung und zum anderen auch auf den Leistungsbedarf und die Geschwindigkeit und damit die Umlaufzeit und die Gesamtkosten bzw. die spezifischen Kosten des Schifftransportes aus.. Der Zusammenhang zwischen Wassertiefe und Transportkosten ist in der folgenden Abbildung exemplarisch für den Korridor Rotterdam-Basel dargestellt. Besonders auffällig ist der überproportional hohe Anstieg der Kosten während der extremen Niedrigwasserphasen des Jahres 2003 (vgl. Holtmann und Bialonski 2009).



### Weitere geplante Aktivitäten zur Spezifizierung der Schadenskosten

Die Bundesanstalt für Straßenwesen strebt eine Identifizierung besonderer Risiken im Bundesfernstraßennetz an, welche durch Überlagerung mit regionalisierten Klimadaten erfolgt. Diese werden durch einen geografischen Bezug referenziert, in Raster-Form codiert und mit bestimmten Straßen- und Bauwerksdaten verschnitten. Grob vereinfacht ist das für die Veränderung der jährlichen Anzahl der heißen Tage in Überschneidung mit dem Bundesfernstraßennetz in der folgenden Abbildung dargestellt:



**Abbildung 4: Überlagerung der Änderung der jährlichen Anzahl der heißen Tage in der Periode 2071 – 2100 gegenüber 1970-2000 mit dem Bundesfernstraßennetz (Quelle: BAST 2010).**

Im Bereich der Schieneninfrastruktur strebt das Projekt „Chamäleon“ eine detaillierte Betrachtung der Klimawirkungen an.<sup>12</sup> Auch das Projekt KLIWAS sieht nach der Fertigstellung der Arbeiten zu den physischen Auswirkungen des Klimawandels eine weitere wirtschaftliche Betrachtung vor (Mehling 2010). Bisher liegen aus diesen Projekten noch keine konkreten Ergebnisse zu den Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen vor. Im Projekt KLIWAS wird für die die Aspekte Schiffsbau und -betrieb sowie Logistik bis Mitte 2011 mit ersten Ergebnissen gerechnet.

---

<sup>12</sup> Persönlicher Kontakt mit Josefine Dogs (Deutsche Bahn) und Uta Maria Pfeiffer (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen), 31.5.2010.

## Bewertung

Bisher ist das Handlungsfeld Verkehr nur mit wenigen Studien und eher qualitativ abgedeckt. Die relevanten Akteure haben den Handlungsbedarf jedoch erkannt und zentrale Arbeiten zur Analyse der Klimawirkungen eingeleitet. Damit sollten die bestehenden Lücken im quantitativen Bereich geschlossen werden können. Da die Arbeiten von den Akteuren selbst initiiert wurden und somit direkt auf die relevanten Daten zurückgreifen können, ist davon auszugehen, dass die aus den Projekten generierten Angaben eine hohe Qualität haben werden.

### 3.1.1.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

#### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

##### Einordnung nach Typen von Studien

Die wenigen verfügbaren Quellen im Bereich Verkehr sind unterschiedlichen Typen zuzuordnen, relevant für die Kosten- und Nutzenanalyse sind insbesondere die Studien mit Ergebnissen für andere Länder mit Transfer-Potenzial sowie die Studien der relevanten privaten Akteure und Behörden.

- Studien aus anderen Ländern: Übersichtsstudie für UK mit einzelnen Angaben zu Schadenskosten (Horrocks et al. 2006), Studien für die Niederlande im Bereich des Routeplanner Programmes, insbesondere mit Fokus auf raumplanerische Aspekte, Studien aus den USA zu raumordnungsrelevanten Fragen und Design-Standards von Straßeninfrastrukturen (FHA 2008, Meyer 2009).
- Die oben genannten Aktivitäten der relevanten Akteure im Bereich Verkehr, die jedoch alle erst im Jahr 2011 erste Ergebnisse liefern werden.

#### Typisierung der Anpassungsmaßnahmen im Verkehrsbereich

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Berücksichtigung Klimawirkungen in der Raum- und Verkehrsplanung.	Vulnerabilität bei neuen Verkehrsinfrastrukturen reduzieren.	Vermindern der Bedrohung
	Verlagerung von Straßeninfrastrukturen aus besonders gefährdeten Gebieten; Anpassungen in der Linienführung im Schienenverkehr; Flussbauliche Optionen zur Sicherstellung der Funktion von Wasserstraßen (z.B. Fahrrinnenbreite). Verlagerung von Gütertransport der Schifffahrt bei Pegeltiefständen auf die Schiene	Vulnerabilität bei bestehenden Infrastrukturen reduzieren; Sicherung eines zuverlässigen und effizienten Verkehrssystems.	Verhinderung der Bedrohung, Änderung der Nutzung der betroffenen Ressourcen Änderung des Standorts
	Optimierung der Wartungsarbeiten zur Vermeidung von Schäden	Funktionsfähigkeit der heutigen Infrastrukturen sichern, über verstärkte Kontrolle.	Verhinderung von Schäden

Prozessbezogene Maßnahme	Logistische Anpassungen: Vorhaltung von Transportreserven in der Schifffahrt, damit bei Niedrigwasser mit geringem Gewicht und somit geringerer Tiefe der Transport gesichert werden kann.	Funktionsfähigkeit der heutigen Infrastruktur sichern, über kurzfristige Optimierung.	Änderung der Nutzung der betroffenen Ressourcen
	Anpassungen im Gütertransport:: Weg von der „Just-in-Time“ Produktion mit hoher Transportintensität, hin zur stärkeren Integration der Produktion an einem Ort.	Vulnerabilität insgesamt reduzieren, da Transportintensität reduziert wird.	Verminderung der Bedrohung
Subjektbezogene Maßnahme	Weiterentwicklung von Vorhersagesystemen zu den Auswirkungen des Klimawandels	Information und damit Eigenverantwortung stärken	Forschung, Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderung fördern
	Optimierung der Verkehrsinformationssysteme , damit Verkehrssicherheit auch bei Extremereignissen gewahrt werden kann.	Sicherung Verkehrssicherheit Sicherung Verkehrsfluss	Informieren, sensibilisieren, Verhaltensänderung fördern
	Frühwarnsysteme zur Verbesserung der Notfallplanung vor Extremereignissen, zur frühzeitigen Umleitung von Reisenden und Gütern und zur Planung der Beladung in der Binnenschifffahrt.	Sicherung der Zuverlässigkeit und Effizienz des Verkehrssystems	Informieren, sensibilisieren, Verhaltensänderung fördern
Objektbezogene Maßnahme	Technische Anpassungen Straße: Hitze: Verbesserte Straßenbeläge zur Vermeidung von Spurrinnenbildung und sonstigen Verformungen, neue Straßenbeläge zur Verringerung der Reflektion bei Hitze; Starkniederschläge und Hochwasser: Drainage- und Entwässerungssysteme, Schutzbauten zum Schutz gegen Hochwasser und Rutschungen, Bodenerosion: Schutz vor Folgen durch Bodenerosion	Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems auch bei Extremereignissen sicherstellen. Verkehrssicherheit garantieren.	Verhinderung von Schäden
	Technische Anpassungen Schiene: Hitzeresistente Schienen- systeme, Schutz vor Windschlag	Funktionsfähigkeit sichern. Verspätungen vermeiden. Sicherheit garantieren.	Verhinderung von Schäden
	Technische Anpassungen Schifffahrt: Leichtbau von Schiffen, innovative Schiffskörper, Continue-Betrieb;	Funktionsfähigkeit der Wasserstraßen als wichtiger Teil der Transportkette sichern.	Verhinderung von Schäden

## **Zeitliche Dimension der Maßnahmen**

Die Wirkungen des Klimawandels sind im Bereich Verkehr im Zeitablauf unterschiedlich relevant. Veränderungen der Temperaturen und des Niederschlags sind bereits heute zu spüren und werden in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Das Wettreg-Modell prognostiziert im Szenario A2 einen ungefähr linearen Verlauf des Temperaturanstiegs und der Niederschlagsmengen.<sup>13</sup> Für die Extremereignisse ist bisher zum zeitlichen Verlauf deutlicher weniger bekannt. Der Meeresspiegelanstieg wird dagegen eher langfristig (in einigen Jahrzehnten) spürbar.

Dieser zeitliche Aspekt sowie der sich daraus ergebende Handlungsbedarf sind in den bisherigen Studien nicht berücksichtigt. Hier ist weiterer Forschungsbedarf notwendig, um später eine Priorisierung der Maßnahmen entsprechend der zeitlichen Dimension zu ermöglichen.

## **Flexibilität der Maßnahmen – Regret/no-regret**

Der Klimawandel führt im Verkehrsbereich zu einer neuen Dimension von Wirkungen, die nicht oder nur wenig mit anderen Bestrebungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung in Verbindung gebracht werden können. Die Verwundbarkeit gegenüber Extremwetter-Ereignissen spielt zwar bereits heute eine wichtige Rolle bei der Bewirtschaftung der Verkehrsinfrastrukturen, der Klimawandel führt dabei aber zu einer völlig neuen Dimension.

Es wird zwar möglich sein, klimarelevante Anpassungen an Infrastrukturen in die turnusmäßigen Wartungsarbeiten zu integrieren, dies wird jedoch auch zu Mehrkosten bei der Wartung führen.

Daher ist der Großteil der Maßnahmen, insbesondere bei den subjekt- und objektbezogenen Maßnahmen, als „regret“ zu bezeichnen, die ohne den Klimawandel nicht notwendig wären (bzw. deren Kosten höher als die Nutzen sind). Entsprechend werden in den bestehenden Studien bisher auch keine Synergien und Wechselwirkungen betrachtet. Es kostet also mit einem Anstieg der Klimaauswirkungen zunehmend mehr, das heutige Funktionsniveau der Verkehrsinfrastrukturen und der Verkehrsdienstleistungen zu erhalten.

Ein „low-regret“ Potential könnte eventuell im Bereich der prozessbezogenen Maßnahmen realisiert werden, wenn Berücksichtigungen des Klimawandels zu insgesamt nachhaltigeren und stabileren Verkehrsinfrastrukturen und – systemen führen. Insbesondere die Erkenntnis, dass lange Transportwege und mehrstufige Produktionsketten die Anfälligkeit gegenüber Klimawirkungen erhöhen, könnte zu einem Umdenken führen. Eine Entwicklung weg von der mehrstufigen und räumlich getrennter Produktion hin zu integrierten Produktionsstrukturen würde sich insgesamt positiv auf die Nachhaltigkeit des Wirtschaftssystems auswirken und wäre entsprechend eine „no-regret“ Option.

---

<sup>13</sup> Temperaturanstieg (Anstieg Niederschläge im Winter) im Szenario A2 gegenüber 1961-1990: Periode 2011 bis 2040 + 0,8°C (+7%), Periode 2041-2070 + 1,6 °C (+ 15,3%), Periode 2071-2100 + 2,1 °C (+ 22,3%).

## Methodik der Studien und Bewertung

Alle bisher vorliegenden Studien sowie die geplanten Aktivitäten basieren auf einer einheitlichen Vorgehensweise. In einem ersten Schritt wird die Vulnerabilität des entsprechenden Elements des Verkehrssystems gegenüber dem Klimawandel betrachtet. In einem zweiten Schritt werden Anpassungsoptionen abgeleitet, die an den verschiedenen Wirkungskanälen der Vulnerabilitätsanalyse anknüpfen. Diese Anpassungsoptionen wurden bisher ausschließlich qualitativ dargestellt, meist in Form einer ersten Auslegeordnung.

Kosten-Nutzen Analysen und Priorisierungen für die Anpassungsmaßnahmen wurden bisher im Bereich Verkehr noch nicht durchgeführt. Aus den bestehenden Analysen für Deutschland und den Studien in anderen Ländern (insbes. UK) ergeben sich jedoch einige Anknüpfungspunkte für die Quantifizierung von Kosten und Nutzen in den weiteren Arbeiten:

- Kosten von technischen Maßnahmen: Für diesen Typ von Maßnahmen könnten mit Hilfe der beteiligten Akteure grobe Kosten pro Einheit geschätzt werden. Dabei könnte auf die Kosten früherer Optimierungen zurückgegriffen werden, z.B. „Flüsterasphalt“.
- Anpassungen im Linien- und Streckenverlauf, Anpassung Wassertiefe für die Binnenschifffahrt: Für diesen Bereich könnte auf die Kosten bisheriger Infrastrukturanpassungen bzw. –neubauten zurückgegriffen werden.
- Subjektbezogene Anpassungsmaßnahmen: Die Kosten besserer Informationssysteme, Notfallplanungen etc. sind wohl nur schwer zu kalkulieren, da sie auch sehr spezifisch sind je nach Extremereignis

Für die Quantifizierung der Nutzenseite kann auf die BMF-Studie zurückgegriffen werden (Ecologic/INFRAS 2009). Für die Anpassungsmaßnahmen ist zu prüfen, ob die dort ausgewiesenen Kosten des Klimawandels nur zum Teil oder vollständig vermieden werden können.

Einige der bisher kontaktierten Akteure haben aber ihre Bereitschaft geäußert, bei den weiteren Arbeiten des UBA ihr Know-how zur Verfügung zu stellen.

## 3.12 Handlungsfeld Industrie und Gewerbe

Das Handlungsfeld Industrie und Gewerbe umfasst Unternehmen in den Wirtschaftssektoren, die *nicht* wie Land- und Forstwirtschaft oder die Wasserversorger unmittelbar in ihren Kernaktivitäten von den Veränderungen des Klimas betroffen sind. Stattdessen wirkt sich der Klimawandel indirekt aus – über vor- oder nachgelagerte Wertschöpfungsstufen, bei der Verfügbarkeit von Ressourcen oder durch Veränderungen auf den Absatzmärkten. Infolgedessen gibt es auch mehr Möglichkeiten, durch Innovation negative Auswirkungen des Klimawandels zu umgehen oder Chancen zu nutzen, die der Klimawandel ebenfalls bietet (DAS 2008). Beispiele hierfür sind die Entwicklung und Herstellung von Technologien zum Klimaschutz (z.B. effizientere fossile Kraftwerke) oder zur effizienten Nutzung von Wasser (z.B. Wasserspararmaturen) im Falle klimabedingten Wassermangels. Beide Technologien spielen u.a. auch in den Handlungsfeldern Energie- und Wasserwirtschaft eine wichtige Rolle als Instrumente zur Anpassung an den Klimawandel. Im Handlungsfeld Industrie und Gewerbe wird aber nicht die Perspektive der Technologienachfrager, sondern der Technologieanbieter eingenommen – mit entsprechenden Chancen für den Absatz. Andererseits ist jedes Unternehmen ebenso wie private Eigenheimbesitzer von Unwettern betroffen, die Betriebsgebäude in Mitleidenschaft ziehen. Auch können Beschaffungs- und Absatzwege unterbrochen sein. Beide Aspekte werden auch in den Handlungsfeldern Bauwesen und Verkehr behandelt, allerdings wiederum aus der Perspektive der Hersteller von Gebäuden und der Bereitsteller von Verkehrslogistik, wogegen hier die Perspektive der jeweiligen industriellen und gewerblichen Nutzer eingenommen wird.

### 3.12.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

Insgesamt konnten 4 Quellen identifiziert und ausgewertet werden, die zu klimabedingten Schäden im Handlungsfeld Industrie und Gewerbe Aussagen machen. In allen Fällen handelt es sich um englischsprachige Studien, die sich mit den Auswirkungen des Klimawandels weltweit, in Europa oder in Großbritannien beschäftigen. Offensichtlich scheint also in Großbritannien eine besondere Sensibilisierung für das Thema zu existieren.

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Veränderungen der durchschnittlichen Klimaparameter stellen allenfalls für Unternehmen eine Herausforderung dar, die ihre Produkte oder Dienstleistungen im Freien erbringen. Gravierender sind demgegenüber die Wirkungen von Extremwetterereignissen wie Hochwasser und Stürmen, die durch Zerstörungen an Gebäuden und Anlagen zur Unterbrechung von Produktionsprozessen führen können. Letztere wurden von allen analysierten Studien genannt. Gleiches gilt für Schäden an der Infrastruktur, wodurch die Versorgung mit Strom oder Wasser sowie die Logistik für die Versorgung mit Rohstoffen und Vorprodukten sowie die Verteilung von Produkten und Dienstleistungen beeinträchtigt sein können. Von IPCC (2007a) wird besonders hervorgehoben, dass Hitzeperioden sich bei mangelnder Kühlung negativ auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Arbeitskräfte wie auch die Funktionsfähigkeit von Maschinen und Produkten auswirken können. Schließlich leidet, wie Firth und Colley (2006) hervorheben, bei einem Unternehmen, das wiederholt vom Klimawandel in Mitleidenschaft gezogen wird, die Reputation und damit an Finanz- und Aktienmärkten auch der Wert des Unternehmens.

Nur zwei Studien unternehmen den Versuch, die entstandenen Schäden zu quantifizieren. Stern (2006), der bei den Klimafolgen hauptsächlich auf Schäden an Gebäuden und Produktionsanlagen abhebt, nimmt die Versicherungssummen als Maßstab. Er geht davon aus, dass, wie bereits in der Auswertung zum Handlungsfeld Bauwesen dargestellt, ein Temperaturanstieg um 3°C die gegenwärtigen Schadenskosten in den USA etwa verdoppeln würde, womit sie etwa 0,13 Prozent des BIP betragen. In Europa, wo Stürme im Durchschnitt weniger stark sind, wäre bis zum Jahr 2080 mit Schäden in Höhe von etwa 0,1 Prozent des BIP zu rechnen. Von diesen Schadenssummen machen die Schäden an Produktionsgebäuden und -anlagen nur einen Teil aus, der von Stern nicht weiter spezifiziert wird.

Ackerman et al. (2006), die neben Produktionsanlagen auch auf Produktionsfaktoren abheben, analysieren im Detail die Kosten der Stromversorgung zum Zwecke der Klimatisierung. Ansonsten beziehen sich ihre Zahlen auf besondere Ereignisse wie Hurrikan Katrina oder die Baukosten für große Schutzmaßnahmen wie die Thames Barrier zum Schutz der Stadt London. Eine Hochrechnung auf die Gesamtheit an Schäden in einem bestimmten Zieljahr findet nicht statt. Schäden aus versagender Logistik oder ausbleibenden Rohstoffen werden ebenso wenig quantifiziert wie Unternehmenswerte oder die wirtschaftlichen Vorteile neuer Absatzmärkte.

### Methodik der Studien

Die Quantifizierung der Schäden erfolgt wie in den Handlungsfeldern Bauwesen und Wasserwirtschaft meistens anhand von Versicherungssummen vergangener Extremwetterereignisse. Relativ leicht lassen sich dabei im Zuge von Fallstudien die versicherten Schäden für bestimmte Extremwetterereignisse (z.B. Sturm Kyrill, Hurrikan Katrina) bestimmen. Unklar ist allerdings, wie aus diesen Zahlen die tatsächlichen Schadenssummen abgeleitet werden können, die vom Klimawandel verursacht werden. Eine Möglichkeit, Annahmen darüber zu bilden, in welchem Umfang sich die Häufigkeit schwerer Stürme und Hochwasser als Folge des Klimawandels verändern wird, besteht bisher nicht. Außerdem sind Versicherungssummen deswegen von begrenzter Aussagekraft, weil immer nur ein Teil der Schäden versichert ist und dieser Anteil darüber hinaus regional und über die Zeit gesehen stark variieren kann. Schließlich ist unklar, welcher Anteil der ermittelten Schäden letztlich der Industrie und dem Gewerbe zuzuordnen wäre.

Obwohl in den Studien, die Schäden quantifizieren, unterstellt wird, dass die Häufigkeit und/oder Intensität von Extremwetterereignissen klimabedingt in Zukunft zunehmen wird, ist nicht ersichtlich, woher diese Erkenntnisse stammen. Ackerman et al. (2008) nehmen Bezug auf IPCC (2007a), die aber nur Aussagen über geographische Großräume macht, wogegen Extremwetterereignisse bekanntermaßen kleinräumigen Charakter haben.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Im Vergleich zu den Handlungsfeldern Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz sowie Bauwesen, in denen Extremwetterereignisse ebenfalls als mögliche Ausprägungen des Klimawandels betrachtet werden, ist im Bereich von Industrie und Gewerbe nicht nur die Zahl der für die Auswertung verfügbaren Studien, sondern auch der betriebene methodische Aufwand geringer als im Handlungsfeld Bauwesen und erheblich geringer als im Handlungsfeld Wasserwirtschaft. Das mag darin begründet sein, dass die („gefühlte“) Betroffenheit bei Industrie und Gewerbe geringer ist als im Baugewerbe und in der Wasserwirtschaft und dass der Wasserwirtschaft darüber hinaus die Fürsorge für die

Bevölkerung obliegt, wogegen Industrie und Gewerbe privatwirtschaftlich organisiert sind und die entsprechenden Unternehmen in erster Linie wirtschaftliche Eigeninteressen verfolgen. Dadurch nehmen langfristige Entwicklungen wie der Klimawandel naturgemäß eine andere Stellung ein, mit entsprechenden (negativen) Folgen für die Höhe der für die Analyse bereitstehenden Ressourcen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass das Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ eine Vielzahl von Branchen umfasst und damit viel heterogener ist als andere Handlungsfelder, was die Suche nach spezifischen Daten sehr erschwert. Folglich werden die aus dem Klimawandel resultierenden Schäden für Industrie und Gewerbe zwar umfassend benannt, die Quantifizierung bleibt in allen Fällen aber völlig unzureichend, weil nicht alle Aspekte überhaupt quantifiziert werden können und in den verbleibenden Bereichen die Quantifizierung zu undifferenziert bleibt.

### 3.12.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

#### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Bei den Anpassungsmaßnahmen hebt das IPCC (2007a) in erster Linie auf die Gebäude von Industrie und Gewerbe ab, für die Anpassungsmaßnahmen ausführlich im Handlungsfeld Bauwesen diskutiert werden. Dabei werden graduelle Verbesserungen wie tiefere Fundamente zum Schutz gegen Abrutschen oder Verschattung oder Wärmedämmung als Schutz gegen Überhitzung der Innenräume ebenso genannt wie grundlegendere Maßnahmen wie bspw. eine veränderte Landnutzung. Umfassen diese Maßnahmen nachträglich anzubringende Einrichtungen (z.B. Verschattung oder Klimaanlage), so können sie kurzfristig ergriffen werden. Grundlegende Veränderungen sind hingegen nur anlässlich des Neubaus von Gebäuden möglich. Danach ergibt sich erst langfristig wieder ein Zeitfenster.

Stern (2006) betrachtet hinsichtlich der Betroffenheit von Industrie und Gewerbe nur die Schäden an Gebäuden und Anlagen. Die Anpassungsmaßnahmen entsprechen demgemäß den im Handlungsfeld Bauwesen genannten und umfassen vor allem die Versicherung der Schäden. Auch die dort genannten Kosten für die Anpassungsmaßnahmen werden für Industrie und Gewerbe nicht weiter aufgeschlüsselt.

Ackerman et al. (2006) schließlich schlüsseln schon die Anpassungsmaßnahmen nicht auf. Auch die Quantifizierung beschränkt sich auf einige globale Kostenzahlen und Fallbeispiele.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Anpassung an restriktive Regelungen (z.B. mittels Effizienztechnologien) und Nutzung guter Gelegenheiten (z.B. Verkauf von Klimazertifikaten)	Vermeidung der negativen Konsequenzen und Nutzung der Chancen einer Veränderung des regulatorischen Rahmens (Klimaschutz)	Verminderung der Bedrohung
	Implementierung von Klimaanpassungsfragen (Information, Monitoring, Strategiebildung) im Unternehmensmanagement	Vermeidung eines Reputationsverlustes (und ggf. eines schlechteren Ratings) wegen Nichterkennens des Anpassungsbedarfs	Verminderung der Bedrohung

Prozessbezogene Maßnahme	Implementierung von Suchprozessen zur Identifizierung (klimabedingt) neuer Produkte	Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit; Erschließung neuer Märkte	Nutzung von Chancen
Subjektbezogene Maßnahme	Information von Unternehmensleitungen und Mitarbeitern relevanter Abteilungen über Auswirkungen des Klimawandels und Maßnahmen zur Anpassung	Vermeidung von Schäden durch eigenverantwortliches Handeln der Betroffenen	Information, Sensibilisierung; Verminderung der Schäden
Objektbezogene Maßnahme	Schutz oder Verlagerung von Gebäuden und Anlagen	Vermeidung/Verminderung von Extremwetterschäden an Gebäuden und Anlagen	Verminderung von Schäden oder Veränderung des Standortes
	Gebäudeseitige Vermeidung der Aufheizung von Werkshallen und Büros Kühlung von Werkshallen und Büros	Vermeidung/Verminderung von Produktivitätseinbußen bei Menschen und Maschinen	Verminderung der Bedrohung  Verminderung der Schäden
	Umstellung von Kühlprozessen von Wasser auf Luft als Medium	Vermeidung von Problemen bei Verfügbarkeit, Qualität und Temperatur von für Kühlung verwendetem Wasser	Verminderung der Bedrohung
	Suche nach weniger gefährdeten Alternativen bei Rohstoffversorgung und Logistik; vermehrte Lagerhaltung	Verhinderung der Unterbrechung von Rohstoffversorgung und Lieferketten	Verminderung der Bedrohung
	Umsteigen auf alternative Produkte (bei Wegfall der Nachfrage) oder Nutzung sich bietender Chancen	Vermeidung der negativen Konsequenzen und Nutzung der Chancen einer klimabedingten Verschiebung der Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen	Verminderung der Bedrohung

## Methodik der Studien

Obwohl die analysierten Studien zur Klimaanpassung im Bereich von Industrie und Gewerbe eine ganze Reihe interessanter Klimafolgen aufzählen, beschränken sich die Anpassungsmaßnahmen vor allem auf den Teilaspekt der Anlagen- und Gebäudeschäden. Die Bezifferung der Kosten der Anpassung erfolgt wie schon die Kosten des Klimawandels selbst auf der Basis von Versicherungszahlen. Allerdings erfolgt keine Aufschlüsselung zwischen Schäden an Wohngebäuden, Industriebauten und anderen, z.B. öffentlichen Bauten. Dadurch gibt es hier gegenüber dem Handlungsfeld Bauwesen keinen Erkenntnisgewinn.

## Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die drei analysierten Studien, die zu Anpassungsmaßnahmen eine Aussage machen, analysieren die Kosten nur eines kleinen Teils aus der Vielzahl möglicher Maßnahmen, die zunächst aufgezählt werden. Die Kostenzahlen sind im Wesentlichen die gleichen wie die im Handlungsfeld Bauwesen aufgeführten, obwohl nur ein Teil der geschädigten und versicherten Gebäude dem Handlungsfeld Industrie und Gewerbe zuzuordnen ist. Alle anderen Anpassungsmaßnahmen werden kostenmäßig nicht beziffert. Die vorhandenen Studien müssen daher als für die Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmaßnahmen im Bereich Industrie und Gewerbe wenig hilfreich charakterisiert werden. Um aus den vorhandenen Zahlen Nutzen zu ziehen, wäre es zumindest notwendig, zu wissen, wie groß der Anteil industrieller und gewerblicher Bauten an den versicherten Gebäuden insgesamt ist.

### 3.13 Handlungsfeld Tourismus

Tourismus ist keine eindeutig definierte und abgegrenzte produzierende Branche, sondern stellt ein Nachfragesegment dar, das sich aus einer Vielzahl von Leistungen unterschiedlicher Branchen zusammensetzt. Dabei ist der Tourismus ein starkes Segment, von dem teilweise ganze Regionen wirtschaftlich abhängig sind. Es ist zu erwarten, dass die Folgen des Klimawandels auf einige Regionen in Deutschland positive Auswirkungen haben werden. So wird bspw. prognostiziert, dass der Bade- und Strandtourismus an der Nord- und Ostseeküste – zu Lasten des Mittelmeers – zunehmen wird, so dass in dem Bereich keine „klassischen“, defensiven Anpassungsmaßnahmen notwendig sind, sondern vielmehr auf eine nachhaltige Entwicklung des Tourismus zu achten ist. Im Süden Deutschlands in den Wintersportregionen werden stärkere vor allem strukturelle Veränderungen notwendig sein. Der Bereich des Tourismus weist zum einen Überschneidungen mit den Bereichen Biodiversität und Forstwirtschaft auf, da eine attraktive Landschaft mit intakter Natur einen höheren Freizeitwert hat. Ebenfalls treten Überlappungen mit dem Bereich Küstenschutz auf; diese zeigen sich in der Gestaltung von Küstenabschnitten, vor allem Sandstränden, aber auch den Auswirkungen von Überflutungen auf touristische Infrastruktur, die sich oft unmittelbar am Wasser befindet.

#### 3.13.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

##### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Im Mittelpunkt der Analysen zu Klimafolgen im Tourismus stehen die Veränderungen von Touristenströmen durch diverse Klimaauswirkungen. Temperaturänderungen etwa wirken sich sowohl auf den Sommer- als auch auf den Wintertourismus aus. Des Weiteren zählt die Veränderung von Niederschlagsmengen zu den wichtigen betrachteten Größen, vor allem als Schneefall in Skigebieten. So beurteilt z.B. Agrawala (2007) die möglichen Schäden des Klimawandels für den Wintertourismus, u.a. in Deutschland. Die Studie bewertet dabei 666 Skigebiete in den Alpen anhand ihrer Schneesicherheit, dies sind 80% der Skigebietsfläche in den Alpen. Bei der Erwärmung um 1°C reduziert sich die Skigebiete bereits auf 500, bei Erwärmung um 2°C auf 404 und bei 4°C auf 202 Skigebiete. Am stärksten wäre Deutschland betroffen, wo schon eine Erwärmung um nur 1°C die Zahl der schneesicheren Skigebiete um 60% unter das heutige Niveau verringern könnte. Bei einer Erwärmung um 4°C wäre in Deutschland so gut wie kein Skigebiet mehr schneesicher. Hamilton und Tol (2006) modellieren die Touristenströme in Großbritannien. Dabei wird deutlich, dass es in Großbritannien eine klimabedingte Entwicklung zum Urlaub in eigenem Land gibt, darüber hinaus aber auch mehr ausländische Touristen in Großbritannien erwartet werden. Eine Studie von Fleischhacker et al. (2009) zum Reiseverhalten in Österreich zeigt ebenfalls starke Auswirkungen aufgrund von Klimaänderungen. So würden nach mehreren heißen Sommern am Mittelmeer ca. 30 % der österreichischen Strand- und Badeurlauber für einen Badeurlaub statt ans Mittelmeer an österreichische Seen reisen. Darüber hinaus würden ca. 15 % anstatt eines Badeurlaubs einen Wander- oder Bergurlaub bevorzugen. Im Winterhalbjahr würden nach mehreren schneearmen Wintern 61 % der Ski-Urlauber ihr Verhalten ändern und keinen oder weniger Urlaub in Skigebieten machen. Dabei sind Ergebnisse aus anderen Ländern natürlich nicht direkt auf Deutschland übertragbar, es ist allerdings plausibel, dass ähnliche Tendenz auch in Deutschland nachzuweisen wären.

Einige der untersuchten Studien haben Schadenskosten betrachtet. So schätzt eine Schweizer Studie die Kosten des Klimawandels auf den Tourismussektor in der Schweiz im Jahr 2050 auf 1,8 bis 2,3 Mrd. CHF (vgl. Bürki et al. 2003). Gleichzeitig kommen Elsasser und Messerli (2001) zu dem Ergebnis, dass durch den Klimawandel Touristenströme aus anderen, stärker betroffenen Regionen in die Schweiz umgelenkt werden, weshalb der Schweizer Tourismussektor auf jährliche Zusatzeinnahmen von 100 Mio. CHF hoffen könnte. Bigano et al. (2007) kombinieren Daten zu nationalem Tourismus und internationalen Touristenströmen. Im Ergebnis wird sich der Tourismus im eigenen Land voraussichtlich in kälteren Ländern in etwa verdoppeln, in warmen Ländern dagegen halbieren. Im internationalen Tourismus ergibt sich das gleiche Bild. In einigen Ländern werden sich die Einnahmen im Tourismus fast verdreifachen, in anderen Ländern halbieren. Deutschland zählt dabei zu den kälteren Ländern, und somit zu den Gewinnern. Berritella et al. (2004) berechnen die Auswirkungen des Klimawandels auf das BIP in Europa und kommt dabei auf Veränderungen des BIP von  $-0,1\%$  Vergleich zur Baseline ohne Klimawandel im Jahr 2050. Bei Ciscar (2009) wird für zwei Klimamodelle kombiniert mit zwei Emissionsszenarien für den Bereich Mitteleuropa immer eine Zunahme der Ausgaben von Touristen berechnet.

### Methodik der Studien

Zur Modellierung von sozio-ökonomischen Indikatoren und der Einflüsse des Klimawandels auf den Tourismus verwenden mehrere Autoren das Hamburg Tourism Model (z.B. Bigano et al. 2007; Hamilton und Tol 2006). Darin fließen Daten zu nationalem Tourismus und internationalen Ankünften/Abfahrten ein. Berritella et al. (2004) nutzen das weiterentwickelte GTAP-Modell. Die Größen Klima, Einkommen per Einwohner und Bevölkerungszahl werden zur Berechnung der internationalen Touristen aus einem Land genutzt. Für das Urlaubsziel werden das Klima, Einkommen pro Einwohner, länderspezifische Konstanten und die Distanz zum Heimatland einbezogen. Hamilton (2004) wendet die Reisekostenmethode auf verschiedene Reiseziele an. Ciscar (2009) rechnet mit durchschnittlichen Ausgaben von Touristen in Europa, die mit den klimawandelbedingten Veränderungen der Übernachtungszahlen kombiniert werden.

Agrawala (2007) wendet eine andere Methodik an, da in dieser Studie nicht die Kosten im Mittelpunkt stehen, sondern zunächst die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schneesicherheit. Dabei wird pro Anstieg von  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  von einer Verschiebung der Höhe für Schneesicherheit um 150 Höhenmeter ausgegangen.

Die betrachteten Zeiträume reichen mit einer Ausnahme bei allen Studien bis ins Jahr 2050. Die Hälfte der Studien umfassen Untersuchungen bis ins Jahr 2100. Für die britischen Studien werden die 4 UKCIP Szenarien verwendet. Mehreren Studien verwenden als Basis das Modell IMAGE 2.2, welches eine Anwendung der IPCC SRES Szenarien darstellt. Die Temperatur wird anhand des COSMIC Modells auf die einzelnen Länder heruntergebrochen.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die untersuchten Studien legen einen Schwerpunkt auf die Berechnung weltweiter Touristenströme und deren klimabedingte Veränderungen, sowie spezifisch auf die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wintertourismus in Europa. Positive Auswirkungen auf Bade- und Strandurlaub an der Nord- und Ostsee werden dagegen seltener analysiert.

Die betrachteten Studien haben meist einen globalen Fokus oder beziehen sich auf europäische Nachbarländer. Da Tourismusgebiete regional kleinteilig sind und Länder aufgrund ihrer geographischen Voraussetzungen unterschiedliche Arten von Tourismus

anziehen, ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse nur in Grenzen möglich. Die beschriebene Methodik kann aber in Abhängigkeit der Datenlage auf Deutschland angewendet werden. Es ist zu beachten, dass viele Studien nur einen Teilbereich des Tourismus (Winter- oder Sommertourismus) untersuchen, was teilweise auch die unterschiedlichen Ergebnisse der Studien erklärt.

### 3.13.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

#### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Der Tourismussektor wird in vielen sektorübergreifenden Studien betrachtet, darunter z.B. in der Routeplanner-Studie. Darüber hinaus liegen viele wissenschaftliche Untersuchungen für diesen Sektor vor. Im Gegensatz zu den meisten anderen Sektoren finden sich unter den Untersuchungen in diesem Bereich auch länderübergreifende regionale Studien, vor allem zur Alpenregion.

Die am häufigsten genannte Anpassungsmaßnahme ist die künstliche Beschneidung von Skipisten. In den meisten Studien wird aber gleichzeitig auf die Problematik dieser Maßnahme hingewiesen, u.a. den hohen Wasser- und Energiebedarf und damit verbundene Kosten und Nebenwirkungen auf die Umwelt. Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Verlegung der Skipisten in höhere Lagen, auf Gletscher, in windärmere Lagen oder in Lagen mit nördlicher Ausrichtung genannt. Eine Verlegung in höhere Lagen ist allerdings für deutsche Skigebiete oft nicht möglich. Weitere Maßnahmen umfassen die Pistenpräparierung, der Schutz der Schneedecke durch Schneezäune oder Bepflanzungen sowie den Schutz der Gletscher vor dem Abschmelzen durch Bedeckung mit weißen Kunststoffplanen. Diese Maßnahmen dienen der Erhaltung des Skitourismus in seiner jetzigen Form. Ein weiterer Maßnahmenkomplex umfasst die Diversifizierung des Fremdenverkehrs durch andere Formen des Wintertourismus. Zum Beispiel können weitere Angebote für den Winter entwickelt werden, wie Wellness, Konzerte oder Winterwandern. Ebenfalls kann die Saison auf den Sommer ausgedehnt werden und die Region für ganzjährige Tourismusangebote entwickelt und vermarktet werden. Zu einer finanziellen Absicherung für schneeärmere Jahre können auch Versicherungen und Wetterderivate eingesetzt werden (vgl. Bürki et al. 2003; Agrawala 2007; Elsasser und Messerli 2001). Als Anpassungsmaßnahme für Küstenregionen erwähnen Van Ierland et al. (2007) ferner den Ausbau der Infrastruktur für den zunehmenden Tourismus in Küstenregionen.

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Entwicklung von Konzepten zur ganzjährigen Nutzung von Tourismusregionen	Alternative Wirtschaftsgrundlage	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Entwicklung von Konzepten zum Ausbau der Infrastruktur für stärkeren Bade- und Strandtourismus	Nachhaltig verträgliche Ausnutzung von Chancen	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern, Verminderung der Bedrohung
Subjektbezogene Maßnahme	Vermarktung von Regionen für alternativen Winter- bzw. Alljahrestourismus	Alternative Wirtschaftsgrundlage	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Kauf von Versicherung und Wetterderivaten	Absicherung gegen Wetterereignisse	Verteilung von Schäden
Objektbezogene Maßnahme	Künstliche Beschneigung	Erhaltung ausreichender Schneehöhe	Verhinderung von Schäden
	Verlegung von Skipisten auf Gletscher, in höherer Gebiete, etc.	Erhaltung ausreichender Schneehöhe	Änderung des Standorts
	Pistenpräparierung, Schutz des Schnees/der Gletscher	Erhaltung ausreichender Schneehöhe	Verhinderung von Schäden

Die Kosten für die künstliche Beschneigung werden anhand von realen Investitions- und Betriebskosten hergeleitet. Elsasser und Messerli (2001) geben Investitionskosten pro km Piste von ca. 1 Mio. CHF und Betriebskosten von 30.000-50.000 CHF pro km pro Jahr an. Hahn (2004) gibt durchschnittliche Investitionen von 136.000 Euro pro Hektar neu beschneibar Fläche an. Agrawala (2007) beziffert die Kosten für die Verlegung von Skipisten in höhere Lagen für die Schweiz auf 40 bis 49 Mio. CHF, erläutert jedoch leider nicht die Berechnungsgrundlage dieser Zahl.

Die zeitliche Dimension der Maßnahmen wird in den Studien nicht thematisiert. Aber es wird deutlich, dass verschiedene Maßnahmen – vor allem Beschneigung von Skigebieten – bereits vielfach durchgeführt werden. Veränderungen der Vermarktungsstrategie und Errichtung neuer Infrastrukturen sind eher mittelfristige Maßnahmen mit gewisser Vorlaufzeit. In einigen Fällen, etwa bei der Anpassung von Geschäftsmodellen (Wellness statt Wintersport) ist von autonomer Anpassung der betroffenen Akteur/innen auszugehen.

Mehrere Studien diskutieren Probleme der Beschneigung und dem damit verbundenen Wasserbedarf. Hier kann es zu Konflikten mit Anpassungsmaßnahmen zur Regulation des Wasserhaushalts kommen. Ebenfalls kritisch stellt sich die Verlegung von Skigebieten dar, da diese einen deutlichen Eingriff in die Natur darstellt. Dabei sind Ökosysteme in diesen Höhen zum einen ohnehin meist sensibel, zum anderen stehen eben diese Ökosysteme

häufig durch den Klimawandel unter besonderem Druck. Insofern bestehen hier Konkurrenzen zu Maßnahmen im Bereich Biodiversität und Forstwirtschaft.

### Methodik der Studien

Zur Herleitung der Anpassungsmaßnahmen wird keine besondere Methodik verwendet. Die Berechnung der Kosten für Anpassungsmaßnahmen erfolgt anhand von realen Investitions- und Betriebskosten. Dabei ist anzumerken, dass nur für wenige Maßnahmen Kostenkalkulationen vorliegen. Veränderungen des Nutzens von touristischen Angeboten werden nicht berechnet.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die untersuchten Studien nennen eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen. Diese lassen sich unterscheiden in Maßnahmen, die die momentane Nutzung der Region aufrecht erhalten bzw. absichern sollen, und in Maßnahmen, die die strategischen Umorientierung von Regionen hin zu neuen touristischen Konzepten zum Ziel haben. Auch wenn nur für wenige Maßnahmen die Auswirkungen quantifiziert werden, sollten die zu Grunde liegenden Daten jedoch auch für verschiedene Regionen in Deutschland erhältlich sein, so dass eine Untersuchung anhand von regionalen Fallstudien möglich wäre.

### 3.14 Handlungsfeld Raum-, Regional- und Bauleitplanung

Der Klimawandel wird regional und lokal sehr unterschiedlich wirken, mit Gefahren für Siedlungs- und Infrastrukturen. In vielen der bereits dargestellten Handlungsbereiche sind daher Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen worden, die eine Optimierung der räumlichen Strukturen vorsehen (z.B. veränderte Streckenführungen im Verkehr, Anpassung der Siedlungsstrukturen zur Vermeidung von Hochwasserschäden, etc.). Der Raum- und Regionalplanung kommt somit eine wichtige Querschnittsfunktion zu, die über die spezifischen Handlungsfelder hinweg zu einem „climate-proofing“ Deutschlands beitragen kann.

Die Raum- und Regionalplanung ist stark von der öffentlichen Hand gesteuert und bietet die Möglichkeit im Sinne des Vorsorgeprinzips die Raumstruktur bereits heute so zu lenken, dass Risiken des Klimawandels reduziert werden (vorsorgende Raumplanung). Gemäß einer aktuellen Studie des BMVBS (2009a) sollte klimawirksame Raumordnungspolitik vorsorgend, vermeidend, bewältigend, vorbereitend und langfristig orientiert sein.

Der Querschnittsbereich Raum-, Regional- und Bauleitplanung hat einen engen Bezug sowohl zu den Handlungsbereichen Bevölkerungsschutz, Verkehr und Finanzen/ Versicherungswirtschaft. Die Versicherungswirtschaft bildet die privatwirtschaftliche Perspektive räumlicher Wirkungen des Klimawandels ab und kann mit neuen Versicherungslösungen ebenfalls auf eine Veränderung der Raumnutzung hinwirken. In diesem Bereich ist somit die Abgrenzung zwischen privatwirtschaftlichem und staatlichem Handeln zu prüfen.

#### 3.14.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

##### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Der Querschnittsbereich Raum-, Regional und Bauleitplanung ermöglicht zusätzliche Optionen zum Umgang mit den erwarteten Folgen des Klimawandels, die Schäden ergeben sich jedoch aus der Summe der anderen Handlungsfelder. Für den Querschnittsbereich sind alle Klimaschäden relevant, die einen räumlichen Bezug haben, bei denen der Klimawandel also eine Verlegung oder räumliche Anpassung von Infrastrukturen, Siedlungsgebieten, Industrieanlagen, Tourismusgebieten usw. notwendig macht oder die Weiterentwicklung von Planungsprozessen erfordert. Die wichtigsten Wirkungskanäle sind im Folgenden dargestellt:

- **Niederschläge:** Eine starke Variation der Niederschläge wird sowohl zu einer Zunahme von Überschwemmungen und Hochwassergefahren führen, mit Risiken für besiedelte Gebiete, kritische Infrastrukturen und Industrieanlagen.
- **Hitze:** Insbesondere in städtischen Gebieten und topographisch ungünstigen Lagen (Kessellage) können „Hitzeinseln“ entstehen, mit negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Zudem sind Auswirkungen im Bereich der Landwirtschaft zu berücksichtigen.
- **Extremereignisse:** Stürme, Starkniederschläge und extreme Hitzeereignisse bringen neue Gefahrenpotenziale mit sich, z.B. Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit.
- **Meeresspiegelanstieg:** Die Prognosen zum Meeresspiegelanstieg gehen heute noch weit auseinander, wobei neue Erkenntnisse darauf hinweisen, dass die Angaben im vierten IPCC-Sachstandsbericht eher optimistisch sind (Füssel 2009). Insbesondere beim

Eintreten von Kippeffekten im Klimasystem wird sich der Meeresspiegelanstieg jedoch deutlich beschleunigen und kann dadurch bestehende Siedlungen und Infrastrukturen im Küstengebiet gefährden.

## Methodik der Studien

Bei fast allen Handlungsbereichen hat ein Teil der Auswirkungen des Klimawandels einen räumlichen Bezug. Die jeweils angewendeten Methodiken in den Handlungsbereichen sind in den jeweiligen Kapiteln dargestellt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bisher kaum quantitative Ergebnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels auf räumliche Strukturen und deren Nutzung vorliegen. Es gibt jedoch verschiedene Ansätze, wo mit Hilfe regionaler Klimadaten das Risiko in aktuell laufenden Forschungsvorhaben ermittelt wird, z.B. durch Überschneidung von Überschwemmungs- oder Hitzekarten mit Netzkarten der Verkehrsinfrastrukturen bzw. mit Standorten von Industrieanlagen und Anlagen der Energieversorgungsunternehmen. Dieser Ansatz erfordert ein sehr detailliertes und kleinräumiges Vorgehen, wird jedoch für die Umsetzung zielgerichteter Anpassungsstrategien unumgänglich sein. Erste Aktivitäten laufen dazu bereits, z.B. mit der Planungshinweiskarte Stadtklima in Berlin oder dem Klimaatlas in Stuttgart.<sup>14</sup>

Bisher gibt es für Deutschland nur wenige Studien, die das Thema Raum-, Regional und Bauleitplanung integral betrachten. Eine quantitative Betrachtung liegt bisher nicht vor. In den Niederlanden, wo insbesondere durch den erwarteten Meeresspiegelanstieg das Thema Raumplanung in der Anpassungsstrategie eine besondere Rolle einnimmt, läuft ein breit angelegter Prozess (Routeplanner process). In den bisherigen Phasen ging es darin um die Identifizierung von „hot spots“, bei denen sich verschiedene Effekte des Klimawandels kumulieren können und somit ein besonderer Handlungsbedarf besteht, sowie um die Erarbeitung möglicher Handlungsoptionen. Die konkrete Umsetzung dieser Handlungsoptionen erfolgt im Zeitraum 2008-2014, so dass erste Ergebnisse in die weiteren Arbeiten im vorliegenden Projekt einfließen könnten.

### 3.14.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

#### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

##### Einordnung nach Typen von Studien

Die Raum-, Regional- und Bauleitplanung wird in sektorübergreifenden Studien meist nur wenig betrachtet, da sie als Querschnittsbereich eine besondere Funktion einnimmt. Die Angaben zu möglichen Anpassungsmaßnahmen stammen dabei insbesondere auf folgenden Typen von Studien:

- Spezifische Studien zum Querschnittsthema, die von den zuständigen Behörden und Institutionen der öffentlichen Hand angefertigt wurden. Dabei wird das Thema integral über alle Handlungsbereiche für Deutschland betrachtet (z.B. ARL 2009, BMVBS 2009).

---

<sup>14</sup> Planungshinweiskarte Stadtklima Berlin: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/da411\\_05.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/da411_05.htm); Klimaatlas Stuttgart: [http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima\\_klimaatlas\\_region](http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_klimaatlas_region)

- Sektorspezifische Studien, die Hinweise zu räumliche relevanten Anpassungsstrategien aus den verschiedenen Handlungsbereichen liefern (z.B. Optimierung bei Verkehrsinfrastrukturen oder Industrieanlagen, räumliche Verschiebungen von Tourismusregionen).
- Studien aus anderen Ländern, insbesondere den Niederlanden, aus denen Hinweise zur Methodik und Prozess gewonnen werden können (VROM 2007). Spezifische Aussagen, z.B. zur Priorität von Anpassungsmaßnahmen oder zu quantitativen Aspekten sind eher schwer zu übertragen, da eine vollständig andere räumliche Struktur zugrunde liegt.

### Typisierung der Anpassungsmaßnahmen im Querschnittsbereich Raumplanung

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Grundsätzliche Bestrebungen, den weiteren Flächenverbrauch bis 2020 auf 30 ha/Tag zu reduzieren (Nachhaltigkeitsstrategie) und kompaktere Siedlungsstrukturen zu erreichen (Stichwort „Stadt der kurzen Wege“).	Vulnerabilität gegenüber Klimawirkungen wird allgemein reduziert.	Verminderung der Bedrohung
	Berücksichtigung von Klimarisiken in der Stadt- und Regionalentwicklung (vorsorgende Raumplanung)	Vermeiden, dass Siedlung und Infrastrukturen weiter in Gefahrenzonen hineinwachsen	Verminderung der Bedrohung
	„Redundanz“: Siedlungsfläche so entwickeln, dass monostrukturelle Entwicklungen, insbesondere hinsichtlich der Versorgung mit Gütern und Infrastruktur vermieden werden	Climate-proofing der Versorgung	Verminderung der Bedrohung
	Verknüpfung der verschiedenen Akteure, um alle raumrelevanten Aspekte im Bereich der Raumplanung berücksichtigen zu können.	Identifizieren der Wirkungskanäle und „hot spots“	Verminderung der Bedrohung
	Hitze/Dürre: Berücksichtigung von Veränderungen in der Grundwasserverfügbarkeit in der Regionalplanung	Effekte über Reduzierung Grundwasser vermeiden (Landwirtschaft, Gesundheit)	Verminderung der Bedrohung
	Evtl. Prüfung; ob die Notwendigkeit zur Weiterentwicklung der raumplanerischen Instrumente besteht, um eine Verlagerung von stark gefährdeten Immobilien und Industrieanlagen zu ermöglichen	Schadenspotenzial über räumliche Verlagerung reduzieren	Änderung des Standorts
Subjektbezogene Maßnahme	Bereitstellung regionalisierte Klimadaten als Hilfestellung für Anlagenplanung in der Industrie (Stichwort „climate services“).	Reduzierung zukünftiges Schadenspotenzial	Forschung Informieren, sensibilisieren, Verhaltensänderung fördern

Subjektbezogene Maßnahme	Bereitstellung von Klimaservices für Planungsbehörden auf regionaler und lokaler Ebene (z.B. „Klima-Lotse“ des UBA)	Reduktion Wirkungen über alle Einflusskanäle pro Handlungsbereich	Forschung Informieren, sensibilisieren, Verhaltensänderung fördern
Objektbezogene Maßnahme	Hitze: Begrünung von Dächern	Effekt der Hitzeinseln wird reduziert Verbesserung der Isolierung	Verminderung der Bedrohung
	Überschwemmungen: Sicherung von Abfluss- und Retentionsbecken, Ausweisen von Überschwemmungsbereichen	Reduktion des Überschwemmungsrisikos	Verminderung der Bedrohung
	Hitze: Ausweisen von Grünflächen und Frischluftschneisen	Effekt der Hitzeinseln reduzieren	Verminderung der Bedrohung
	Sicherung eines funktionsfähigen Netzes von Lebensräumen von Tieren und Pflanzen	Verschiedene Klimawirkungen auf Biodiversität reduzieren	Verhinderung von Schäden
	Technischer Schutz vor gravitativen Massenbewegungen, v.a. in Berggebieten	Naturgefahrenrisiko minimieren, mit Hilfe Umweltnfrastrukturen	Verhinderung von Schäden

### Zeitliche Dimension der Maßnahmen

Die zeitliche Dimension spielt im Bereich der Raum- und Regionalplanung eine besondere Rolle, da viele Maßnahmen eine lange Vorlaufzeit haben, bzw. ihre Wirkung aufgrund der langen Erneuerungszyklen im Gebäude-, Anlagen- und Infrastrukturbestand erst langfristig zum Tragen kommt. Insbesondere um die Chancen des Konzepts der raumplanerischen Vorsorge zu nutzen, sind heute bereits Weichenstellungen erforderlich.

Die zeitliche Dimension wird jedoch in den meisten Studien bisher nicht explizit berücksichtigt. Die Arbeiten in den Niederlanden haben jedoch gezeigt, dass es sich hier um zeitkritische Maßnahmen handelt, daher wird eine konkrete Umsetzung von Maßnahmen bis 2014 angestrebt.

### Flexibilität der Maßnahmen – Regret/no-regret

Ein Teil der objektbezogenen raumplanerischen Maßnahmen sind als „no-regret“ Maßnahmen zu identifizieren. Das ist insbesondere bei Maßnahmen der Fall, die einen hohen Grad an Synergien mit anderen Bereichen aufweisen, insbesondere dem Bestreben in Richtung einer nachhaltigeren Wirtschafts- und Gesellschaftsentwicklung oder auch im Hinblick auf (internationalen) Klimaschutz. So kann z.B. über die Begrünung von Dächern der Effekt der Hitzeinseln reduziert werden und gleichzeitig ergibt sich über die Verbesserung der Isolierung eine Reduktion beim Heiz- und Kühlbedarf.

Die prozess- und subjektbezogenen Maßnahmen sowie ein Teil der objektbezogenen Maßnahmen sind dagegen weitgehend als „regret“ Maßnahmen zu bezeichnen, da sie ohne

die Auswirkungen des Klimawandels nicht sinnvoll wären. Dabei ist zudem zu prüfen, ob ein Teil der Maßnahmen ungewünschte Effekte auf andere Zielsetzungen hat.

### Methodik der Studien und Bewertung

Die übergreifenden Studien, die von staatlichen Akteuren der Raum- und Regionalplanung erstellt wurden, beschränken sich bisher vor allem auf die Identifizierung möglicher Anpassungsmaßnahmen (ARL 2009, BMVBS 2009). Eine Priorisierung und Quantifizierung möglicher Maßnahmen wurde bisher noch nicht durchgeführt.

Bei der Quantifizierung in der vorliegenden Studie kann auf sektorspezifische Informationen zurückgegriffen werden, die raumrelevante Anpassungsmaßnahmen in anderen Handlungsfeldern betrachten. In den meisten Handlungsfeldern sind aktuell noch keine quantitativen Informationen verfügbar, es bestehen jedoch Anknüpfungspunkte für eine Quantifizierung. Um im Querschnittsbereich der Raum-, Regional- und Bauleitplanung eine Priorisierung zu ermöglichen, müssen die Methoden in den einzelnen, sektoralen Handlungsfeldern jedoch überprüft und ggf. vereinheitlicht werden.

Eine sehr spezifische und global ausgelegte Studie betrachtet quantitative Aspekte der Verbesserung des Rückstrahleffekts städtischer Gebiete, die sowohl das Risiko von Hitzeinseln reduzieren würden und sich gleichzeitig negativ auf das „radiative forcing“ auswirken würden mit reduzierender Wirkung des Klimawandels (Akbari et al. 2009).

Die Darstellungen in diesem Kapitel machen deutlich, dass im Querschnittsbereich der Raum-, Regional- und Bauleitplanung wichtige Anpassungsoptionen zur Verfügung stehen, die im Sinne des „climate-proofing“ die wirtschaftlichen Schäden in anderen Handlungsbereichen reduzieren können. Da die Raum-, Regional- und Bauleitplanung Aufgabe der öffentlichen Hand ist, erscheint es zentral, dass möglichst schnell entsprechende Vorgaben für die Raum- und Regionalplanung entwickelt werden (z.B. Vorgaben für neue Bebauungen in hochwassergefährdeten Gebieten, Anpassung von Standards und Normen, etc.). Im Sinne eines umfassenden „climate-proofing“ wäre es z.B. möglich, jede raumplanerische Maßnahme einem „Klima-Check“ zu unterwerfen. Dies könnte z.B. in das Instrumentarium der Strategischen Umweltprüfung integriert werden oder als eigenes Instrument eingeführt werden. Das bestehende raumplanerische Instrumentarium stößt jedoch an seine Grenzen, wenn es um eine Nutzungsänderung im Bestand geht. Im Sinne einer vorsorgenden Raumplanung kann eine Aufgabe bestehender Nutzungen aber durchaus eine wichtige Rolle spielen, so dass hier ein entsprechendes Instrumentarium geschaffen werden sollte (Overbeck et al. 2008).

Die Regionalplanung kann in Bezug auf die anderen Handlungsfelder unterstützend wirken: So kann sie gemäß Raumordnungsgesetz z.B. durch die Festlegung von Überschwemmungsbereichen, in der Regel als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Hochwasserschutz, vorhandene Abfluss- und Retentionsflächen stringent auch schon im Vorfeld wasserrechtlicher Pläne sichern und somit frühzeitig planerisch Vorsorge treffen.

Aus dem Bereich der Raumplanung und der Diskussion des „climate-proofing“ lassen sich auch Instrumentarien für andere Politikbereiche herleiten. So wäre es auch möglich, dass ein „Klima-Check“ nicht nur bei Maßnahmen der Raumplanung, sondern z.B. bei allen Gesetzesvorschlägen durchgeführt wird.

## 3.15 Handlungsfeld Bevölkerungsschutz

Der Bevölkerungsschutz beugt Ereignissen vor, die die Sicherheit der Bevölkerung gefährden können, oder mindert die Auswirkungen solcher Ereignisse, und sorgt für eine zuverlässige Versorgung der Bürger im Krisenfall. Im Bezug auf Klimawirkungen umfasst das Handlungsfeld Bevölkerungsschutz die Schadensminderung im Fall von Extremereignissen, die Vorbereitung auf und Vorsorge für Extremwetterereignisse, wie Stürme, Starkregen, Überflutungen und Hitzewellen, sowie Versorgung von Betroffenen nach einem Schadensereignis durch den Katastrophen- und Zivilschutz. Dies umfasst sowohl die Information der Bevölkerung und der Industrie über drohende Extremwetterereignisse und korrekte Handlungsweisen, als auch die Vorbereitung und das Training von Organisationen des Katastrophenschutzes, wie das Deutsche Rote Kreuz oder das Technische Hilfswerk. Dabei geht es auch um den Schutz vor Naturgefahren durch den Bau von Umweltinfrastrukturen (z.B. Sicherung vor Muren und Felsstürzen) sowie den Schutz der kritischen Infrastrukturen. Das Handlungsfeld weist als Querschnittsbereich Überschneidungen mit einer Reihe von Handlungsfeldern auf, insbesondere mit dem Handlungsfeld Gesundheit. Überschneidungen treten ebenfalls mit dem Handlungsfeld Küsten- und Hochwasserschutz auf, der traditionell eng mit Katastrophen- und Bevölkerungsschutz verbunden ist. Zudem ergeben sich beim Bevölkerungsschutz viele Anknüpfungen zum anderen Querschnittsbereich Raum-, Regional- und Bauleitplanung.

### 3.15.1 Angaben zu Schäden und Schadenskosten

#### Betrachtete Schäden und Schadenskosten

Schäden im Querschnittsbereich Bevölkerungsschutz treten vor allem durch Extremwetterereignisse auf, wie etwa Stürme, Hitzewellen und starke Niederschläge, ggf. in Zusammenhang mit Überflutungen. Diese Wetterereignisse gefährden kritische Infrastrukturen zur Versorgung der Bevölkerung und von wirtschaftlichen Sektoren (Verkehrswege, Abwasser- und Wasserversorgung, Energieversorgung, Gesundheitsversorgung, etc.). Die hier betrachteten Wirkungen schlagen sich häufig auf die einzelnen Handlungsfelder nieder, z.B. Gefährdung der Energieversorgung bei Stürmen oder Hitzewellen, Beeinträchtigung der Verkehrsinfrastruktur oder die Gefährdung der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung bei Überschwemmungen. Darüber hinaus können sich Extremwetterereignisse auch direkt auf die Strukturen bzw. Akteure des Katastrophenschutzes, wie das Technische Hilfswerk oder das Deutsche Rote Kreuz, auswirken, die z.B. höhere Kapazitäten für Evakuierungen vorhalten müssen.

Es bestehen momentan sehr vereinzelt Studien, die sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf das Gefahrenmanagement in einzelnen Regionen beschäftigen, z.B. Agrawala (2007), dessen Report sich auf die Alpen bezieht. In diesem Bericht werden Überflutungen, Stürme, Gesteinsbewegungen, Lawinen und Waldbrände betrachtet. Die ökonomischen Verluste durch Naturkatastrophen in den Alpen werden zwischen 1982 und 2005 mit 57 Mrd. Euro beziffert. Die größten Veränderungen werden dabei für Gletscher und Permafrostböden vorhergesagt. Die größten Kosten entstehen dagegen durch Stürme und Überschwemmungen im Winter.

Die meisten einschlägigen Untersuchungen betrachten Aspekte des Bevölkerungs- und Katastrophenschutzes in den jeweiligen Handlungsfeldern, also vor allem Küsten- und Hochwasserschutz, Gebäude, Verkehrsinfrastruktur, Energie und Gesundheit, aber nicht zusammenhängend als eigenes Handlungsfeld. Ecoplan (2007) schätzen bspw. die Kosten für Transport und Lagerung des Materials durch zunehmende Murgänge im Jahr 2050 zwischen 0 und 12 Mio. CHF geschätzt. Es wird dabei von Szenarien ausgegangen, die von keiner Veränderung des heutigen Zustands bis zu einer Verdreifachung des durch Murgänge abgetragenen Materials reichen. Es ist dabei zu erkennen, dass die Unsicherheit über die eintretenden Effekte noch sehr groß ist. Für Hochwässer wird mit zunehmenden Schäden an Gebäuden und Infrastruktur gerechnet. Nach EEA (2008) verursacht ein durchschnittliches Hochwasser Kosten in Höhe von 0,5 Promille des BIP. Bei einem „Jahrhunderthochwasser“, wie z.B. dem Elbehochwasser 2002, lag der Schaden dagegen bei 2 Promille des BIP. Im Gesundheitsbereich wird u.a. eine höhere Anzahl von Sterbefällen durch Hitzewellen vorhergesagt. Alberini und Chiabai (2005) berechnen für 2020 (im Vergleich zu 2000) einen Anstieg um 168 Todesfälle in der Stadt Rom. Dies entspricht Schadenskosten von 281 Mio. Euro. Weitere Daten finden sich in den Kapiteln zu den einzelnen Handlungsfeldern.

### Methodik der Studien

In den handlungsfeldspezifischen Studien ist die Vorgehensweise der Monetarisierung sehr unterschiedlich. Die Kosten für die Beseitigung von Murgängen werden anhand realer Kosten geschätzt, die anhand des zukünftig erwarteten Gesteinsvolumens hochgerechnet werden. Bei Hochwasser werden bspw. reale Schadenskosten von vergangenen Ereignissen genutzt, um zukünftige Schäden zu schätzen. Bei Hitzewellen erfolgt die Berechnung anhand des „value of statistical life“ oder anhand von direkten Schadenskosten bzw. Opportunitätskosten.

Agrawala (2007) unterscheidet die Bereiche Stürme, Überflutungen, Gesteinsbewegungen, Lawinen und Waldbrände. Dabei erfolgt keine Monetarisierung, sondern eine qualitative Beschreibung der erwarteten Gewichtung hinsichtlich der Häufigkeit und Intensität der Auswirkungen des Klimawandels und der ökonomischen Effekte.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Da integrale Studien zum Querschnittsbereich Bevölkerungsschutz momentan kaum vorhanden sind, wird ein Rückgriff auf die Angaben aus den einzelnen Handlungsfeldern notwendig. Bei diesem Vorgehen werden die Auswirkungen auf die eigentlichen Strukturen des Katastrophenschutzes, z.B. Hilfsorganisationen, Notfall- und Evakuierungspläne, sowie Warnsysteme, vernachlässigt. Hier ist eine noch stärker integrierte Betrachtung notwendig.

## 3.15.2 Angaben zu Anpassungsmaßnahmen

### Abgedeckte Anpassungsmaßnahmen

Als präventive Anpassungsmaßnahmen hat die Untersuchung Warnsysteme gegen Hitze, Hochwasser und Stürme ergeben. Als weitere Maßnahmen werden die Verbreitung über Informationen zum Verhalten bei Extremwetterereignissen und der Anpassung des Verhaltens erwähnt. Darüber hinaus sind präventive Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren und zum Schutz der kritischen Infrastrukturen zu sehen, z.B. Deiche gegen Hochwasser, Ausbau des Stromnetzes zum Schutz gegen starke Winde, Ausweisung von

Überflutungsflächen oder Vermeidung von Hitzeinseln im Rahmen der Regional- und Stadtplanung. Weitere bauliche Maßnahmen im Infrastruktursektor sind Verbauungen zum Schutz vor Lawinen und Murgängen. In einigen Fällen, in denen sich die Klimarisiken rasch verändern oder in denen erste Auswirkungen bereits offensichtlich sind, bestünde ein erster Schritt für eine effektive Anpassungsstrategie schließlich in der Einrichtung von Strukturen zum Risikomonitoring. Ebenfalls sind Gefahrenkarten und Evakuierungspläne zu aktualisieren und der Zyklus zur Erneuerung der Gefahrenkarten zu verkürzen. Gegen die finanziellen Schäden von Naturereignissen werden auch Versicherungen eingesetzt, diese müssen allerdings auf die neuen Gegebenheiten angepasst werden und die Versicherungsdichte (Bevölkerung und Wirtschaft) gesteigert werden. Als Maßnahmen während der Extremwetterereignisse wurden eine Hitzeschutzberatung während Hitzewellen (z.B. durch Besuche von älteren oder kranken Personen) und ausreichende Kapazitäten zur Behandlung von hitzebedingten Krankheiten genannt. Weitere Anpassungsmaßnahmen bestehen im Ausbau des Katastrophenschutzes mit geeigneter Technik bzw. einer verbesserten Personalausstattung (vgl. u.a. Van Ierland 2007; De Groot 2007; Agrawala 2007; WHO Europe 2009; Ebi et al. 2004).

Agrawala (2007) nennt darüber hinaus ein vorsorgendes integrales Naturgefahrenmanagement als notwendige Anpassungsmaßnahme. Ein integrales Naturgefahrenmanagement setzt dabei auf eine Betrachtung aller Elemente des Gefahrenzyklus von der Vorbeugung bis zur Behebung der Schäden. Eine Studie (Kaiser und Binder 2003), welche sich nicht speziell auf den Klimawandel bezieht, aber die Verbesserung des Katastrophenschutzes bei Extremwetterereignissen übergreifend betrachtet, weist auf weitere Maßnahmen hin. So wurde eine Sicherstellung von stabilen Kommunikationssystemen im Gefahrenfall sowie die stärkere Vernetzung der Informationssysteme innerhalb von Europa genannt, z.B. die Installation eines europäischen Hitzewarnsystems. Ebenfalls sollte bei der Überarbeitung von Notfallsystemen auf Kaskadeneffekte und das Versagen von Telefon-, Internet- oder Mobilfunknetzen eingegangen werden und z.B. eine Notstromversorgung eingerichtet werden oder die Mitarbeiter geschult werden, wie sie sich bei einem Ausfall von Kommunikationssystemen verhalten sollen. Das Training von Katastrophen sollte ebenfalls auf eine höhere Intensität von Extremwetterereignissen ausgelegt werden. (vgl. Kreutzer 2008).

Art der Maßnahme	Name der Maßnahme	Relevante Wirkungskanäle	Integrationsgrad
Prozessbezogene Maßnahme	Einführung eines integralen Naturgefahrenmanagements	Vernetzte Betrachtung der Aktivitäten des Katastrophenschutzes	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Einrichtung eines Risikomonitorings	Vorbeugende Vermeidung von Folgen	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Vernetzung der Informationssysteme innerhalb Europas	Bereitstellung einer guten Datenbasis zur Vorhersage von Ereignissen	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern

Subjektbezogene Maßnahme	Einrichtung von Warnsystemen	Information über Extremwetterereignisse verbreiten	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Informationen zum Verhalten bei Extremwetterereignissen	Veränderung des Verhaltens beim Eintreten von Extremwetterereignissen	Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern
	Gefahrenkarten und Evakuierungspläne aktualisieren bzw. Zyklus der Aktualisierung verkürzen	Verändernde Gefahren dokumentieren, schnelle Reaktionen beim Eintreten von Extremwetterereignissen ermöglichen	Verhinderung von Schäden
	Einrichtung von Dienstleistungen während des Extremwetterereignisses (z.B. Hitzeschutzberatung)	Beratung zur Verhaltensänderung beim Eintreten von Extremwetterereignissen	Verhinderung von Schäden
	Anbieten von Versicherungen, Vermarktung von Versicherungen	Absicherung gegen Extremwetterereignisse	Verteilung von Schäden
Objektbezogene Maßnahme	Bauliche und technische Maßnahmen zum Schutz der kritischen Infrastrukturen, z.B. Stromnetze, Straßen, Deichausbau	Schutz vor Stürmen, Hitze, Überschwemmung	Verhinderung von Schäden
	Aufbau von Krankenhauskapazitäten	Versorgung der Bevölkerung im Notfall ermöglichen	Verhinderung von Schäden
	Ausbau, Anpassung der Organisationen des Katastrophenschutzes, z.B. Sicherstellung der Kommunikation im Gefahrenfall	Versorgung der Bevölkerung im Notfall ermöglichen	Verhinderung von Schäden, Informieren, sensibilisieren und Verhaltensänderungen fördern

Zeitliche Aspekte werden in den Studien sehr selten betrachtet. Bei Hunt (o.J.) wird als erstes die Durchführung von kostengünstigen, später dann von kostenintensiven Maßnahmen empfohlen. Die Zeitdauer bis zur Wirksamkeit der Anpassungsmaßnahmen wird dabei aber nicht angesprochen. Prinzipiell ist die Einführung von Warnsystemen, Maßnahmen zur Information und Sensibilisierung der Bevölkerung, sowie die Aktualisierung von Evakuierungsplänen oder die Schulung von Personal des Katastrophenschutzes zeitlich schnell umzusetzen und sollten kurzfristig und ggf. wiederholt ergriffen werden. Des Weiteren sind Evakuierungspläne regelmäßig zu überarbeiten und die Bevölkerung wiederholt mit Hilfe von Informationsmaterialien zu sensibilisieren. Weitere Maßnahmen, wie der Ausbau und die Anpassung innerhalb des Katastrophenschutzes, sind Maßnahmen, deren Umsetzung mehr Zeit braucht.

Die meisten Maßnahmen sind Regret-Maßnahmen. Sie entfalten ihre volle Wirkung nur, wenn die vorhergesagten Wetterereignisse eintreten. Allerdings bringen die Maßnahmen ebenfalls Verbesserungen bei Extremwetterereignissen, wie sie heute bereits auftreten, etwa

der Hitzewelle im Jahr 2003. Auch die Verbesserung der Kommunikationssysteme der Katastrophenschutzorganisationen gilt als No-regret-Maßnahme, da eine Gewährleistung des Informationsflusses bei allen Einsätzen notwendig ist. Die Maßnahmen im Bereich Bevölkerungsschutz fallen nahezu vollständig in den Bereich der öffentlichen Hand, die den Katastrophenschutz der Bevölkerung gewährleistet. Synergien mit Maßnahmen treten in dem Querschnittsbereich mit vielen anderen Handlungsfeldern auf, z.B. Küsten- und Hochwasserschutz, Gesundheit, Verkehr und Bauwesen.

### Methodik der Studien

Zur Herleitung der Anpassungsmaßnahmen wird keine besondere Methodik verwendet. Viele Studien enthalten eine Sammlung von Vorschlägen für Anpassungsmaßnahmen, welche dann auch Maßnahmen im Rahmen des Bevölkerungs- und Katastrophenschutzes aufweisen.

Die Betrachtung der Kosten von Anpassungsmaßnahmen kann für bauliche Maßnahmen anhand von realen Investitionskosten vorgenommen werden, so wird z.B. bei Peter u.a. (2009) der Wert von Hochwasserinfrastruktur anhand der spezifischen Baukosten je Kilometer berechnet. Die Baukosten wurden anhand von Erfahrungswerten des schweizerischen BAFU auf der Basis von aktuellen Bauvorhaben bemessen. Die Kosten betragen dabei je nach Breite des Flusses (5 - 50 m) zwischen 1 und 8 Mio. CHF/km. Die Kosten für die Erneuerung von Deichen lassen sich ebenfalls auf Basis von bereits vorgenommenen Maßnahmen berechnen. Van Ierland (2007) geben für die Erneuerung von fünf anfälligen Deichabschnitten in den Niederlanden Kosten von 5 Mrd. Euro an. Eine Aufschlüsselung der Berechnung erfolgt in dem Zusammenhang nicht. Überflutungsflächen können aufgrund der Landpreise bzw. der entgangenen Einnahmen für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung der Flächen bewertet werden. Die Monetarisierung der Kosten und Nutzen für die Installation eines Hitzewarnsystems wird ausführlich bei Ebi et al. (2004) beschrieben. Die Mortalität nach Einführung des Hitzewarnsystems wurde mit der Mortalität vor der Installation des Systems verglichen. Die Betrachtung wurde für Tage vorgenommen, an denen das Hitzewarnsystem ausgelöst wurde, bzw. ausgelöst worden wäre. Als Monetarisierungsmethode wurde das Konzept des "valuation of statistical life" genutzt. Der Nutzen des Systems ergab sich für die Zeit von drei Jahren (1995-1998) mit US\$ 468 Mio. Hunt (o. J.) gibt den Nutzen verschiedener Anpassungsmaßnahmen als monetäre Größe an. Allerdings ist die angewandte Methodik zur Herleitung der Größen nicht dargestellt. Die Kosten werden dabei qualitativ in Form von anfallenden Kostengrößen erwähnt. Dabei werden z.B. Werte über den Nutzen der Veränderung von Raum- und Stadtplanung und von Gebäuden zur Anpassung an höhere Temperaturen von £ 3 bis 15 Mio. pro Jahr genannt.

### Bewertung der Quantität und Qualität der vorliegenden Studien

Die Auswertung der vorliegenden Studien zeigt, dass eine Anzahl von Anpassungsmaßnahmen im Bereich Bevölkerungsschutz bekannt sind. Der größte Teil umfasst Warnsysteme, Informationen zum Verhalten bei Extremwetterereignissen sowie bauliche und technische Maßnahmen zum Schutz der kritischen Infrastrukturen. Bei den hier untersuchten Studien wird nicht auf die Anpassung von Katastrophenschutzorganisationen, z.B. durch das Training von Mitarbeiter/innen, eingegangen. In den vorliegenden Studien werden verschiedene monetäre Daten zum Nutzen und Kosten von Anpassungsmaßnahmen erwähnt. Allerdings wird nur in wenigen Studien die angewendete Methodik näher

beschrieben. Die für eine Untersuchung notwendigen Daten (z.B. Todesfälle pro Hitzetag oder Investitionskosten für bauliche Maßnahmen) liegen in Deutschland vermutlich vor. Bei Todesfällen liegen diese voraussichtlich auf kommunaler Ebene vor, so dass ein Upscaling notwendig wird. Dabei besteht die Herausforderung typische Gemeinden bzw. Wetterereignisse oder Investitionsvorhaben zu definieren, von denen eine Betrachtung ausgehen kann.

### 3.16 Internationale Einflusskanäle

Deutschland wird als offene, exportorientierte Volkswirtschaft auch stark von Klimawirkungen in anderen Weltregionen betroffen sein. Wenn der Klimawandel in anderen Weltregionen zu (oft stärkeren) wirtschaftlichen Einbußen führt, so wirkt sich dies direkt oder indirekt auch auf Deutschland aus. Studien für andere Länder (z.B. für die Schweiz: INFRAS et al. 2007) weisen darauf hin, dass diese Einflüsse aus den übrigen Weltregionen mit großer Wahrscheinlichkeit gravierender sind als die Wirkungen auf nationaler Ebene. Obwohl diese internationalen Einflusskanäle nicht expliziter Bestandteil der deutschen Anpassungsstrategie sind – und damit nicht in den eigentlichen Fokus der vorliegenden Untersuchung fallen – sollen sie im Folgenden ob ihrer erheblichen Bedeutung für die deutsche Wirtschaft kurz umrissen werden.

Der Klimawandel wird sich vor allem über die folgenden internationalen Kanäle auf Deutschland auswirken:

**Handelsströme** (Exporte und Importe): Der Klimawandel führt weltweit zu wirtschaftlichen Einbußen und Schäden. Dies mindert die Kaufkraft der Weltregionen und auch die Struktur der Nachfrage. Ansteigen werden Ausgaben für Reparaturmaßnahmen zur Behebung der Klimaschäden sowie Ausgaben für die Versorgung mit Wasser und Grundnahrungsmitteln aufgrund der knapper werdenden Produktion im Bereich der Landwirtschaft. Dies geht zu Lasten der Nachfrage nach Importen von Waren und Dienstleistungen, insbesondere im Bereich der Luxusgüter.

**Migration:** Es ist davon auszugehen, dass der Klimawandel zu starken Migrationsbewegungen führen wird. So liegen z.B. 30 der 50 größten Städte der Welt am Meer. In Indien würde ein Meeresspiegelanstieg von einem Meter beispielsweise die Lebensgrundlage von sieben Millionen Menschen gefährden (vgl. Biermann 2001). Das IPCC (2007a) geht davon aus, dass die Anzahl der Klimaflüchtlinge stark steigen und allein die Zahl an Migranten aus Bangladesch, China, Indien, Ägypten sowie kleinen Inselstaaten bis 2050 mehrere zehn Millionen erreichen könnte (Infras et al. 2007).<sup>15</sup> Bei einem Anstieg der Migrationsströme wird auch in Europa als vom Klimawandel schwächer betroffene Region der Migrationsdruck steigen.

**Devisen- und Kapitalmarkt:** Der Klimawandel könnte auch einen erheblichen Einfluss auf die Kapitalmärkte haben. In den Weltregionen mit hoher Verwundbarkeit kann der Kapitalbedarf aufgrund von Reparaturmaßnahmen und klimabedingt verkürzten Lebensdauern von Investitionen erheblich ansteigen. Dies reduziert das Wachstums- und Produktionspotential der entsprechenden Länder, da das Kapital nicht für innovative und produktive Investitionen zur Verfügung steht. Wenn der Staat für die Finanzierung von Katastrophen und Anpassungsmaßnahmen stärker in Verantwortung gezogen wird, wirkt sich dies zudem negativ auf einen stabilen Staatshaushalt aus. Weiter sind erhebliche Veränderungen an den Devisenmärkten möglich, wenn sich für einige Regionen die Fundamentalfaktoren (geringeres Wachstumspotential, höhere Risiken) ändern. Europa und

---

<sup>15</sup> Im Einzelnen ist die Definition von Migranten als Klimaflüchtlinge jedoch mit vielen Schwierigkeiten behaftet, da in der Praxis oft ein Bündel von Gründen zur Auswanderung führt.

somit auch Deutschland sind vom Klimawandel unterdurchschnittlich stark betroffen. Sie können als relativ sichere Gebiete diesbezüglich eingeschätzt werden und somit unter Umständen für Finanzanlagen attraktiver werden.

**Technologische Entwicklung:** Künftige Technologieentwicklungen beeinflussen die Produktionsbedingungen und –kosten und die Vulnerabilität bzw. Anpassungsmöglichkeiten gegenüber dem Klimawandel. (z.B. in den Bereichen Wasserversorgung und Landwirtschaft). Daneben sind Technologieentwicklungen somit auch von Bedeutung für die Handelsströme. Regionen, die notwendige Technologien zur Anpassung nicht selbst produzieren, werden sie aus dem Ausland kaufen müssen. Der Technologietransfer in Entwicklungsländer wird somit für die Finanzierung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an Bedeutung zunehmen.

**Sicherheit:** Der Klimawandel verringert in etlichen Weltregionen die Wohlfahrt der Bevölkerung, verändert die Wirtschaftsbedingungen zum Teil erheblich, führt zu verstärkten Verteilungskämpfen und bedroht somit die internationale Stabilität und Sicherheit (Beschreibung regionaler Brennpunkte siehe WBGU (2007)) In den Regionen kann der Klimawandel z.B. die wirtschaftlichen Potenziale weiter schwächen, die Bedingungen für menschliche Sicherheit verschlechtern, schwelende Konflikte weiter verstärken, dicht besiedelte Großstädte und industrielle Ballungszentren wachsenden Sturm- und Flutrisiken aussetzen, was erhebliche ökonomischen und soziale Folgen haben wird. Wie beim Aspekt Migration beschrieben, kann dies verstärkt Migrationsbewegungen in weniger vom Klimawandel betroffene Regionen auslösen.

Anpassungen zur Reduzierung der Schäden über die internationalen Kanäle sind möglich, aber nicht in Deutschland allein zu ergreifen. Vielmehr sollte sich Deutschland zusammen mit anderen Industriestaaten z.B. dafür einsetzen, dass auch die ärmeren Länder mit Hilfe von Anpassungsmaßnahmen ihre Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel reduzieren können. Die in der Übereinkunft von Kopenhagen festgelegten Finanzhilfen (30 Mrd. US\$ zwischen 2010 und 2012 ansteigend auf 100 Mrd. US\$ pro Jahr bis 2020) sind ein Schritt in diese Richtung, gewährleisten aber noch keinen Erfolg im Bereich der Anpassung.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Auswahl einer wirtschaftlich angemessene Anpassungsstrategie und die Priorisierung der Anpassungsmaßnahmen stellen Entscheidungsträger vor komplexe Entscheidungen. So gilt es, Auswirkungen gegeneinander abzuwägen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten entstehen, die unterschiedlichen Handlungsfeldern betreffen, in die unterschiedliche Akteure mit ihren jeweiligen Anreizen und Interessen involviert sind, und die obendrein von Unsicherheiten und von Nichtwissen geprägt sind. Dazu kommt, dass es für die Anpassung an den Klimawandel keinen gemeinsamen Nenner gibt, auf den sich die Abwägung reduzieren ließe – im Unterschied zu Fragen der Emissionsminderung (Mitigation), bei denen die Vermeidung von Treibhausgasemissionen (in Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) einen solchen gemeinsamen Nenner darstellt. Vor diesem Hintergrund können ökonomische Analysen der Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen eine wichtige Hilfe liefern, um Maßnahmen in unterschiedlichen Handlungsfeldern vergleichbar zu machen und sie zu priorisieren. Im Gegensatz zu Emissionsminderungsmaßnahmen sind Kosten-Nutzen-Analysen von Anpassungsmaßnahmen jedoch bislang wenig verbreitet. Dieser Bericht liefert einen umfassenden Überblick über bisherige Arbeiten in den 15 Handlungsfeldern der DAS und zeigt Lücken und Beschränkungen der bisherigen Arbeiten auf, und formuliert daraus Erkenntnisse für die weiteren Arbeiten im Rahmen der DAS.

### 4.1 Zusammenfassung je Handlungsbereich

Die Analyse der Handlungsfelder macht deutlich, dass die Datenlage sehr unterschiedlich ist. Dies betrifft sowohl das Verständnis, wie genau der Klimawandel sich auf das jeweilige Handlungsfeld auswirken könnte, als auch die Kosten, die Wirksamkeit und somit den Nutzen von Maßnahmen, um diese Folgen des Klimawandels zu mindern. Im Folgenden werden für alle betrachteten Handlungsfelder kurz die wichtigsten Eindrücke dargelegt, was die Datenlage zu den Kosten des Klimawandels, sowie den Kosten und der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen anbelangt:

- Im Handlungsfeld **Gesundheit** werden Schäden vor allem über die Auswirkung der Temperaturerhöhung auf die Mortalität bestimmt, teilweise werden diese Auswirkungen auch als Schadenskosten angegeben. Allerdings werden einige Krankheiten nur selten betrachtet, z.B. Atemwegserkrankungen. Für das Handlungsfeld Gesundheit werden eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen genannt, allerdings meist ohne deren Kosten und Nutzen zu quantifizieren. Es befinden sich darunter vor allem „weiche“ Maßnahmen wie Informationen über gesundheitliche Gefahren und Risiken, Empfehlungen für Verhaltensänderungen sowie Aufklärung über die Möglichkeiten, Schäden zu verhindern. Zur Monetarisierung dient sowohl bei den Schadenskosten als auch beim Nutzen von Anpassungsmaßnahmen der „Value of statistical life“-Ansatz, der sich z.B. auf Befragungen zur Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung stützt. Des Weiteren werden Opportunitätskosten in Form von medizinischen Behandlungskosten, Arbeitsausfällen und Leistungseinbußen zur Bewertung herangezogen.
- Im Handlungsfeld **Bauwesen** werden Schadensfolgen von Extremwetterereignissen auf den Gebäudebestand analysiert. Zur Quantifizierung der finanziellen Schäden dienen meist die (ausbezahlten) Versicherungssummen ausgewählter historischer

Extremwetterereignisse, die jedoch nur einen Teil der tatsächlichen Schadenskosten abdecken. Eine Herausforderung besteht darin, die Kosten von Einzelereignissen auf die Wirkung des Klimawandels insgesamt hochzurechnen; hierzu bedarf es besserer Daten dazu, wie sich die Häufigkeit und Intensität von Stürmen und Starkniederschlägen in Zukunft verändern wird. Die Anpassungsmaßnahmen werden auf Basis der Investitionskosten von Einzelmaßnahmen zur Vermeidung der Schäden bewertet.

- Im Handlungsfeld **Wasser** steht eine vergleichsweise große Anzahl von Studien zur Verfügung. Die betrachteten Schäden und die angewandten Modellansätze und Bewertungsmethoden sind dabei sehr unterschiedlich. Im Bereich des Hochwasser- und Küstenschutzes werden, wie im Bauwesen, vor allem ausbezahlte Versicherungssummen zur Schätzung der Schäden verwendet. Dabei ist zu beachten, dass eine einfache Zeitreihenbetrachtung der ausbezahlten Versicherungssummen nicht zielführend ist, da neben dem Klimawandel verschiedene weitere Faktoren zum Anstieg der ausbezahlten Summen beitragen. Belastbarere Ergebnisse liefert auch hier die Hochrechnung anhand der aktuellen Schadenskosten für einzelne Ereignisse, verbunden mit der zukünftig erwarteten Häufigkeit des Eintritts solcher Schadensereignisse. Im Bereich Wasserversorgung lässt sich der Preisanstieg abschätzen, der bei einer Verknappung der zur Verfügung stehenden Wassermenge und einem damit einhergehenden Rückgang der Produktion folgt. Dieser Ansatz lässt sich vor allem in der Landwirtschaft anwenden. Aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive beziffern einzelne Studien auch den Einfluss zunehmender Wasserknappheit auf Wirtschaftswachstum und Beschäftigung. Im Bereich Hochwasserschutz, Küstenschutz und Wasserversorgung steht aufgrund der Breite des Handlungsfelds und der langen Erfahrung eine große Anzahl von Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung. Allerdings werden die Kosten meist anhand einzelner, verfügbarer Maßnahmenbeispiele auf den entsprechenden jeweiligen Bezugsrahmen hochgerechnet, wobei unklar ist, inwiefern die Beispiele repräsentativ sind. Außerdem ist in vielen Fällen unklar, welcher Anteil der prognostizierten Schäden mit Hilfe der identifizierten Maßnahmen überhaupt vermieden werden kann.
- Für das Handlungsfeld **Biologische Vielfalt** lässt sich aus den verfügbaren Studien grob schätzen, wie sich die Artenvielfalt aufgrund des Klimawandels verändern kann. Diese Schätzungen sind allerdings noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Eine Monetarisierung der Veränderungen der biologischen Vielfalt findet bislang noch kaum statt. Auch wenn die monetäre Bewertung der Biodiversität und ihres Verlustes in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit erfahren hat, etwa im Rahmen der TEEB-Studie (vgl. European Communities 2008), liegen bislang in Deutschland keine empirischen Anwendungen dieses Ansatzes vor, die einen Bezug auf Klimawandel und Anpassung für Deutschland haben. Alternativ wird der Ansatz der Opportunitätskosten in Form von Wiederherstellungskosten beschrieben. Ebenfalls begrenzt ist das Wissen um die Effektivität und Effizienz von Anpassungsmaßnahmen, mit denen sich der klimabedingte Verlust an Artenvielfalt vermeiden lässt. So werden bei der Beschreibung von Anpassungsmaßnahmen keine systematischen Kostenbetrachtungen durchgeführt. Vereinzelt werden mögliche einzelne Kostenkomponenten genannt, z.B. Kosten für die Einrichtung von Schutzgebieten oder Landpreise bei der Einrichtung von Naturschutzzonen. Eine deutschlandweite Extrapolation anhand dieser Daten gestaltet sich aber schwierig. Zudem lässt sich in der Regel nicht quantifizieren, welcher Teil dieser Kosten spezifisch der Anpassung an den Klimawandel dient, und welcher Teil dem Schutz der Artenvielfalt allgemein.

- Im Zentrum von Studien im Handlungsfeld **Boden** stehen die Bodenerosion und damit verbundene Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Zur Bestimmung der Kosten kommen dabei meist der Opportunitätskostenansatz sowie entgangene Einnahmen anhand von Ernterückgängen zum Einsatz. Die Abgrenzung zum Handlungsfeld Landwirtschaft ist daher in diesem Bereich schwierig. Die untersuchten Studien liefern zudem keine Angaben zu den Kosten von Anpassungsmaßnahmen. Der wirtschaftliche Wert vermiedener Bodenerosion lässt sich über direkte Kosten für Schutzmaßnahmen schätzen, die sich anhand standardisierter Daten beziffern lassen.
- Für das Handlungsfeld **Landwirtschaft** liegt eine große Zahl von Studien vor, die meist regionalspezifische Daten aufbereiten. Der Wert der Ernterückgänge und -anstiege lässt sich mit Hilfe von entgangenen bzw. zusätzlichen Einnahmen bewerten, dies geschieht sowohl für die Schadenkosten des nicht vermiedenen Klimawandels, als auch – im Umkehrschluss – für die Berechnung des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen durch vermiedene Schäden. Für Schadenkosten kommen zudem Daten vergangener Schadenkosten durch Extremwetterereignisse zur Anwendung. Das Problem im Bereich der Landwirtschaft besteht in den großen regionalen Unterschieden der Auswirkungen des Klimawandels. Dies erschwert Hochrechnungen und aggregierte Betrachtungen. Grundsätzlich stellt sich die Datenlage für den Pflanzenbau erheblich besser da als für die Viehzucht.
- Im Bereich **Wald- und Forstwirtschaft** liegen Daten zu Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Baumarten und Waldbestände vor. Zudem stehen Informationen für eine Reihe von möglichen Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung. Allerdings konnte keine Studie gefunden werden, die die Auswirkungen des Klimawandels oder die Kosten und Wirkung von Anpassungsmaßnahmen in Geldeinheiten beziffert. Als möglicher Ansatz bietet sich an, den Ertrag von Nutzholz und weiteren Produkten heranzuziehen. Da Wälder vielfältige Funktionen liefern und verschiedene menschliche Nutzungen erlauben, kann dies aber nur einen ersten Ansatzpunkt darstellen.
- Für den **Fischereisektor** bestehen momentan noch hohe Unsicherheiten bei den Auswirkungen des Klimawandels. Hinzu kommt, dass die Problematik der Überfischung kurz- und mittelfristig vordringlicher ist als die Folgen des Klimawandels. Es wurden jedoch bereits Maßnahmen vorgeschlagen, die gleichzeitig als Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel dienen können. Die vorhandenen Studien sehen die Berechnung über entgangene Einnahmen vor als Ansatz zur Bewertung möglicher Klimafolgen und des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen. Zudem lassen sich die Kosten von Anpassungsmaßnahmen abschätzen anhand den bereits entstandenen Kosten für Maßnahmen gegen die Überfischung. Grundsätzlich liegen in diesem Handlungsfeld aber kaum Kosten- und Nutzenberechnungen vor.
- Im Bereich **Energie** ist die Datenlage und die vorhandene Methodik recht gut entwickelt, zumal in diesem Bereich die Betreiber von Kraftwerken und Netzen ein erhebliches wirtschaftliches Eigeninteresse an effektiver Anpassung haben. Zudem bietet sich die Monetarisierung anhand der Marktpreise für Strom und Wärme an, problematisch sind hierbei allenfalls die Annahmen zur zukünftigen Entwicklung dieser Preise. Größere Unsicherheiten bestehen hier in den Annahmen über die Art und Form der zukünftigen Energiesysteme, und in der Prognose der zukünftig eintretenden Extremwetterereignisse und ihren Auswirkungen auf die Energiesysteme. Ebenfalls fehlen Studien, welche die Auswirkungen einer geringeren Systemstabilität der Energieversorgung auf weitere Wirtschaftssektoren und die Gesellschaft untersuchen. Bewertungen von Kosten oder

Nutzen von Anpassungsmaßnahmen fanden bisher noch nicht statt. Für die Berechnung der Kosten werden tatsächliche Betriebs- und Investitionskosten vorgeschlagen. Diese Daten liegen im Prinzip vor, sind aber ggf. nicht öffentlich zugänglich. Der Nutzen ergibt sich daraus, wie weit einzelne Anpassungsmaßnahmen zur Sicherstellung der Energieversorgung beitragen können, und in wie weit dies dazu beiträgt, Versorgungsunterbrechungen und die damit verbundenen Kosten zu vermeiden.

- Für den Bereich der **Finanzen und Versicherungen** liegen bisher keine Studien vor, die global oder für Deutschland Aussagen zur Entwicklung der versicherten Schäden treffen. Eine Betrachtung von Anpassungsmaßnahmen erfolgt deshalb auf Basis der Entwicklung von versicherten Schäden in der Vergangenheit. Eine quantitative Betrachtung des Nutzens der Maßnahmen ist erst möglich, wenn fundiertere Prognosen zu Versicherungsschäden vorliegen.
- Die Betrachtung der Schäden durch den Klimawandel findet im Bereich **Verkehr** bisher in wenigen Studien statt und sind eher qualitativer Art. Schäden werden meist anhand von historischen Ereignissen quantifiziert, vor allem Überschwemmungen. In den untersuchten Studien werden bereits einige Anpassungsmaßnahmen genannt, deren Wirkungen jedoch nicht in Geldeinheiten bewertet wird. Ansätze zur Quantifizierung können aber u.a. bei den Investitions- und Betriebskosten für vergleichbare Vorhaben ansetzen.
- Für die Quantifizierung von Klimafolgen und dem Nutzen von Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld **Industrie und Gewerbe** dienen vor allem die ausbezahlten Versicherungssummen vergangener Extremwetterereignisse. Allerdings bestehen dabei mehrere methodische Probleme, wie die Prognose der künftigen Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen. Zudem bilden die Versicherungszahlungen nur einen Teil der Schäden ab (vgl. auch die Ausführungen zu den Handlungsfeldern Bauwesen und Wasser). Insgesamt ist festzustellen, dass in diesem Handlungsfeld bisher weit weniger Aufwand für die Kostenermittlung betrieben wurde als in den – grundsätzlich ähnlich gelagerten – Handlungsfeldern Bauwesen oder Wasser. Schließlich beschränken sich die bisher betrachteten Anpassungsmaßnahmen auf Schäden an Anlagen und Gebäuden. Das bedeutet insgesamt für den Bereich, dass eine Quantifizierung (und insbesondere Monetarisierung) bisher nur in Ansätzen möglich ist.
- Für den **Tourismusbereich** liegen diverse Studien vor, die sich mit der klimabedingten Verlagerung von Touristenströmen beschäftigen. Teilweise decken diese nur Teilgebiete Deutschlands und einzelne Jahreszeiten ab, z.B. Wintertourismus in den Alpen. Um mögliche Folgen durch eine Veränderung der Touristenströme zu monetarisieren, werden die Urlaubstage der Besucher mit den durchschnittlichen Ausgaben pro Urlaubstag multipliziert. In der gesichteten Literatur finden sich Angaben zu den Kosten der Anpassung für einige wenige Maßnahmen, so z.B. für künstliche Beschneigung, anhand der tatsächlichen Investitions- bzw. Betriebskosten von bereits durchgeführten Projekten.
- Für den Querschnittsbereich **Raum-, Regional- und Bauleitplanung** liegen bisher kaum quantitative Ergebnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels auf räumliche Strukturen und deren Nutzung vor. Viele andere Handlungsfelder umfassen Anpassungsmaßnahmen zur Optimierung räumlicher Strukturen, allerdings werden Raum-, Regional- und Bauleitplanung nur in wenigen Studien integriert betrachtet. Ansätze zur Quantifizierung können aus den einzelnen Handlungsfeldern übertragen

werden. Zur Anwendung kommen diese Ansätze bislang jedoch kaum, so dass nur wenige quantifizierte Angaben zu Anpassungsmaßnahmen vorliegen. Es existieren einzelne ausländische Studien, die das Thema übergreifender betrachten. Allerdings können diese nur schlecht übertragen werden, da die Rahmenbedingungen für Raum- und Regionalplanung stark voneinander abweichen.

- Für den **Bevölkerungsschutz** zeigt sich wie beim Querschnittsbereich Raum-, Regional- und Bauleitplanung, dass bisher keine Studien vorhanden sind, die die Aspekte des Bevölkerungsschutzes integral betrachten. In einigen Studien werden unter Naturgefahren mehrere relevante Ereignisse wie Lawinen, Überschwemmungen und Stürme gemeinsam bewertet. Ansonsten muss auf sektorale Studien zurückgegriffen werden. Dabei werden relevante Auswirkungen des Klimawandels, wie Hitzewellen oder Überschwemmungen, anhand von vergangenen Ereignissen erfasst und auf Grundlage historischer Kosten monetär bewertet. Nicht betrachtet wurde bislang, welche Herausforderungen der Klimawandel für die Organisation des Katastrophenschutzes und die durchführenden Behörden und Vereine stellt, und zu welchen Kosten dies führen kann. So werden etwa Maßnahmen wie das Training und der Kapazitätsaufbau von Katastrophenschutzorganisationen bisher nicht betrachtet.

Insgesamt stellt sich die Datenlage für die wirtschaftliche Analyse von Anpassungsmaßnahmen somit recht heterogen dar. In einigen Handlungsfeldern ist bereits die Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf das Handlungsfeld mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, so z.B. in der Fischerei oder beim Schutz der Biodiversität. In anderen Handlungsfeldern sind die Auswirkungen besser untersucht, die Methodik für die Monetarisierung von Schäden schon recht gut entwickelt und die entsprechenden Methoden etabliert, so z.B. im Handlungsfeld Gesundheit mit der Bewertung durch den „Value of statistical life“. In wieder anderen Bereichen, wie z.B. Energie, ist eine monetäre Bewertung anhand von Marktpreisen relativ leicht möglich, wobei hier natürlich durch den Umbau des Energiesystems erhebliche Unsicherheiten entstehen, auch was die zukünftige Preisentwicklung anbelangt. Im Handlungsfeld Landwirtschaft können entgangene oder zusätzliche Einnahmen anhand der Veränderung der Erntemengen ebenfalls vergleichsweise geschätzt werden, wobei auch hier durch die ungewisse Preisentwicklung in Zukunft Unsicherheiten entstehen. Für den Bereich Wasser, Bevölkerungsschutz oder Bauwesen werden typischerweise Daten zu vergangenen Schäden bei eingetretenen Extremwetterereignissen genutzt, wobei hier die Unsicherheit in den Vorhersagen der Quantität und Intensität von zukünftigen Extremwetterereignissen besteht. Für alle Handlungsfelder, in denen Versicherungssummen als Maß für die Schäden herangezogen werden (also bspw. Wasser, Gebäude, Industrie etc.), gilt die Einschränkung, dass bei den vergangenen Schäden in der Regel nur die versicherten Schäden erfasst werden. Schließlich besteht bei einigen Handlungsfeldern das Problem, dass die Auswirkungen des Klimawandels und die Kosten und Nutzen der Anpassung primär solche Güter betreffen, die nicht auf Märkten gehandelt werden und für die es daher keinen Marktpreis gibt. Dies betrifft insbesondere die Handlungsfelder Biologische Vielfalt sowie Wald- und Forstwirtschaft (bspw. die Ökosystemleistungen von Wäldern und Naturschutzgebieten). Für die monetäre Bewertung dieser Effekte sind zwar grundsätzlich methodische Ansätze vorhanden, allerdings ist deren Anwendung aufwändig, und dementsprechend die Datenlage hier dünn. Insgesamt gilt aber, dass die Unsicherheiten über die zukünftige Schadensentwicklung und die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen in den meisten Handlungsfeldern eine viel stärkere Einschränkung darstellt als die Problematik nicht marktgängiger Güter.

## 4.2 Zusammenfassung zu methodischen Aspekten

Zur Bewertung der Kosten von Anpassungsmaßnahmen werden vor allem die realen Kosten bereits durchgeführter, ähnlicher Projekte herangezogen, z.B. Investitions- und Betriebskosten im Bereich Verkehr, Energie oder Hochwasserschutz. Als Nutzen von Anpassungsmaßnahmen werden die vermiedenen Schadenskosten betrachtet, hierzu müssen diese den einzelnen Anpassungsmaßnahmen zugerechnet werden. Probleme bei der Berechnung können aber z.B. auftreten, wo Synergien zwischen verschiedenen Anpassungsmaßnahmen bestehen, oder auch bei prozessbezogenen Maßnahmen, die erst die Voraussetzungen zur Durchführung anderer Maßnahmen schaffen. Wichtig ist hierbei, bei der Kosten-Nutzen-Analyse von Anpassungsmaßnahmen nur die Schadenskosten zu betrachten, die sich durch die vorgeschlagenen Maßnahmen tatsächlich vermeiden lassen. Unzulässig dagegen ist es, die erwarteten Kosten des Klimawandels insgesamt den Kosten der Anpassungsmaßnahmen gegenüberzustellen und damit zu unterstellen, dass sich alle Klimaschäden mit den Maßnahmen verhindern ließen.

Hinsichtlich der methodischen Fragen, die in Kapitel 2 diskutiert werden, liefert die Analyse die folgenden Ergebnisse:

- **Zeitliche Dimension:** Die verschiedenen Zeithorizonte einer Maßnahme (Zeithorizont bis zur Umsetzung, Dauer der Umsetzung, Zeitspanne bis zur Entfaltung der Wirkung) werden in kaum einer der untersuchten Studien betrachtet, oder nur am Rande genannt. Für die ökonomische Bewertung einer Anpassungsstrategie spielt aber gerade diese Information zur zeitlichen Umsetzung eine wichtige Rolle, da sich daraus auch Informationen zur Priorisierung ergeben.
- **Integrationsgrade:** Im Rahmen der bisherigen Studien werden vor allem objektbezogene Maßnahmen vorgeschlagen. Dabei sind einige Handlungsfelder besonders auf objektbezogene Maßnahmen ausgerichtet. Dies sind vor allem Handlungsfelder, bei denen Ökosysteme direkt vom Klimawandel betroffen sind, z.B. Landwirtschaft, Boden oder biologische Vielfalt. Prozess- und subjektbezogene Maßnahmen werden etwa gleich häufig erwähnt. Subjektbezogene Maßnahmen finden sich vor allem in den Handlungsfeldern Gesundheit, Bevölkerungsschutz und Finanzwirtschaft. Raum-, Regional- und Bauleitplanung sind geprägt von prozessbezogenen Maßnahmen.
- **Abgrenzung regret/no-regret:** Die untersuchten Studien behandeln sowohl regret- als auch no-regret-Maßnahmen. Es wird dabei mehrfach erwähnt, dass bei der Auswahl von Maßnahmen innerhalb eines Handlungsfelds eine Umsetzung bei no-regret-Maßnahmen beginnen sollte. Die Tatsache, dass die Auswirkungen des Klimawandels mit Unsicherheit behaftet sind, fällt weniger ins Gewicht, wenn die Maßnahmen zu weiteren ökologischen Zielen beitragen, wenn sie z.B. auch dem Schutz der Artenvielfalt dienen, die Überfischung begrenzen oder Bodenerosion vermeiden helfen.
- **Abgrenzung privat/öffentlich:** Die ausgewerteten Studien wurden zumeist aus öffentlichen Mitteln finanziert und konzentrieren sich weitgehend auf Maßnahmen, die im Verantwortungsbereich der öffentlichen Hand liegen bzw. an der Schnittstelle privat-öffentlich. Einige Studien wurden jedoch auch von privaten Akteuren beauftragt und legen den Fokus auf Maßnahmen, die im rein privaten Bereich liegen. Eine starke Rolle der öffentlichen Hand ist dabei in den Handlungsfeldern besonders wichtig, in denen hoheitliche Aufgaben berührt sind, z.B. im Bevölkerungsschutz und Katastrophenschutz sowie

der Gesundheitsversorgung. Dies trifft ebenfalls auf Infrastrukturprojekte im Verkehr oder auch im Hochwasserschutz zu.

- Räumliche Abgrenzung: Für einige Handlungsfelder lassen sich Erkenntnisse aus dem europäischen Ausland nutzen, um die Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen zu schätzen. In anderen Fällen lassen sich diese Ergebnisse nicht übertragen, da die Bewertung stark von den lokalen Gegebenheiten abhängt. Dies betrifft die Raum-, Regional- und Bauleitplanung und den Bevölkerungsschutz, aber auch den Tourismus.

### 4.3 Lehren für die weiteren Arbeiten und Ausblick

Die Bewertung der Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ist in Deutschland bislang wenig verbreitet. Und auch quantifizierte Angaben zu den erwarteten Wirkungen des Klimawandels und der Wirksamkeit möglicher Anpassungsmaßnahmen, die als Grundlage für Kosten-Nutzen-Analysen dienen könnten, liegen bisher nur unvollständig vor. Am besten stellt sich die Datenlage noch in Feldern wie Hochwasser- und Küstenschutz dar, in denen es einerseits schon einige Erfahrung mit der Planung von Maßnahmen gibt, die sich auf die Anpassung an den Klimawandel übertragen lassen, und in der Wirtschaftlichkeitsrechnungen schon in der Vergangenheit eine gewisse Rolle gespielt haben. Insofern spiegelt die Datenlage zu den Kosten und Nutzen der Anpassung den allgemeinen Befund wieder, wonach Kosten-Nutzen-Analysen in Deutschland insgesamt nicht sehr weit verbreitet sind, und sich zudem meist auf einzelne Maßnahmen oder allenfalls auf bestimmte Sektoren konzentrieren, aber praktisch nie für sektorenübergreifende Vergleiche eingesetzt werden.

Wie in dem vorliegenden Bericht gezeigt wurde, bieten sich allerdings in verschiedenen Bereichen Ansatzpunkte für die monetäre Bewertung von Kosten und Nutzen. Dies betrifft insbesondere die „marktnahen“ Handlungsfelder wie Energie, Landwirtschaft oder Tourismus, bei denen sich der Nutzen von Anpassungsmaßnahmen in der Herstellung von marktgängigen Produkten ausdrückt, zu deren Bewertung Marktpreise dienen können. Ebenfalls weitgehend etabliert ist die wirtschaftliche Bewertung im Bereich Gesundheit, so dass hier auf entsprechende Vorarbeiten aufgebaut werden kann. Schwieriger gestaltet sich die Bewertung der Nutzen in den „naturnahen“ Handlungsfeldern, insbesondere Biodiversität und Boden, aber auch Land- und Forstwirtschaft und Wasserwirtschaft. In diesen Handlungsfeldern fällt zumindest ein Teil des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen in Form nicht marktgängiger Werte an, etwa in Form eines verbesserten Zustands von Ökosystemen und besserer Qualität der Dienstleistungen, die Ökosysteme erbringen. Da diese Leistungen nicht gehandelt werden, muss die Bewertung mittels geeigneter empirischer Methoden vorgenommen werden, etwa durch Befragungen. Dies ist grundsätzlich möglich und methodisch etabliert; allerdings sind die Methoden z.T. aufwändig und die vorliegende Datenbasis entsprechend dünn und lückenhaft.

Bei der Betrachtung der Kosten von Anpassungsmaßnahmen stellt sich die Datenlage ebenfalls unterschiedlich dar. Vergleichsweise gut abgedeckt sind Handlungsfelder, bei denen Kosten im wesentlichen in Form von Investitionskosten oder Betriebskosten anfallen. Für deren Kosten kann oft auf Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten zurückgegriffen werden, z.B. bei Infrastrukturprojekten im Verkehrs- oder Energiebereich oder in der Wasserwirtschaft.

Eine bundesweite Bewertung der Kosten und Nutzen erscheint zudem nur für wenige Handlungsfelder und Anpassungsmaßnahmen möglich. Für viele Anpassungsmaßnahmen wird dagegen eine Betrachtung nur für einzelne Regionen möglich sein, wobei nicht absehbar ist, ob diese eine Hochrechnung auf Bundesebene erlauben. Die zeitliche Dimension wurde in der Literatur selten explizit gemacht, hier ist für weitere ökonomische Analysen unbedingt eine weitere, vertiefte Betrachtung notwendig.

## 5 Referenzen

- Ackerman, F.; Stanton, E. (2006): Climate Change – the Costs of Inaction. Global Development and Environment Institute, Tufts University, Medford, MA. Online verfügbar unter: [http://www.foe.co.uk/resource/reports/econ\\_costs\\_cc.pdf](http://www.foe.co.uk/resource/reports/econ_costs_cc.pdf).
- Ackerman, F.; Stanton, E. (2008): The Cost of Climate Change. What we'll pay if global warming continues unchecked. National Resource Defense Council, May 2008
- Agrawala, S. et al. (2010), "Plan or React?: Analysis of Adaptation Costs and Benefits Using Integrated Assessment Models", OECD Environment Working Papers, No. 23, OECD Publishing. Online verfügbar unter: doi: 10.1787/5km975m3d5hb-en.
- Agrawala, S., Fankhauser, S. (Ed.) (2008): Economic Aspects of Adaptation to Climate Change - Cost, Benefits and Policy Instruments. OECD Report, OECD, Paris.
- Agrawala, S. (Ed.) (2007): Climate Change in the European Alps. Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management. OECD, Paris. Online verfügbar unter: [http://www.sourceoecd.org/Präsentation environment/9264031685](http://www.sourceoecd.org/Präsentation%20environment/9264031685).
- Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.) (2009): Klimawandel als Aufgabe der Regionalplanung, Positionspapier aus der ARL, Nr. 81, Hannover 2009.
- Akbari, H., Menon, S.; Rosenfeld, A. (2009): Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO<sub>2</sub>, in: Climate Change Vol. 95.
- Alberini, A.; Chiabai, A. (2005): Urban Environmental Health and Sensitive Populations: How Much are the Italians Willing to Pay to Reduce Their Risks?, Fondazione Eni Enrico Mattei, Online verfügbar unter: <http://www.feem.it/getpage.aspx?id=1452&sez=Publications&padre=73>.
- Alberini, A.; Scasny, M.; Braun Kohlova, M. (2005): The Value of a statistical Life in the Czech Republik: Evidence from a Contingent Valuation Study. Paper submitted for presentation at the EAERE annual meeting, Bremen, 23-26 June 2005. University of Maryland, College Park, MD, January 2005. Online verfügbar unter: <http://www.webmeets.com/files/papers/EAERE/2005/24/alberini%20scasny%20EAERE%202005.pdf>.
- Alcama, J., u.a. (2005): Klimawandel und Landwirtschaft in Hessen: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge. Abschlussbericht des Wissenschaftlichen Zentrums für Umweltsystemforschung (USF) – Universität Kassel, Kassel. Online verfügbar unter: <http://www.hlug.de/klimawandel/inklim/dokumente/endberichte/landwirtschaft.pdf>.
- Amato, A.D. et al. (2005): Regional Energy Demand Responses to Climate Change: Methodology and Application to The Commonwealth of Massachusetts. In: Climatic Change, Vol. 71, 175–201.
- Angst, C. (2007): Wald und Klimawandel. Forum für Wissen 2006. In: Wald und Holz. 1/2007.
- Arnason, R., Hannesson, R., Schrank, W.E. (1999): Costs of Fisheries Management: The Cases of Iceland, Norway and Newfoundland. Online verfügbar unter: [http://www.hi.is/~ragnara/documents/Projects/Fisheries%20Management%20Costs/Papers/Joint%20paper%20\(final\).doc](http://www.hi.is/~ragnara/documents/Projects/Fisheries%20Management%20Costs/Papers/Joint%20paper%20(final).doc).

- Barredo, J.; Lavalle, C.; Kasanko, M.; Sagris, V.; Brezger, A.; McCormick, N. (2004): Climate change impacts on floods in Europe Towards a set of risk indicators for adaptation. Technical report EUR 21472 EN des Institut für Environmental Studies im Auftrag des Joint Research Centre der EU Kommission. Available at [http://moland.jrc.ec.europa.eu/documents/EUR\\_21472\\_2004\\_FLOODS-CC-Urban.pdf](http://moland.jrc.ec.europa.eu/documents/EUR_21472_2004_FLOODS-CC-Urban.pdf).
- BAST (2010): Positionspapier zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Straßeninfrastruktur in Deutschland.
- Baumüller, J. (2008): Stadtklima im Klimawandel. S. 108-114. In: Lozan, J. et al. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken; Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, GEO Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg.
- BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) (2008): Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland. BBR-Online-Publikation Nr. 10/2008. Berlin/Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)/ Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Available at <http://d-nb.info/988933985/34>.
- Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2008): Damit der Elbe nicht zu heiß wird - Neuer Wärmeplan für die Tideelbe. Online verfügbar unter: <http://www.hamburg.de/pressearchiv-fhh/1041214/2008-12-23-bsu-waermelastplan.html>.
- Behrens, A., Georgiev, A., Carraro, M. (2010): Future Impacts of Climate Change across Europe, CEPS Working Document No. 324/February 2010, CEPS, Brussels.
- Berkhout, F.; Hertin, J.; Arnell, N. (2004a): Business and climate change: Measuring and enhancing adaptive capacity. Technical Report no. 11, Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich (UK). Available at [http://www.tyndall.ac.uk/research/theme3/final\\_reports/it1\\_23.pdf](http://www.tyndall.ac.uk/research/theme3/final_reports/it1_23.pdf).
- Berkhout, F.; Hertin, J.; Gann, D.M. (2004b): Learning to adapt: Organizational adaptation to climate change impacts, Tyndall Centre Working Paper Series, No.47, Tyndall Centre.
- Berritellaa, M. et al. (2004): A General Equilibrium Analysis of Climate Change Impacts on Tourism. EEE Working Papers Series - N. 17. Online verfügbar unter: <http://users.ictp.it/~eee/files/wp17.pdf>.
- Berry, P. (2007): Adaptation Options on Natural Ecosystems. A report to the UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division. Online verfügbar unter: [http://unfccc.int/cooperation\\_and\\_support/financial\\_mechanism/financial\\_mechanism\\_gef/items/4054.php](http://unfccc.int/cooperation_and_support/financial_mechanism/financial_mechanism_gef/items/4054.php).
- Berry, P. et al. (2006): Biodiversity. Task 3 Report –Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Project E – Quantify the cost of future impacts. Metroeconomica Limited for DEFRA.
- Bettgenhäuser, K.; Boermans, T. (2011): Umweltwirkungen von Heizungssystemen in Deutschland. Umweltbundesamt, UBA-Texte Climate Change 02/2011, Dessau-Roßlau.
- Bettgenhäuser, K.; Boermans, T.; Offermann, M.; Krechting, A.; Becker, D. (2011): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. Umweltbundesamt, UBA-Texte Climate Change 10/2011, Dessau-Roßlau.
- Bigano, A.; Bosello, F.; Roson, R.; Tol, R.S.J. (2006): Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: A Joint Analysis for Sea Level Rise and Tourism. FEEM Working Paper No. 135.2006, Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM), Milan.

- Bigano, A.; Hamilton, J. M.; Tol, R. S. J. (2007): The impact of climate change on domestic and international tourism: A simulation study. In: IAJ, Vol. 7, Iss. 1, 25-49.
- Bindi, M., Howden, M. (2004): Challenges and opportunities for cropping systems in a changing climate. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Online verfügbar unter: [www.regional.org.au/au/pdf/asa/2004/1792\\_bindi.pdf](http://www.regional.org.au/au/pdf/asa/2004/1792_bindi.pdf).
- BMI (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie).
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2007): Time to Adapt – Climate Change and the European Water Dimension. Discussion Paper: Electricity. Online verfügbar unter: <http://www.climate-water-adaptation-berlin2007.org/documents/electricity.pdf>.
- BMVBS, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2009a): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung „Climate-Proof Planning“, BBSR-Online-Publikation, Nr. 26/2009.
- BMVBS, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2009b): Entwurf eines regionalen Handlungs- und Aktionsrahmens Klimaanpassung („Blaupause“), Ein Zwischenergebnis der Vorstudie für Modellvorhaben zu Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel.
- Böhm, J. (2008): Potentielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Eigenschaften und Entwicklung der Böden Schleswig-Holsteins. Eine Abschätzung anhand von Prognosen des regionalen Klimamodells WETTREG. Diplomarbeit, Leibniz Universität Hannover, Online verfügbar unter: [http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/BodenAltlasten/035\\_\\_Boden\\_\\_Klimawandel/02\\_\\_Auswirkungen\\_\\_Boden/PDF/Diplomarbeit\\_\\_JohannaBoehm,templateId=raw,property=publicationFile.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/BodenAltlasten/035__Boden__Klimawandel/02__Auswirkungen__Boden/PDF/Diplomarbeit__JohannaBoehm,templateId=raw,property=publicationFile.pdf).
- Bosello, F., de Cian, E., Roson, R. (2007): Climate Change, Energy Demand and Market Power in a General Equilibrium Model of the World Economy. Working Papers, Department of Economics, Ca' Foscari University of Venice, No. 09/WP/2007. Online verfügbar unter: <http://ssrn.com/abstract=1000843>.
- Bosello, F.; Roson, R.; Tol, R. S.J. (2005): Economy-Wide Estimates of the Implications of Climate Change: Human Health, Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM), Venice.
- Botzen, W. J. W. und J. C. J. M. van den Bergh (2008): Insurance against climate change and flooding in the Netherlands: Present, Future, and Comparison with other countries, in: Risk Analysis, Vol. 28, No. 2, 2008.
- Boyd, R.; Walton, H. (2006): Transport. Task 3 Report –Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Project E – Quantify the cost of future impacts. Metroeconomica Limited for DEFRA.
- Brand-Sassen, H. (2004): Bodenschutz in der deutschen Landwirtschaft – Stand und Verbesserungsmöglichkeiten. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen. Online verfügbar unter: <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2004/brandt-sassen/brandt-sassen.pdf>.
- Broadmeadow, M. (2000): Climate Change - Implications for Forestry in Britain. Information Note. April 2000, Online verfügbar unter: [http://www.forestry.gov.uk/PDF/fcin31.pdf/\\$FILE/fcin31.pdf](http://www.forestry.gov.uk/PDF/fcin31.pdf/$FILE/fcin31.pdf).
- Broadmeadow, M. et al. (2004): Climate change and British woodland: what does the future hold? In: Forest Research Annual Report and Accounts 2002–2003. 70-83. Online verfügbar unter: [http://www.forestry.gov.uk/pdf/frclimatechange0203.pdf/\\$FILE/frclimatechange0203.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/frclimatechange0203.pdf/$FILE/frclimatechange0203.pdf).

- BfN (2008): Daten zur Natur 2008. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Bürki, R.; Elsasser, H.; Abegg, B. (2003): Climate Change - Impacts on the Tourism Industry in Mountain Areas. Beitrag auf 1st International Conference on Climate Change and Tourism, Djerba, 9-11 April 2003.
- Burton, I., Kates, R.W., White, G.F. (1993). The Environment as Hazard. Second Edition. Guildford Press, New York.
- Bux, K. (2006), "Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfsanalyse für weitere Forschungen," Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Forschung Projekt F 1987.
- Bye, T.A. (2002): Climate Change and Energy Consequences. Statistics Norway Research Department, Oslo. Online verfügbar unter: [http://www.ssb.no/emner/01/02/doc\\_200209/doc\\_200209.pdf](http://www.ssb.no/emner/01/02/doc_200209/doc_200209.pdf).
- Christensen, et al. (2004): The Effects Of Climate Change on the Hydrology and Water Resources of the Colorado River Basin. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Seattle, WA. Online verfügbar unter: [http://www.colorado.edu/colorado\\_river/docs/Christensen\\_2004.pdf](http://www.colorado.edu/colorado_river/docs/Christensen_2004.pdf).
- Ciscar, J.-C. (Ed.) (2009): Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project. 2009. Joint Research Centre Scientific and Technical Report, Online verfügbar unter: <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2879>.
- Dannenberg, A.; Mennel, T.; Osberghaus, D.; Sturm, B. (2009): The Economics of Adaptation to Climate Change – The Case of Germany. Discussion Paper No. 09-057, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim.
- Darmendrail, D. et al. (2004): Assessing the Economic Impacts of Soil Degradation - Final Report. Volume II: Case Studies and Database Research. Online verfügbar unter: [http://ecologic.eu/download/projekte/1950-1999/1962/1962\\_soil\\_economics\\_2\\_case\\_studies.pdf](http://ecologic.eu/download/projekte/1950-1999/1962/1962_soil_economics_2_case_studies.pdf).
- DAS (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Beschlossen vom Bundeskabinett am 17.12.2008.
- De Bruin, K.; Dellink, R.; Agrawala, S. (2009): Economic Aspects of adaptation to climate change: Integrated assessment modelling of adaptation costs and benefits. OECD Environment Working Papers, No. 6, OECD Publishing. Online verfügbar unter: <http://www.oecdilibrary.org/docserver/download/fulltext/5ksm3715ql23.pdf?expires=1276778607&id=0000&accname=freeContent&checksum=29A8BC0E7EC2C4B330E5360550526649>.
- De Groot, R.S. et al. (2006): Climate adaptation in the Netherlands. Bilthoven. Online verfügbar unter: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500102003.pdf>.
- Department of Health and Health Protection Agency (2008): Health effects of climate change in the UK 2008: an update of the Department of Health report 2001/2002. Department of Health and Health Protection Agency, London.
- Deutsche Bank (2007): Den Klimawandel bewältigen - Die Rolle der Finanzmärkte, Aktuelle Themen 397.

- DIW (2008): Stürme, Fluten, Erdbeben – Wie sich Europa gegen Naturkatastrophen versichern kann, Vierteljahresheft zur Wirtschaftsforschung, 2008.
- Dogs, J. (2009): Deutsche Bahn – Strategische Ansätze zur Anpassung an den Klimawandel. Online verfügbar unter: [http://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/BILDER\\_und\\_Downloaddateien/Veranstaltungen/2009/Strategische\\_Ans%C3%A4tze\\_DB\\_Dogs.pdf](http://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Veranstaltungen/2009/Strategische_Ans%C3%A4tze_DB_Dogs.pdf).
- Dunkelberg, E.; Stegnitz, A.; Hirschl, B. (2009): Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels – Energiewirtschaft. Online verfügbar unter: [http://www.anpassung.net/nn\\_701074/DE/Anpassungsstrategie/Veranstaltungen/Dialoge\\_20zur\\_20Klimaanpassung/0907\\_20Energiewirtschaft/Arbeitspapier,templated=raw,property=publicationFile.pdf/Arbeitspapier.pdf](http://www.anpassung.net/nn_701074/DE/Anpassungsstrategie/Veranstaltungen/Dialoge_20zur_20Klimaanpassung/0907_20Energiewirtschaft/Arbeitspapier,templated=raw,property=publicationFile.pdf/Arbeitspapier.pdf).
- Dombois, O.T., Braun-Fahrländer, C. (2004): Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag der Bundesämter für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und für Gesundheit (BAG). Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel, Basel.
- Ebi, K. (2007): Health Impact of Climate Change. A report to the UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division. UNFCCC, Bonn, Germany. Online verfügbar unter: [http://unfccc.int/files/cooperation\\_and\\_support/financial\\_mechanism/application/pdf/ebi.pdf](http://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/ebi.pdf).
- Ebi, K.L. et al. (2004) Heat Watch/Warning systems save lives: Estimated Costs and Benefits for Philadelphia 1995–98. In: Bulletin of the American Meteorological Society, August 2004, 1067-1073.
- ECA (Economics of Climate Adaptation) et al. (2009): Shaping climate-resilient development - A framework for decision making. Social Sector Office, McKinsey&Company, New York, NY. Online verfügbar unter: [http://www.mckinsey.com/App\\_Media/Reports/SSO/ECA%20%20Shaping%20Climate%20Resilient%20Development%20%20Report%20Only.pdf](http://www.mckinsey.com/App_Media/Reports/SSO/ECA%20%20Shaping%20Climate%20Resilient%20Development%20%20Report%20Only.pdf).
- ECCP (European Climate Change Programme) (2008): Urban Planning and Construction. Sectoral Report der Working Group II: Impacts and Adaptation. Online verfügbar unter: <http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/eccp/impactsadaptation/urbanplanning.pdf>.
- Ecoplan (2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse). Projektbericht für das Schweizerische Bundesamt für Umwelt (BAFU) und das Bundesamt für Energie (BFE) vom 31.7.2007.
- EEA (European Environmental Agency) (2005): Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. EEA Technical report No 7/2005.
- EEA (European Environmental Agency) (2007): EEA technical report 13/2007 - Climate change: the cost of inaction and the cost of adaption.
- EEA (European Environmental Agency) (2008): Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment. EEA report no, 4/2008.
- Ehmer, P.; Heymann, E. (2008): Klimawandel und Tourismus. Wohin geht die Reise?. Deutsche Bank Research (Hrsg.), Deutsche Bank AG, Frankfurt am Main.
- Elsasser, H.; Messerli, P. (2001): The Vulnerability of the Snow Industry in the Swiss Alps. In: Mountain Research and Development, Vol 21, No 4, Nov 2001, 335–339.

- Elsner, W.; Knogge, T. (2001): Teilprojekt „Analyse der ökonomischen Folgen eines Klimawandels in der Unterweserregion“ des Projektes „Klimaänderung in der Unterweserregion“ (KLIMU), Endbericht.
- Erdmann, L., Behrendt, S.; Marwede; M. (2008): Zukunftsfeld: Klimawandel und Wald, Treiber, Folgen und Governance, Projekt „Zukünfte und Visionen Wald 2100“.
- Eskeland, G., et al (2008): The Future of European Electricity: Choices before 2020, CEPS Policy Briefs, CEPS, Brussels. Online verfügbar unter: <http://www.ceps.eu/node/1512>.
- European Communities (2008): The economics of ecosystems & biodiversity. An interim report. Online verfügbar unter: <http://www.teebweb.org/LinkClick.aspx?fileticket=u2fMSQoWJf0%3d&tabid=1278&language=en-US>.
- Fankhauser, S. (2010): The costs of adaptation. WIREs Climate Change 2010 (1): 23-30 (John Wiley & Sons).
- Fankhauser, S. (1998): The Costs of Adapting to Climate Change, GEF-Working Paper 16.
- Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (2008): Report on active climate protection in the agriculture, forestry and food industries and on adaptation of agriculture and forestry to climate change. BMELV, Berlin/Bonn. Online verfügbar unter: <http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/381790/publicationFile/23673/Reportonactiveclimateprotection.pdf>.
- Feenstra, J.F., Burton, I., Smith, J.B., Tol, R.S.J. (Eds.) (1998): Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. Online verfügbar unter: <http://hdl.handle.net/1871/10440>.
- Fenger, J. (Ed.) (2007): Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources: Their role in the Nordic energy system. A comprehensive report resulting from a Nordic Energy Research project, Kopenhagen.
- Few, R.; Ahern, M.; Matthies, F.; Kovats, S. (2004): Floods, health and climate change: a strategic review. Working Paper no. 63, Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich (UK). Available at [http://www.tyndall.ac.uk/publications/working\\_papers/wp63.pdf](http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp63.pdf).
- Fidje, A., Martinsen, T. (2006): Effects of climate change on the utilization of solar cells in the Nordic region. Institute for Energy Technology (IFE), Kjeller.
- Finnish Ministry of Agriculture and Forestry (2005): Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change. Finnish Ministry of Agriculture and Forestry, Helsinki.
- Firth, J; Colley, M. (2006): The Adaptation Tipping Point: Are UK Businesses Climate Proof? Acclimatise and UKCIP, Oxford. Available at [http://www.cdproject.net/download.asp?file=CDP4\\_FTSE350\\_Adaptation\\_Report.pdf](http://www.cdproject.net/download.asp?file=CDP4_FTSE350_Adaptation_Report.pdf).
- Flaig, H., Aretz, A., Elsner, D., Weimer-Jehle, W. (2003): Klimaentwicklung und Wald. Ein Beitrag zum Waldprogramm Baden-Württemberg 2003. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart. Online verfügbar unter: <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2004/1614/pdf/ab247.pdf>.
- Fleischhacker V., Formayer H., Seisser O., Wolf-Eberl S., Kromp-Kolb H. (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf das künftige Reiseverhalten im österreichischen Tourismus. Am Beispiel einer

- repräsentativen Befragung der österreichischen Urlaubsreisenden. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend, Online verfügbar unter: <http://www.bmwfj.gv.at/Tourismus/TourismusstudienUndPublikationen/Documents/Sammelmappe1%20Klimawandel%20Reiseverhalten.pdf>.
- Fleischhauer, M., Birkmann, J., Greiving, S., Stefansky, A. (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung „Climate-Proof Planning“. BBSR-Online-Publikation, Nr. 26/2009. Online verfügbar unter: [http://www.bbsr.bund.de/cln\\_016/nn\\_23582/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/ON262009.html](http://www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_23582/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/ON262009.html).
- Fleischhauer, M., Greiving, S., Rannow, S. (2009): Entwurf eines regionalen Handlungs- und Aktionsrahmens Klimaanpassung („Blaupause“). BBSR-Online-Publikation 17/09. Online verfügbar unter: [http://www.bbsr.bund.de/cln\\_016/nn\\_21916/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/ON172009.html](http://www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_21916/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/ON172009.html).
- Franco, G., Sanstad, A.H. (2006): Climate Change and Electricity Demand in California. California Climate Change Center, California Energy Commission, Sacramento, CA. Online verfügbar unter: <http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-500-2005-201/CEC-500-2005-201-SF.PDF>.
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, FZJ, Öko-Institut, CEPE (2008): "Wirtschaftlicher Nutzen des Klimaschutzes – Kostenbetrachtung ausgewählter Einzelmaßnahmen der Meseberger Beschlüsse zum Klimaschutz". Endbericht des IKEP-Mikro Projektes im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Fuhrer, J. (2003): Agroecosystem responses to combinations of elevated CO<sub>2</sub>, ozone, and global climate change. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 97 (2003) 1–20, Elsevier Science B.V.
- Fuhrer, J. (2008): Notwendigkeit und Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft. Präsentation.
- Füssel, H.-M.; Klein, R.J. (2004): Conceptual frameworks of adaptation to climate change and their applicability to human health. PIK-Report Nr. 91, Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Online verfügbar unter: <http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr91.pdf>.
- Füssel, H.M. (2009): An updated assessment of the risks from climate change based on research published since the IPCC Fourth Assessment Report, in: Climate Change (2009) 97:469–482.
- Gebauer, J.; Welp, M.; Lotz, W. (2010) Ergebnisse des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels – Chemieindustrie. Veranstaltung des Kompetenzzentrums Klimafolgen und Anpassung (KomPass) im Umweltbundesamt. Online verfügbar unter: [http://www.anpassung.net/cln\\_110/nn\\_701048/DE/Anpassungsstrategie/Veranstaltungen/Dialoge\\_20zur\\_20Klimaanpassung/1001-Chemische\\_20Industrie/Ergebnispapier,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Ergebnispapier.pdf](http://www.anpassung.net/cln_110/nn_701048/DE/Anpassungsstrategie/Veranstaltungen/Dialoge_20zur_20Klimaanpassung/1001-Chemische_20Industrie/Ergebnispapier,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Ergebnispapier.pdf).
- Gerstengarbe, F.-W. u. a. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK Report, No. 83, Potsdam, Online verfügbar unter: <http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr83.pdf>.

- Gille, D. (2011): Smart Blades: Dänen entwickeln intelligente Rotorblätter. In: Erneuerbare Energien. Online verfügbar unter: <http://www.erneuerbareenergien.de/daenen-entwickeln-intelligente-rotorblaetter/150/434/30839/>.
- Grothmann, T. (2008): Strategien zur Förderung privater Schadenverhütung bei Wetterextremen. Vortrag beim Symposium Sturm, Risikovorsorge und Katastrophenmanagement am 13.2.2008 bei VKB, München.
- Grothmann, T.; Krömker, D.; Homburg, A.; Siebenhüner, B. (Hrsg.) (2009): KYOTO<sup>plus</sup>-NAVIGATOR Praxisleitfaden zur Förderung von Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel – Erfolgsfaktoren, Instrumente, Strategien. Ergebnisse des Projektes „ErKlim – Erfolgsfaktoren für Klimaschutz und Klimaanpassung“ in der Downloadfassung vom April 2009. Online verfügbar unter: [http://www.erklim.uni-oldenburg.de/download/KyotoPlusNavigator\\_Downloadfassung\\_April2009\\_090419.pdf](http://www.erklim.uni-oldenburg.de/download/KyotoPlusNavigator_Downloadfassung_April2009_090419.pdf).
- Hadley, S.W. et al. (2006): Responses of energy use to climate change: A climate modeling study. In: Geographical Research Letters, Vol. 33, L17703.
- Hahn, F. (2004): Künstliche Beschneigung im Alpenraum. Ein Hintergrundbericht. CIPRA (Hrsg.), Online verfügbar unter: <http://www.cipra.org/de/alpmedia/dossiers/11>.
- Hamilton, A.; Tinch, D.; Hanley, N. (2006): Agriculture. Task 3 Report –Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Project E – Quantify the cost of future impacts. Metroeconomica Limited for DEFRA.
- Hamilton, J. M. (2004): Climate and the Destination Choice of German Tourists. Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper No. 21/2004. Online verfügbar unter: [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=504362](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=504362).
- Hamilton, J.; Tol, R. (2006): Tourism. Task 3 Report –Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Project E – Quantify the cost of future impacts. Metroeconomica Limited for DEFRA.
- Hanemann, W.M., Dale, L. (2006): Economic Damages from Climate Change: An Assessment of Market Impacts. Department of Agricultural and Resource Economics, UCB, UC Berkeley, Working Paper No. 1029, Online verfügbar unter: <http://escholarship.org/uc/item/7vc6g48x>.
- Harris, D. et al. (2006): Economic Valuation of Soil Functions. Phase 1: Literature Review and Method Development. Online verfügbar unter: [http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=SP08004\\_3960\\_FRP.pdf](http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=SP08004_3960_FRP.pdf).
- Hauf, T. et al. (2004): Luftverkehr und Wetter, Statuspapier Juni 2004, Arbeitskreis Luftverkehr und Wetter.
- Hennegriff, W.; Kolokotronis, V.; Weber, H.; Bartels, H. (2006): Klimawandel und Hochwasser. Erkenntnisse und Anpassungsstrategien beim Hochwasserschutz. *KA – Abwasser Abfall* 53 (8), S. 770–779. Online verfügbar unter: [www.accc.gv.at/pdf/klimawandel\\_hochwasser.pdf](http://www.accc.gv.at/pdf/klimawandel_hochwasser.pdf).
- Hesse, A. (2008): Climate Change Risk Reporting in the Annual Reports of the European Automobile Industry. 2nd Edition - Covering Reports 2007. Bonn/Berlin: Germanwatch. Online verfügbar unter: <http://www.climate-mainstreaming.net/auto2nd.pdf>.

- Heymann, E. (2007): Klimawandel und Branchen: Manche mögen's heiß! Deutsche Bank Research (Hrsg.), Deutsche Bank AG, Frankfurt am Main.
- Heyn, N., et al. (2009): Case Study Germany. Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo Project), Online verfügbar unter: [http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/casestudyDE\\_001.pdf](http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/casestudyDE_001.pdf).
- Hilpert, K.; Mannke, F.; Schmidt-Thomé, P. (2007): Towards Climate Change Adaptation in the Baltic Sea Region, Geological Survey of Finland, Espoo, Online verfügbar unter: [http://www.astra-project.org/sites/download/ASTRA\\_Policy\\_Paper\\_HR.pdf](http://www.astra-project.org/sites/download/ASTRA_Policy_Paper_HR.pdf).
- Hitchin, E. R.; Pout, C. H. (o.J.): Local Cooling: Global Warming? UK Carbon Emissions from Air-Conditioning in the Next Two Decades. Available at <http://www.cibse.org/pdfs/Carbon%20emissions%20air%20con.pdf>.
- Holman I.P., et al. (2007): Simulating the effects of future climate and socio-economic change in East Anglia and North West England: the RegIS2 project. Summary Report. Online verfügbar unter: [http://www.ukcip.org.uk/images/stories/Pub\\_pdfs/ReGIS2\\_summary.pdf](http://www.ukcip.org.uk/images/stories/Pub_pdfs/ReGIS2_summary.pdf).
- Holtmann, B.; Bialonski, W. (2009): Einfluss von Extremwasserständen auf die Kostenstruktur und Wettbewerbsfähigkeit der Binnenschifffahrt, in: KLIWAS, Tagungsband zur ersten Statuskonferenz, März 2009, Bonn.
- Horrocks, L.; Watkiss, P.; Hunt, A. (2006): Transport. Task 3 Report –Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Project E – Quantify the cost of future impacts. Metroeconomica Limited for DEFRA.
- Hostede, J.; Hamann, M. (2000): Wertermittlung sturmgefährdeter Gebiete in Schleswig-Holstein. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Heft 85/2000: S. 106-112.
- Howden, M.S. et al. (2007): Adapting agriculture to climate change. In: PNAS, Vol. 104, No. 50, December 11, 2007, pp. 19691–19696. Online verfügbar unter: <http://www.pnas.org/content/104/50/19691.full.pdf+html>
- Hübler, M.; Klepper, G.; Peterson, S. (2007): Costs of Climate Change. The Effects of Rising Temperatures on Health and Productivity in Germany. Kiel Working Paper No. 1321, Kiel.
- Hübler, M.; Klepper, G. (2007): Kosten des Klimawandels: Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter: <http://www.ifw-members.ifw-kiel.de/publications/2kosten-des-klimawandels-die-wirkung-steigender-temperaturen-auf-gesundheit-und-leistungsfahigkeit>.
- Hunt, A. et al. (o.J.): Health case study. UK Climate Impacts Programme.
- Hunter, P.R. (2003): Climate change and waterborne and vector-borne disease. In: Journal of Applied Microbiology 2003, 94, 37S–46S.
- Iglesias, A. et al. (2007): Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector. AEA Energy & Environment, Didcot, UK.
- IPCC (2007a): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum 4. Assessment Report des IPCC, Cambridge: Cambridge University Press.

- IPCC (2007b): Klimaänderungen 2007. Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Vierter Sachstandsbericht des IPCC (AR4). Bern/Wien/Berlin, Online verfügbar unter: <http://www.bmbf.de/pub/IPCC2007.pdf>.
- Jendritzky, G. (2007): Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: Endlicher, W.; Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg.): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke (Klimawandel), S. 108-118.
- Jendritzky, G.; Koppe, C. (2008): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. S. 149-153. In: Lozan, J. et al. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken; Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. GEO Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg.
- Jochem, E. (2009): Adaptation of the Electricity Sector to Climate Change in European Countries; CEPS-Workshop: The Future of European Electricity: Choices before 2020, <http://adamproject.info/index.php/View-document-details/409-Eberhard-Jochem-Fraunhofer-ISI.html>.
- Johnson, H. et al. (2006): The impact of the 2003 heat wave on mortality and hospital admissions in England. In: Health Statistics Quarterly, Spring 2005, No. 25, pp. 6-11. Online verfügbar unter: [http://www.statistics.gov.uk/downloads/theme\\_health/HSQ25.pdf](http://www.statistics.gov.uk/downloads/theme_health/HSQ25.pdf).
- Kaiser, P.; Binder, C. (2003): Sektor Gesundheitsversorgung und Katastrophenmanagement. StartClim-Workshop Extreme Wetterereignisse – Auswirkungen und Auswege für betroffene österreichische Wirtschaftssektoren. Graz.
- Kämpf, M. u.a. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung. energie wasser-praxis 1/2008, S. 49–53.
- Kanton Zürich, Internationale Bodenseekonferenz (Hrsg.) (2007): Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Anpassungsstrategien - Erste Standortbestimmung. Zürich.
- Kemfert, C. (2008): Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten, in DIW-Wochenbericht, Nr. 12–13/2008.
- Kemfert, C. (2007): Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden, in DIW-Wochenbericht, Nr. 11/2007.
- Kemfert, C. (2002): An Integrated Assessment Model of Economy-Energy-Climate – The Model Wiagem, in Integrated Assessment 2002, Vol. 3, No. 4, pp. 281–298.
- Kemfert, C. (2001): Economy-Energy-Climate Interaction - The Model Wiagem. FEEM-Working Paper 71.2001. Online verfügbar unter: <http://papers.ssrn.com/abstract=286835>.
- Kemfert, C.; Kremers, H. (2009): The Cost of Climate Change to the German Fruit Vegetation Sector. DIW Discussion Paper 857. Berlin.
- Kemfert, C., Schumacher, K. (2005): Costs of Inaction and Costs of Action in Climate Protection – Assessment of Costs of Inaction or Delayed Action of Climate Protection and Climate Change. Final Report. Online verfügbar unter: [http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.43922.de/diwkompakt\\_2005-013.pdf](http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.43922.de/diwkompakt_2005-013.pdf).
- Kirilenko, A.P.; Sedjo, R.A. (2007): Climate change impacts on forestry. In: PNAS, December 11, 2007, Vol. 104, No. 50, 19697–19702.

- Klein, R.J.T. et al. (2001): Technological Options for Adaptation to Climate Change in Coastal Zones. *Journal of Coastal Research* 17 (3), S. 531–543.
- Koppe, B. (2002): Entwicklung eines integrierten Hochwasserschutzkonzeptes für die deutsche Ostseeküste. *Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft*, Band 53, 2002, Schiffahrtsverlag Hansa, Hamburg. Online verfügbar unter: <http://www.aquadot.de/veroeffentlichungen/download/htg-jahrbuch-2002.pdf>.
- Koppe, C.; Jendritzky, G.; Pfaff, G. (2004): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. In: DWD: Klimastatusbericht 2003. S. 152-162.
- Kovats, S. et al. (2006): Health. Task 3 Report –Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Project E – Quantify the cost of future impacts. Metroeconomica Limited for DEFRA.
- Kovats, S.; Jendritzky, G. (2006): Heat-waves and Human Health. In: Menne, B., Ebi, K.L. (Hrsg.): *Climate change and adaptation strategies for human health*. Steinkopff Verlag, Darmstadt.
- Kreutzer, R. (2008): *Katastrophenschutz auf dem Prüfstand – Analyse, Prognosen und Empfehlungen für Deutschland*. Allianz Deutschland AG, München 2008.
- Kuch, P. J., Gigli, S. (2007): Economic Approaches to Climate Change Adaptation and their role in project prioritisation and appraisal. Online verfügbar unter: <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-climate-adaptation-economic-approaches.pdf>.
- Kuik, O., et al. (2006): Methodological aspects of recent climate change damage cost studies. Online verfügbar unter: <http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/methodological-aspectswp.pdf>.
- Kumar, P. (Ed.) (2010): *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. An output of TEEB: The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Oxford.
- Kundzewicz, Z. W., et al. (2009): Risk and economic damage assessment for 2025 and 2100, with and without adaptation. Online verfügbar unter: [adamproject.info/index.php/Download-document/478-D-A2.2b.html](http://adamproject.info/index.php/Download-document/478-D-A2.2b.html).
- Kunreuther, H.; Pauly, M. (2006): Rules rather than Discretion - Lessons from Hurricane Katrina, in: *Journal of Risk and Uncertainty*, Volume 33, Issue 1.
- Lang, G. (2001): Global Warming and German Agriculture: Impact Estimations Using a Restricted Profit Function, in "Environmental and Resource Economics", Volume 19, Number 2, 97-112.
- Lasch, P., F. et al. (2002): Sensitivity of simulated forest growth to changes in climate and atmospheric CO<sub>2</sub>. Online verfügbar unter: <http://www.pik-potsdam.de/topik/t6scs/safe/home/waldstudie/waldintern/endbericht01/tp2.pdf>.
- Lindgren, E.; Jaenson, T.G.T. (2006): Lyme borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark. Online verfügbar unter: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/96819/E89522.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/96819/E89522.pdf).

- Lindner, M. et al. (2008): Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. Online verfügbar unter: [http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/euro\\_forests/full\\_report\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/euro_forests/full_report_en.pdf).
- Link, P.M.; Tol, R.S.J. (2006): Economic impacts on key Barents Sea fisheries arising from changes in the strength of the Atlantic thermohaline circulation. Working Paper FNU-104, Online verfügbar unter: [http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/Link\\_Working\\_Paper\\_FNU-104.pdf](http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/Link_Working_Paper_FNU-104.pdf).
- Mai, S. et al. (2004): Präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement als Reaktion auf den Klimawandel. Geographisches Institut, Abt. Wirtschaftsgeographie, Universität Hannover, Hannover. Online verfügbar unter: [http://www.dr-smai.de/Literatur/Geb-6/84\\_jahrbuch\\_htg\\_2004.pdf](http://www.dr-smai.de/Literatur/Geb-6/84_jahrbuch_htg_2004.pdf).
- Mai, S.; Ohle, N.; Zimmermann, C. (2003): Sicherheit der deutschen Nordseeküste bei Sturmflut. Unimagazin Hannover, Seite 20 – 23, Hannover, 2003. Online verfügbar unter: [http://www.dr-smai.de/Literatur/Geb-6/68\\_unimagazin\\_kopf.pdf](http://www.dr-smai.de/Literatur/Geb-6/68_unimagazin_kopf.pdf).
- Maibach, M. et al. (2008): Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Produced within the study Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). Delft.
- Mansanet-Bataller, M., Hervé-Mignucci, M., Leseur, A. (2008): Energy Infrastructures in France: Climate Change Vulnerabilities and Adaptation Possibilities, Mission Climate Working Paper, No. 2009-2, Caisse des Dépôts, Paris. Online verfügbar unter: [http://www.aprec.net/documents/09-03\\_mc-wp09-2\\_causality\\_co2-energy\\_keppler&mansanet.pdf](http://www.aprec.net/documents/09-03_mc-wp09-2_causality_co2-energy_keppler&mansanet.pdf).
- Mansur, E.T., Mendelsohn, R., Morrison, W. (2005): A Discrete-Continuous Choice Model of Climate Change Impacts on Energy. School of Management and School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, New Haven, CT.
- Margulis, S.; Narain, U. (2009): The Costs to Developing Countries of Adapting to Climate Change: New Methods and Estimates. The Global Report of the Economics of Adaptation to Climate Change Study: Consultation Draft. Online verfügbar unter: <http://siteresources.worldbank.org/INTCC/Resources/EACCRreport0928Final.pdf>.
- Margulis, S. et al (2008): The Economics of Adaptation to Climate Change: Methodology Report, World Bank. Online verfügbar unter: <http://siteresources.worldbank.org/INTCC/Resources/MethodologyReport0209.pdf>.
- Margulis, S. et al (2008): The Economics of Adaptation to Climate Change: Methodology Report Annex, World Bank. Online verfügbar unter: <http://siteresources.worldbank.org/INTCC/Resources/MethodologyReportAnnexFinal.pdf>.
- McCarl, B.A. (2007): Adaptation Options for Agriculture, Forestry and Fisheries. A Report to the UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division. Online verfügbar unter: <http://agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/papers/1467mccarl.pdf>.
- McKinsey (2008): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Studie im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“.
- Mehling, A. (2010): KLIWAS: Klimawandel – Wasserstraßen – Schifffahrt, in: Forum Geoökologie 21 (1), 2010, S. 32-34.

- Mendelsohn, R.; Nordhaus, W. D.; Shaw, D. (1994): The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. In: American Economic Review, September 1994, Vol. 84, No. 4, 753-771.
- Meyer, M. (2009): Design Standards for U.S. Transportation Infrastructure, The Implications of Climate Change, Georgia Institute of Technology.
- Mills, E. (2009): From Risk to Opportunity - Insurers response to climate change. A Ceres Report. Ceres, Boston, MA. Online verfügbar unter: <http://www.ceres.org/Document.Doc?id=417>.
- Morton, J.F. (2007): The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. In: PNAS, December 11, 2007, Vol. 104, No. 50, pp. 19680–19685. Online verfügbar unter: <http://www.pnas.org/content/104/50/19680.full.pdf+html>.
- Mücke, H.-G.; Klasen, J.; Schmoll, O.; Szewzyk, R. (2009): Gesundheitliche Anpassung an den Klimawandel. Umweltbundesamt, Dessau.
- Nelson, G. C. et al (2010): The Costs of Agricultural Adaptation to Climate Change. World Bank, Discussion Paper Number 4, Online verfügbar unter: [http://siteresources.worldbank.org/EXTCC/Resources/407863-1229101582229/D&CCDP\\_4-Agriculture9-15-10.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTCC/Resources/407863-1229101582229/D&CCDP_4-Agriculture9-15-10.pdf).
- O’Neal, M.R. et al. (2005): Climate change impacts on soil erosion in Midwest United States with changes in crop management. In: Catena, Vol. 61 (2005), 165–184.
- OECD (Hrsg.) (2004): Der Nutzen klimapolitischer Maßnahmen: Fragen der Analyse und Rahmenabsteckung: Kurzfassung auf Deutsch. Online verfügbar unter: <http://www.oecd.org/dataoecd/52/31/37169145.pdf>.
- Oehme, I.; Halatsch, A.; Schuberth, J.; Mordziol, C. (2009): Umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte. Der Beitrag der Ökodesign-Richtlinie zu den Energieeffizienzzielen der EU. Umweltbundesamt, UBA-Texte Climate Change 21/2009, Dessau-Roßlau.
- Olesen, J.E., Bindi, M. (2004): Agricultural Impacts and Adaptations to Climate Change in Europe. Online verfügbar unter: [http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/artigos\\_dissertacoes/artigos\\_ingles/](http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/artigos_dissertacoes/artigos_ingles/)
- Overbeck, G., Hartz, A., und M. Fleischhauer (2008): Ein 10-Punkte Plan Klimaanpassung – Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel im Überblick, Informationen zur Raumentwicklung, Heft 6/7.2008.
- Osberghaus, D., Reif, C. (2010): Total Costs and Budgetary Effects of Adaptation to Climate Change: An Assessment for the European Union, CESIFO Working Paper No. 3143.
- Parry, M. Et al. (2009): Assessing the costs of adaptation to climate change. A review of the UNFCCC and other recent estimates. Grantham Institute for Climate Change (IIED), Imperial College, London.
- Patt, A. G. et al. (2010): Adaptation in integrated assessment modeling: where do we stand?, in Climatic Change (2010) 99, 383–402.
- Peter, M. u. a. (2009): Wiederbeschaffungswert der Umweltinfrastruktur. Umfassender Überblick für die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0920. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Pimentel, D. et al. (1995): Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. In: Science, Vol. 267, 24 February 1995, 1117-1123.

- Pfurtscheller, C.; Schwarze, R. (2010): Kosten für den Katastrophenschutz. In: Thieken, A. H.; Seifert, I.; Merz, B. (Hg.): Hochwasserschäden – Erfassung, Abschätzung, Vermeidung, oekom Verlag, München, S. 253 – 262.
- Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2008): Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Raschky, P.A.; Schwindt, M.; Schwabe, R.; H. Weck-Hannemann (2008): Risikotransfersysteme für Naturkatastrophen in Deutschland, Österreich und der Schweiz – Ein theoretischer und empirischer Vergleich, in: DIW Vierteljahreshefte zur Wirtschaftsforschung 2008.
- Ray, D. (2008): Impacts of climate change on forests and forestry in Scotland. Report compiled for Forestry Commission Scotland, Online verfügbar unter: [http://www.forestryresearch.gov.uk/pdf/scottish\\_climate\\_change\\_final\\_report.pdf/\\$FILE/scottish\\_climate\\_change\\_final\\_report.pdf](http://www.forestryresearch.gov.uk/pdf/scottish_climate_change_final_report.pdf/$FILE/scottish_climate_change_final_report.pdf).
- Rive, N.; Aaheim, H.A.; Hauge, K.E. (2005): Adaptation and World Market Effects of Climate Change on Forestry and Forestry Products. Online verfügbar unter: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2122.pdf>.
- Ruth, M., Lin, A.-C. (2006): Regional energy demand and adaptations to climate change: Methodology and application to the state of Maryland, USA. In: Energy Policy 34 (2006), pp. 2820–2833.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2009):  
Fachliche Grundlage für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Dresden.
- Schaller, M.; Weigel, H.-J. (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Sonderheft 316 - Landbauforschung Völkenrode - FAL Agricultural Research, Braunschweig. Online verfügbar unter:  
[http://www.fal.de/cIn\\_045/nn\\_787784/SharedDocs/00\\_\\_FAL/DE/Publikationen/Landbauforschung\\_\\_Sonderheft/lbf\\_\\_sh\\_\\_316.html](http://www.fal.de/cIn_045/nn_787784/SharedDocs/00__FAL/DE/Publikationen/Landbauforschung__Sonderheft/lbf__sh__316.html).
- Schetula, V.; Schulz, M.; Renn, O.; Scherzer, J. (2008): Handlungs- und Planungsziele für die Anpassung der Wasserwirtschaft an die Klimafolgen (WASKlim). Umweltforschungsplan Vorhaben 370741105 des BMU. Online verfügbar unter: <http://www.wasklim.de/Delphi.htm>.
- Schmidt, S.; C. Kemfert; P. Höpfe (2009), Tropical cyclone losses in the USA and the impact of climate change – A trend analysis based on data from a new approach to adjusting storm losses, in: Environmental Impact Assessment Review, Volume 29, Issue 6, November 2009, S. 359-369.
- Schuchardt, B.; Schirmer, M. (2005): Klimawandel und Küste: Zeit zur Anpassung?!. In: Klima und Küste. Online verfügbar unter: [http://www.krim.uni-bremen.de/poster/schuchardt\\_schirmer\\_bsh2005.pdf](http://www.krim.uni-bremen.de/poster/schuchardt_schirmer_bsh2005.pdf).
- Schwank, O. et al (2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (Internationale Einflüsse). Schlussbericht, Arbeitsgemeinschaft INFRAS/Ecologic/Rütter + Partner, Zürich/Berlin/Rüschlikon. Online verfügbar unter: [http://ecologic.eu/download/projekte/200-249/201-19/201-19\\_schlussbericht.pdf](http://ecologic.eu/download/projekte/200-249/201-19/201-19_schlussbericht.pdf).
- Schwarze, R.; Wagner, G. (2003): Marktkonforme Versicherungspflicht für Naturkatastrophen – Bausteine einer Elementarschadenversicherung, Wochenbericht des DIW Berlin 12/03.

- Schwarze, R. (2010): Natural Hazards Insurance in Europe - Tailored Responses to Climate, After Copenhagen: Anglo-German Perspectives on Climate Change, Joint RTPI Change, Joint RTPI-ARL Workshop, London, 19./20. Jan. 2010.
- Schröter, D. et al (2004): ATEAM – Final report. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam.
- Sedjo, R. A. (2010): Adaptation of Forests to Climate Change. World Bank, Discussion Paper Number 3, Online verfügbar unter: [http://siteresources.worldbank.org/EXTCC/Resources/407863-1229101582229/DCCDP\\_3Forests.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTCC/Resources/407863-1229101582229/DCCDP_3Forests.pdf).
- Sgobbi, A.; Carraro, C. (2008): Climate Change Impacts and Adaptation Strategies in Italy. An Economic Assessment. Working Paper 170, Fondazione Eni Enrico Mattei.
- SoCo Project Team (2009): Final report on the project 'Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo)', Online verfügbar unter: <http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/EUR-23820-web.pdf>.
- Stark, K., et al. (2009): Die Auswirkungen des Klimawandels: Welche neuen Infektionskrankheiten und gesundheitlichen Probleme sind zu erwarten? in Bundesgesundheitsblatt 2009, Robert Koch-Institut, Berlin. Online verfügbar unter: <http://edoc.rki.de/oa/articles/reGRae0JPg30A/PDF/28B75JHO> DhPjo.pdf.
- Stern, N. (2006): The Economics of Climate Change. The Stern Review. Cambridge University Press
- Stock, M. (Hrsg.) (2005): KLARA – Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung. PIK Report No. 99, Potsdam.
- Sumaila, U. R.; Cheung, W. W. L. (2010): Cost of Adapting Fisheries to Climate Change. World Bank, Discussion Paper Number 5, Available at [http://siteresources.worldbank.org/EXTCC/Resources/407863-1229101582229/DCCDP\\_5Fisheries.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTCC/Resources/407863-1229101582229/DCCDP_5Fisheries.pdf).
- Swedish Commission on Climate and Vulnerability (2007): Sweden facing climate change – threats and opportunities. Ministry of the Environment, Stockholm, Sweden.
- Thomas, C. D. et al. (2004): Extinction risk from climate change. In: Nature, Vol. 427, 8 January 2004, 145-148.
- Titus, J.G. (1992): The Costs of Climate Change to the United States. Originally published in: Majumdar, S.K., L.S. Kalkstein, B. Yarnal, E.W. Miller, and L.M. Rosenfeld (eds). Global Climate Change: Implications, Challenges, and Mitigation Measures. Pennsylvania Academy of Sciences.
- Tol, R.S.J.; Dowlatabadi, H. (2001): Vector-borne diseases, development & climate change. In: Integrated Assessment, 2, 173–181.
- Townend, I.; Pethick, J. (2002): Estuarine flooding and managed retreat. *Philosophical Transactions of the Royal Society London A* 360, S. 1477–1495.
- U.S. Federal Highway Administration (2008): Integrating Climate Change into the Transportation Planning Process, Final Report, July 2008. Federal Highway Administration, United States Department of Transportation, Washington, DC. Online verfügbar unter: <http://www.fhwa.dot.gov/hep/climatechange/index.htm>.

- UK – Her Majesty's Treasury (2009): Accounting for the Effects of Climate Change, Supplementary Green Book Guidance.
- Umweltbundesamt (Hg.) (2007): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Umweltbundesamt, Dessau.
- Umweltbundesamt (2008): Böden im Klimawandel - Was tun?! UBA-Workshop am 22./23. Januar 2008, Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/boden-und-altlasten/veranstaltungen/ws080122/index.htm>.
- Umweltbundesamt (2007): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten, Umweltbundesamt, Dessau, Online verfügbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3193.pdf>.
- UNFCCC (2010): Report on the technical workshop on costs and benefits of adaptation options. FCCC/SBSTA/2010/9, Online verfügbar unter: <http://unfccc.int/resource/docs/2010/sbsta/eng/09.pdf>.
- UNFCCC (2007) Investment and Financial Flows to Address Climate Change. Climate Change Secretariat, Bonn.
- US Climate Change Science Program (2008): Energy Production and Use. National Level Climate Impacts. Online verfügbar unter: <http://www.climatechange.gov/Library/sap/usp/public-review-draft/usp-prd-Energy.pdf>.
- Van Ierland, E.C.; de Bruin, K.; Delink, R.B.; Ruijs, A. (eds.) (2007): Routeplanner naar een klimaatbestendig Nederland - A qualitative assessment of climate adaptation options and some estimates of adaptation costs. Study performed within the framework of the Netherlands Policy Programme ARK. Environmental Economics and Natural Resources, Wageningen UR.
- VROM Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Niederlande (2007): National Programme for Spatial Adaptation to Climate.
- Wallis, P., Flaaten, O. (2000): Fisheries Management Costs: Concepts and Studies. OECD, Paris. Online verfügbar unter: <http://www.oecd.org/dataoecd/2/52/1917868.pdf>.
- Walmsley, C. A. et al. (Eds.) (2007): . MONARCH – Modelling Natural Resource Responses to Climate Change – a synthesis for biodiversity conservation. UKCIP, Oxford.
- Ward, R.E.T.; Herweijer, C.; Patmore, N.; R. Muir-Wood (2008): The Role of Insurers in Promoting Adaptation to the Impacts of Climate Change, The Geneva Papers, 2008, 33, (133–139).
- Warner et al. (2009): Adaptation to Climate Change: Linking Disaster Risk Reduction and Insurance, UNISDR, Geneva.
- Watkiss, P.; Horrocks; L.; Taylor, P. (2006): Energy. Task 3 Report –Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme, Project E – Quantify the cost of future impacts. Metroeconomica Limited for DEFRA.
- Welp, M., Lotz, W, Gebauer, J. und Wurbs, S. (2010): Ergebnisse des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels – Versicherungen.

- Weigel, H.J. (2005): Gesunde Pflanzen unter zukünftigem Klima: Wie beeinflusst der Klimawandel die Pflanzenproduktion?, in „Gesunde Pflanzen“, Volume 57, Number 1, S. 6-17.
- WHO Europe (Ed.) (2005): Health and Climate Change - "the now and how". A policy action guide. WHO Europe, Copenhagen, Denmark. Online verfügbar unter: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0003/95925/E87872.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/95925/E87872.pdf).
- WHO Europe (Ed.) (2009): Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHEAT. Technical Summary. Online verfügbar unter: <http://www.euro.who.int/Document/E92474.pdf>.
- Wilbanks, T.J. et al. (2008): Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States. U.S. Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.5, Washington, DC.
- Wurbs, D.; Steininger, M. (2011): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden: Untersuchungen zu Auswirkungen des Klima-wandels auf die Bodenerosion durch Wasser. Umweltbundesamt, UBA-Texte Climate Change 16/2011, Dessau.
- Wreford, A., Hulme, M., Adger, N. (2007): Strategic Assessment of the Impacts, Damage Costs, and Adaptation Costs of Climate Change in Europe. Online verfügbar unter: [adamproject.info/index.php/Download-document/210-D-A2.7a.html](http://adamproject.info/index.php/Download-document/210-D-A2.7a.html).
- Zebisch, M. u. a.. (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltbundesamt, UBA-Texte Climate Change 08/2005, Dessau. Online verfügbar unter: [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=2947](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=2947).