

UFZ-Bericht 05/2011

Kosten der Anpassung an den Klimawandel – Eine ökonomische Analyse ausgewählter Sektoren in Sachsen-Anhalt

Oliver Gebhardt, Sven Kumke, Bernd Hansjürgens

Kosten der Anpassung an den Klimawandel – Eine ökonomische Analyse ausgewählter Sektoren in Sachsen-Anhalt

Oliver Gebhardt, Sven Kumke, Bernd Hansjürgens

Abschlussbericht
zum Forschungsvorhaben

**„Innovative Ansätze der ökonomischen Anpassungsforschung
mit Bezug zu Sachsen-Anhalt“**

Gefördert durch das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt
des Landes Sachsen-Anhalt

Förderkennzeichen: U05/2009

Projektlaufzeit: 14.06.2010 - 31.03.2011

Projektleitung:

Prof. Dr. Bernd Hansjürgens
Department Ökonomie
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Projektmitarbeiter:

Dipl.-Pol., Dipl.-Verw.Wiss. Oliver Gebhardt
Department Ökonomie – UFZ
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Dipl.-Kaufm. (FH) Sven Kumke
Fachbereich Wirtschaft – Hochschule Anhalt
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg

Prof. Dr. Reimund Schwarze (beratend)
Climate Service Centre – CSC
Bundesstraße 45a, 20146 Hamburg

Dr. Andreas Marx (beratend)
Mitteldeutsches Klimabüro – UFZ
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Kontakt:

Dipl.-Pol., Dipl.-Verw.Wiss. Oliver Gebhardt
Department Ökonomie – UFZ
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
☎ 0341-235 1477
✉ Oliver.Gebhardt@ufz.de

Gliederung

VORWORT	2
1. HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG DES FORSCHUNGSVORHABENS	4
1.1 Problemstellung	4
1.2 Zielsetzung der Studie	7
2. BEGRIFFLICHE UND KONZEPTIONELLE GRUNDLAGEN	9
2.1 Anpassung, Anpassungsmaßnahmen und Anpassungskosten	9
2.2 Herausforderungen bei der Definition von Anpassungskosten.....	11
2.3 Auswertung bestehender Studien	13
3. KLIMASENSIBILITÄT DER WIRTSCHAFT IN SACHSEN-ANHALT	16
3.1 Einführung: Chancen und Risiken des Klimawandels für die Wirtschaft	16
3.2 Methodisches Vorgehen	17
3.3 Ergebnisse: Auswirkungen des Klimawandels auf Wirtschaft und Beschäftigung in Sachsen-Anhalt	20
3.3.1 Überblick über die Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Branchen in Sachsen-Anhalt	20
3.3.2 Klimasensibilitätsanalyse der Wirtschaftsstruktur Sachsen-Anhalts	27
3.3.2.1 Analyse der Klimasensibilität auf der Grundlage der Bruttowertschöpfung.....	28
3.3.2.2 Analyse der Klimasensibilität auf der Grundlage der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten	35
3.4 Fazit.....	41
4. ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL IN AUSGEWÄHLTEN SEKTOREN IN SACHSEN-ANHALT	42
4.1 Begründung der Auswahl der Sektoren	42
4.2 Methodisches Vorgehen	44
4.3 Anpassungskosten im Bereich Hochwasserschutz	45
4.3.1 Hochwasserschutz und Klimawandel	45
4.3.2 Hochwasserschutz und Anpassung an den Klimawandel	48
4.3.3 Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich Hochwasserschutz in Sachsen-Anhalt	54
4.4 Anpassungskosten im Bereich Trink- und Brauchwasserversorgung	55
4.4.1 Trink- und Brauchwasserversorgung und Klimawandel	55
4.4.2 Trink- und Brauchwasserversorgung und Anpassung an den Klimawandel	58
4.4.3 Trink- und Brauchwasserversorgung und Klimawandel in Sachsen-Anhalt	59
4.4.4 Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich der Trink- und Brauchwasserversorgung in Sachsen-Anhalt	61
4.5 Anpassungskosten im Bereich Forstwirtschaft	71
4.5.1 Forstwirtschaft und Klimawandel	71
4.5.2 Forstwirtschaft und Anpassung an den Klimawandel	73
4.5.3 Forstwirtschaft und Klimawandel in Sachsen-Anhalt	74
4.5.4 Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich Forstwirtschaft in Sachsen-Anhalt	77
4.6 Anpassungskosten im Bereich Tourismus im Harz	84
4.6.1 Tourismus und Klimawandel	84
4.6.2 Tourismus und Anpassung an den Klimawandel.....	85
4.6.3 Tourismus und Anpassung an den Klimawandel in Sachsen-Anhalt	86
4.6.4 Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich Tourismus in Sachsen-Anhalt.....	89
5. ZUSAMMENFASSUNG UND ÜBERGREIFENDE SCHLUSSFOLGERUNGEN	90
6. LITERATURVERZEICHNIS	93
7. ANHANG	99
7.1 Übersicht der ausgewerteten Studien zur Abschätzung klimawandelbezogener Kosten	99
7.2 Steckbriefe der ausgewerteten Studien zur Abschätzung klimawandelbezogener Kosten.....	101

Vorwort

Die Notwendigkeit, sich an den Klimawandel anzupassen, ist in den vergangenen Jahren zunehmend erkannt worden und hat Eingang in verschiedene politische Strategien und Pläne gefunden (EU Green Paper; nationale Deutsche Anpassungsstrategie, Anpassungsstrategien der Bundesländer usw.). Jedoch fehlen weitgehend Überlegungen, wie eine solche Anpassung konkret aussehen soll. Es bestehen zahlreiche offene konzeptionelle und methodische Fragen: Welche Sektoren sind bei der Anpassung an den Klimawandel einzubeziehen? In welchem Umfang und mit welcher Intensität soll Anpassung verfolgt werden? Wie ist das Verhältnis von Klimaschutz („Mitigation“) und Anpassung („Adaptation“)? In welchen Handlungsfeldern soll Anpassung autonom über private Akteure erfolgen und in welchen Bereichen ist sie eine staatliche Aufgabe? Usw.

Aus ökonomischer Sicht besteht eine der großen Herausforderungen darin, ein angemessenes Anpassungsniveau und die Auswahl von geeigneten Maßnahmen(bündeln) über Nutzen-Kosten-Abwägungen zu bestimmen. Hierdurch soll den Verantwortlichen auf den unterschiedlichen staatlichen Ebenen eine Hilfe an die Hand gegeben werden, um Prioritäten zu setzen sowie „gute“ Entscheidungen treffen und umsetzen zu können. Dabei stößt man auf die nicht unerheblichen Probleme, die mit einer solchen Abschätzung von Nutzen- und Kostengrößen einhergehen: Unsicherheiten bei der Nutzen- und Kostenbestimmung, Abgrenzungsfragen, Bestimmung räumlicher Effekte, Diskontierung, Finanzierungsfragen usw.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Studie an, indem ein Baustein einer solchen Entscheidungshilfe näher bestimmt werden soll: Auf der Ebene eines Bundeslandes, Sachsen-Anhalt, soll für ausgewählte Handlungsfelder eine Kostenabschätzung der erwarteten Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel vorgenommen werden. Die Nutzenseite wurde aus dieser Betrachtung (zunächst) bewusst ausgeklammert, um die Problemstellung nicht zu überfrachten. Zur Ermittlung der Anpassungskosten wurde der Weg eines Bottom-up-Prozesses gewählt; zusammen mit den verantwortlichen Entscheidungsträgern aus den mit der Umsetzung beauftragten Verwaltungen wurden die Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel bestimmt und die dafür anfallenden Kostendaten ermittelt. Damit unterscheidet sich die Vorgehensweise deutlich von ökonomischen Ansätzen, die über modellbasierte Top-down-Ansätze versuchen, die Kosten der Anpassung an den Klimawandel zu bestimmen. Der mit diesem Vorgehen verbundene Aufwand machte eine Fokussierung auf in besonderem Maße vom Klimawandel betroffene Sektoren notwendig.

Eine solche Vorgehensweise ist nur unter Mitwirkung weiterer Beteiligter aus dem Verwaltungsbereich möglich. Das dieser Studie zugrunde liegende Projekt profitierte hierbei erheblich von der Unterstützung der Arbeitsgruppe Klimawandel des Landes Sachsen-Anhalt, in

der maßgebliche Vertreter aus zentralen Bereichen der Landesverwaltung mitwirken. Ihnen sei an dieser Stelle für die gute Zusammenarbeit gedankt.

Danken möchten wir darüber hinaus Frau Schwabe-Hagedorn vom Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt, die das Projekt nicht nur auf den Weg gebracht und begleitet hat, sondern die Bearbeitung durch zahlreiche Hinweise und die Herstellung notwendiger Kontakte konstruktiv beförderte. Gedankt sei auch unseren Kollegen Prof. Dr. Reimund Schwarze, der das Projekt initiierte, Dr. Andreas Marx für zahlreiche Anregungen und Ergänzungen sowie Kerstin Stark und Ivo Balmer, die uns in vielerlei Hinsicht bei der Bearbeitung des Projekts unterstützten.

Leipzig und Bernburg, im März 2011

Oliver Gebhardt, Sven Kumke und Bernd Hansjürgens

1. Hintergrund und Zielsetzung des Forschungsvorhabens

1.1 Problemstellung

Nach den Ausführungen des 4. Sachstandsberichts des IPCC (2007) ist eindeutig mit einer globalen Erwärmung der Erde. Ein Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen und des Meeresspiegel sowie eine zunehmende Schnee- und Gletscherschmelze sind zu beobachten. Es ist ebenso eindeutig belegt, dass der Großteil dieser Veränderungen auf menschliche Aktivitäten zurückgeht, insbesondere den weiterhin ansteigenden Energieverbrauch sowie die Verbrennung fossiler Energieträger. Das Ausmaß des durchschnittlichen globalen Temperaturanstiegs wird nach den SRES-Szenarien des IPCC zwischen 1,8 °C und 4 °C bis zum Jahre 2100 betragen, mit einer Unsicherheitsbandbreite von 1,1 °C bis 6,4 °C.

Diese globalen Klimaänderungen bewirken u.a. veränderte Niederschlagsregime mit Trockenheit und Überflutung, Veränderungen der Biodiversität und Gesundheitseffekte für den Menschen. Viele der erwarteten Auswirkungen sind dabei nach Ausmaß und Intensität sehr unsicher. So ist z.B. strittig, wie sich Extremereignisse wie große Hitze, Trockenheit, Starkniederschläge, Sturm und Hagel, Überschwemmungen usw. entwickeln werden. Die Modelle lassen hierzu bisher oft keine eindeutigen Aussagen zu. Hinzu kommt, dass sich der globale Klimawandel regional sehr unterschiedlich auswirkt. Abhängig davon, ob und inwieweit bestimmte Regionen dem Klimawandel ausgesetzt sind, aber auch von den Möglichkeiten, mit den Folgen des Klimawandels umzugehen, ergeben sich für einzelne Regionen, Bevölkerungsgruppen oder Sektoren ganz unterschiedliche Verwundbarkeiten.

Mit der 1992 verabschiedeten Rahmenkonvention der Vereinten Nationen hat die Staatengemeinschaft auf diese Herausforderungen reagiert. In Artikel 2 wurde festgelegt, die schädlichen Treibhausgase auf einem Niveau zu stabilisieren, das sicherstellt, dass gefährliche Einwirkungen des Menschen auf das Klimasystem verhindert werden. Auf der 16. Folgekonferenz der Vertragsstaaten in Cancún im Dezember 2010 wurde dies durch die Festlegung des 2-Grad-Ziels verbindlich konkretisiert. Ebenso wurden im Rahmen der internationalen Verhandlungen Maßnahmen wie das Kyoto-Protokoll verabschiedet, die sicherstellen sollen, dass der Ausstoß von Treibhausgasen in die Atmosphäre reduziert wird. Die im Kyoto-Protokoll dazu vorgesehenen Maßnahmen des Klimaschutzes sind die Vorgabe von Reduktionszielen für die sogenannten Annex-I-Staaten sowie bestimmte flexible Mechanismen der kostengünstigen Emissionsvermeidung, wie der Emissionshandel, Joint Implementation oder der Clean Development Mechanismus. Ein Folgeabkommen für das 2012 auslaufende Kyoto-Protokoll wurde jedoch noch nicht verabschiedet.

In den vergangenen Jahren wurde zunehmend betont, dass neben den Maßnahmen des Klimaschutzes auch eine Anpassung an den Klimawandel erforderlich ist. Dies ergibt sich allein schon aus dem Umstand, dass es sich beim Klimasystem um ein äußerst träges System handelt. CO₂-Emissionen haben eine Verweildauer in der Atmosphäre von rund 100 Jahren, bei den anderen Treibhausgasen sind die Verweilzeiten zum Teil sogar erheblich länger, bis zu Tausenden von Jahren. Änderungen des Klimasystems erfolgen also in Zeiträumen, die Dekaden bis Jahrhunderte umfassen. Es ist demnach abzusehen, dass – ganz unabhängig von möglichen Erfolgen oder Misserfolgen der Klimaschutzpolitik im Rahmen internationaler Klimaverhandlungen – bestimmte Klimaänderungen ihre Wirkungen entfalten werden. Für die Gesellschaften bedeutet dies, dass Vorkehrungen getroffen werden müssen, sich an den Klimawandel anzupassen. Dies gilt auch dann, wenn das 2-Grad-Ziel erreicht werden sollte, denn selbst dann sind nachteilige Effekte zu erwarten.

Entsprechend ist das Erfordernis der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen wissenschaftlich anerkannt wie politisch verankert. Die EU beispielsweise hat schon 2005 darauf hingewiesen, dass es ihre Aufgabe ist, die Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel zu reduzieren und die Anpassung zu befördern. Das Weißbuch „Anpassung an den Klimawandel“ der Europäischen Kommission aus dem Juni 2009 definiert Gemeinschaftsaufgaben zur Anpassung der Mitgliedsstaaten der EU an den Klimawandel. Eine Verabschiedung von Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel erfolgt auch auf allen nachgelagerten Ebenen, den Staaten sowie den Bundesländern: Im Sommer 2011 wird die deutsche Bundesregierung ihren ersten „Aktionsplan Anpassung“ auf der Grundlage der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) vorlegen und in den Bundesressorts abstimmen. Die Bundesländer sind ihrerseits aufgerufen, Handlungsoptionen in ihrem Kompetenzbereich zu bestimmen. Zahlreiche Länder haben mittlerweile, ähnlich wie Sachsen-Anhalt, entsprechende Aktionsprogramme entwickelt.

Eine zentrale, in den Anpassungsstrategien auf allen Ebenen (EU, Mitgliedstaaten, Bundesländer) genannte Aufgabe für die Gestaltung von Aktionsplänen ist die Priorisierung von Handlungsoptionen unter dem Gesichtspunkt von Nutzen und Kosten. Es ist demnach eine (ökonomische) Abwägung vorzunehmen, in deren Rahmen die Kosten des Nichthandelns, d.h. die durch die Klimaänderung verursachten Schäden, und die Kosten der Anpassung ermittelt werden müssen. Durch eine Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten der bestehenden Handlungsoptionen können vorrangig zu ergreifende Maßnahmen identifiziert werden. Bis heute gibt es dafür auf keiner der genannten Ebenen (EU, Staaten, Länder) eine überzeugende ökonomische Forschungsstrategie. Im Grundsatz ist zwar die Methodik der Nutzen-Kosten-Analyse für Anpassungsmaßnahmen seit dem Stern Report geklärt (Stern 2007b): Demnach sind die Kosten der Anpassungsmaßnahmen den dadurch vermiedenen Klimaschäden - Klimawandel bezogene Schäden werden auch als „Kosten des Nichthandelns“ bezeichnet - als

Nutzen gegenüberzustellen, so dass der Nettonutzen als Entscheidungskriterium für eine ökonomische Priorisierung von Maßnahmen herangezogen werden kann.¹ Aber die ökonomische Methodik sowohl zur *Abschätzung* von vermiedenen Schäden – eine *Prognose* ist wegen der erheblichen Unsicherheiten ohnehin nicht möglich – als auch zur Ermittlung von Anpassungskosten ist bislang unterentwickelt. Das gilt insbesondere auf der Ebene der regionalen Klimaschäden sowie der Kosten der Klimaanpassung in den Regionen (z. B. in den Bundesländern in Deutschland).

Die bisher angewandten Methoden (z.B. Kemfert 2008) sind durchgängig „top down“, d.h. sie ermitteln vorrangig die vermiedenen Schäden auf regionaler Ebene aus einer globalen Perspektive durch ein sogenanntes „dynamisches Downscaling“. Dieses Verfahren kann zwar für die Ermittlung von Schäden aus globalen integrierten Abschätzungsmodellen gerechtfertigt werden (müsste aber selbst dann eine laufende Validierung durch regionale Klimafolgenbeobachtung und den damit verbundenen Schäden erfahren); es scheint aber für die Kostenermittlung von Anpassungsmaßnahmen auf der regionalen Ebene weder nötig noch zielführend. Dies ist insofern problematisch, als es in der Regel gerade die regionale Ebene, d.h. in Deutschland die Ebene der Bundesländer oder der Kommunen ist, auf der Maßnahmen ergriffen werden, und es folglich hier auch einen entsprechenden Entscheidungsbedarf gibt. Bei der Ermittlung der Kosten der Anpassung auf der regionalen Ebene geht es bspw. im Rahmen der Programm-Budget-Planung der Länder bzw. der durch diese beauftragten Stellen (z.B. der Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft in Sachsen-Anhalt) vielmehr um ganz konkrete Handlungsfelder und Aktionen (Planung von Hochwasserschutz- und wasserwirtschaftlichen Maßnahmen). Dabei sind mögliche Zurechnungsprobleme (zum Klimawandel) zu beachten. Hier wäre also ein „Bottom-up“-Verfahren möglich und sowohl wesentlich genauer als auch aussagekräftiger als ein herunterskalierter Globalansatz.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Studie an: Sie stellt einen ersten Versuch dar, am Beispiel des Landes Sachsen-Anhalt einen Bottom-up-Ansatz als innovatives Verfahren der ökonomischen Anpassungsforschung in einem regionalen Kontext zu entwickeln und modellhaft auszuarbeiten. Dabei fokussiert die vorliegende Studie zunächst nur auf eine Abschätzung der Kosten der Anpassung. In einem möglichen, aber davon gelösten Folgevorhaben könnte in einem weiteren Schritt diese Methodik systematisch in die Verfahren zur Abschätzung der Nutzen (= vermiedenen Schäden; Kosten des Nichthandelns) und der Priorisierung von Maßnahmenpaketen auf Landesebene einbezogen werden. Der in diesem Projekt angestrebte erste Schritt der Kostenermittlung ist ein eigenständiger Schritt, weil hier Methoden der Kostenzurechnung und der Ermittlung von (regionalen) wirtschaftlichen Effekten entwickelt

¹ Alternativ ist auch die Anwendung multikriterieller Verfahren im Rahmen einer Entscheidungsunterstützung denkbar. Diese sind u.a. in der Lage, qualitative Angaben zu den Effekten der betrachteten Handlungsoptionen bei der Priorisierung zu berücksichtigen.

werden, die nicht zwingend mit der Kosten-Nutzen-Analyse und anderen Formen der Priorisierung von Maßnahmen der Klimaanpassung verknüpft sind; vielmehr dienen diese als „Grundlagenermittlung“ für die ökonomische Priorisierung.

Das Land Sachsen-Anhalt hat in der Arbeitsgruppe Klimawandel² eine Landesstrategie zur Anpassung an den Klimawandel (LAS) erarbeitet, die den interministeriellen Abstimmungsprozess durchlaufen hat und dem Landtag von Sachsen-Anhalt vorgelegt wurde (Landtagsbeschluss, Drs. 5/17/542 B). Die vorliegende Strategie benennt Handlungsoptionen auf der Ebene der Sektoren der Anpassungsstrategie (z.B. Gesundheit, Land- und Forstwirtschaft) sowie sektorübergreifende Landesaufgaben (z.B. Umweltbildung). In der Anpassungsstrategie des Landes Sachsen-Anhalt (Kapitel 11) wird ebenso wie auf Bundesebene (Kapitel 5.2 der DAS, S. 63 ff.) auf die Notwendigkeit der Priorisierung von Maßnahmen mit Hilfe von Kosten-Nutzen-Vergleichen hingewiesen, auch wenn das Land ausdrücklich die Grenzen der Kosten-Nutzen-Analyse bei den unsicheren, langfristigen Folgen des Klimawandels anerkennt.

Das hier bearbeitete Vorhaben bietet wichtige Daten- und Methodengrundlagen für die Ausfüllung dieses Auftrags der LAS. Es fließt, vermittelt über die wirtschaftliche Folgenabschätzung, in die Ausarbeitung des Kapitels 4.8. (Handlungsfelder und -optionen im Sektor „Wirtschaft“) der LAS ein.

1.2 Zielsetzung der Studie

Das übergreifende Ziel der vorliegenden Studie besteht darin, die Kosten der Anpassung an den Klimawandel im Rahmen eines Bottom-up-Ansatzes für das Bundesland Sachsen-Anhalt zu entwickeln. Da es sich um eine Vorgehensweise handelt, die in hohem Maße methodisches Neuland betritt, sollen zudem methodische und konzeptionelle Überlegungen angestellt werden, die für derartige Kostenabschätzungen hilfreich sein können. Vor dem Hintergrund der übergreifenden Zielstellung werden die folgenden drei Unterziele verfolgt:

1. Bestandsaufnahme und Analyse der ökonomischen Verfahren der Kostenermittlung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel auf regionaler Ebene.
2. Darlegung der Effekte des Klimawandels auf die wirtschaftlichen Sektoren im Land Sachsen-Anhalt im Sinne einer Klimasensibilitätsanalyse.
3. Entwicklung und Umsetzung eines Bottom-up-Ansatzes zur Ermittlung der ökonomischen Anpassungskosten für ausgewählte Sektoren und Bereiche, von denen angenommen wird, dass sie vom Klimawandel in besonderer Weise betroffen sind.

² Informationen zur Arbeit der AG Klimawandel des Landes Sachsen-Anhalt unter: http://www.mu.sachsen-anhalt.de/start/fachbereich03/ag_klimawandel_neu/main.htm.

Insbesondere die Verfolgung des dritten Unterziels erfordert eine enge Abstimmung mit den regionalen Entscheidungsträgern, um Anpassungsmaßnahmen für ausgewählte Sektoren identifizieren und mit Blick auf ihre Kosten abschätzen zu können. Dazu wurde für die Bearbeitung dieses Projekts eine enge Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Klimawandel des Landes Sachsen-Anhalt vereinbart, in der Entscheidungsträger vertreten sind, die über die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen befinden.

Der Aufbau der vorliegenden Studie ist wie folgt:

- Im anschließenden Kapitel 2 werden zunächst grundlegende definitorische, konzeptionelle und methodische Überlegungen zur Erfassung von Anpassungsmaßnahmen und Anpassungskosten angestellt. Hierdurch soll verdeutlicht werden, vor welchen methodischen und konzeptionellen Herausforderungen die Forschung bei der Erfassung von Anpassungsmaßnahmen und Anpassungskosten steht. Die Betrachtungen in Kapitel 2 schließen eine kritische Analyse bestehender Ansätze und Modelle mit ein.
- In Kapitel 3 werden dann die wirtschaftlichen Sektoren in Sachsen-Anhalt hinsichtlich ihrer Klimabetroffenheit „grob“ und überblicksartig analysiert. Im Vordergrund stehen die Chancen und Risiken, die sich für die einzelnen Sektoren aus dem Klimawandel ergeben. Diese Ausführungen lassen zwar noch keine direkten Schlussfolgerungen über die Art und das Ausmaß an Anpassungsmaßnahmen und Anpassungskosten zu; sie vermitteln aber einen ersten Eindruck, in welchen Sektoren Chancen und in welchen Kosten zu erwarten sind und leisten damit eine wichtige Vorstrukturierung.
- In Kapitel 4 werden dann einzelne Sektoren herausgegriffen und hinsichtlich der erfassten Anpassungsmaßnahmen und Anpassungskosten im Rahmen eines Bottom-up-Prozesses analysiert.

Es ist darauf zu verweisen, dass die Vorgehensweisen in den Kapitel 3 und 4 nicht aufeinander abgestimmt sind: in Kapitel 3 wird eine eher „grobe“ Analyse vorgenommen, während in Kapitel 4 versucht wird, auf Basis eines gänzlich anderen Vorgehens sehr genau die Anpassungsmaßnahmen und -kosten zu erfassen. Die jeweiligen methodischen Vorgehensweisen und Besonderheiten werden zu Beginn der Kapitel erläutert.

- Kapitel 5 enthält eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und zieht übergreifende Schlussfolgerungen.

2. Begriffliche und konzeptionelle Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit ausgewählten methodischen Herausforderungen der Erfassung von Anpassungsmaßnahmen und Anpassungskosten. Weil es hierüber zum Teil erhebliche definitorische und konzeptionelle Unklarheiten gibt, stellte die Betrachtung dieser methodischen Aspekte eine der wesentlichen Ziele der vorliegenden Studie dar, um Fortschritte bei der Erfassung dieser Größen auf der Ebene eines Bundeslandes erzielen zu können und um sicherzustellen, dass die Ergebnisse angemessen im politischen Prozess genutzt werden können. In diesem konzeptionellen Kapitel werden demzufolge in einem ersten Absatz die notwendigen Begrifflichkeiten vorgestellt und erläutert (2.1). In einem zweiten Abschnitt (2.2) wird auf zentrale Probleme der Erfassung und Abgrenzung von Anpassungskosten eingegangen. Der dritte Abschnitt (2.3) enthält daraufhin einen bewertenden Überblick über bestehende Studien zu Anpassungskosten. Hier werden auch die Lücken und offenen Fragen bestehender Ansätze angesprochen, ein zusammenfassendes Fazit gezogen und das eigene weitere Vorgehen eingeordnet.

2.1 Anpassung, Anpassungsmaßnahmen und Anpassungskosten

Anpassung („Adaptation“) an den Klimawandel umfasst alle Reaktionen der natürlichen oder menschlichen Systeme auf die gegenwärtigen oder erwarteten Klimaänderungen und ihrer Effekte, um entweder die negativen Effekte des Klimawandels (z.B. Extremereignisse) zu vermeiden bzw. „besser“ mit ihnen umgehen zu können oder aber um Vorteile aus Klimaänderungen ausnutzen und verstärken zu können. Unter *Anpassungsmaßnahmen* werden demzufolge alle Politiken, Praktiken und Projekte zusammengefasst, die erwartete Schäden des Klimawandels vermeiden oder abmildern oder in Zusammenhang mit Klimawandel auftretende Opportunitäten befördern. Dabei kann es sich um private oder öffentliche Anpassung handeln. Die Privaten können sich zum Beispiel an den Klimawandel anpassen, indem sie selbst Vorkehrungen gegen nachteilige Klimaänderungen vornehmen, etwa in Form von Schutzvorkehrungen gegen höhere Sommertemperaturen oder dem Ausweichen vor Hochwasserereignissen, oder etwa dem Ausnutzen der klimatischen und natürlichen Bedingungen beim Anbau von landwirtschaftlichen Produkten. Öffentliche Anpassung ist insbesondere dann gefordert, wenn es sich bei den betrachteten Anpassungsmaßnahmen um öffentliche Güter handelt. Diese Güter werden aus privatwirtschaftlichen Kalkülen heraus nicht bereitgestellt. Der Bau und die Sicherung eines Deiches liegt bspw. im Interesse derjenigen, die hinter dem Deich wohnen; jeder Einzelne würde es auf Grundlage des individuellen Kalküls bevorzugen, sich aber beim Deichbau und -schutz als Trittbrettfahrer zu verhalten, und darauf drängen, dass andere zahlen, während er selbst vom höheren Schutzniveau profitiert.

In der Literatur geht man davon aus, dass Anpassung in stärkerem Maße ein privates Gut ist als Mitigation (Barth 2011; Pethig 2011; Buchholz, Rübbelke 2011). Der Grund ist darin zu sehen, dass von Maßnahmen zur Anpassung meistens nur die unmittelbar Betroffenen, wie z.B. Gemeinden oder die Bewohner eines Stadtteils oder einer Region, direkt profitieren, während die Vorteile von Klimaschutzmaßnahmen breit streuen und sogar der ganzen Weltbevölkerung zugutekommen. Dies bewegt einzelne Akteure – seien es Individuen, kleine Gruppen oder Staaten – zu einem Freifahrerverhalten: sie möchten an den Nutzen von Klimaschutzmaßnahmen zwar partizipieren, sind aber nicht bereit, die Kosten aufzubringen, weil ihnen der Nutzen nur teilweise, aber nicht ausschließlich zugutekommt. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis ist daher unter Umständen – wenn den Kosten ein geringerer Nutzen gegenübersteht – aus Sicht der einzelnen Akteure negativ.

Die Abgrenzung von Effekten des Klimawandels („Impacts“) und der Anpassung an den Klimawandel ist jedoch oft schwierig: eine Unwägbarkeit besteht bspw. darin, zu bestimmen, ob sich Anpassung nur auf geplante Aktivitäten bezieht, die von der öffentlichen Hand oder privaten Akteuren bewusst verfolgt werden, oder aber auch autonome Anpassung von natürlichen und menschlichen Systemen mit einschließt.³ Letztlich ist die gesamte Lebensweise von Menschen als eine Folge der Anpassung an die jeweils vorherrschenden natürlichen Lebensbedingungen zu sehen, wozu auch die Anpassung an die gegebenen klimatischen Bedingungen zählt. Hierdurch verschwimmt oft die Grenze zwischen Verwundbarkeit (Vulnerabilität) infolge von Klimaeffekten, Anpassung und Erduldung von Klimaänderungen.

Klar ist, dass Anpassung in jedem Fall mit Kosten – *Anpassungskosten* – einhergeht. Hierunter werden die Aufwendungen für Politiken, Praktiken und Projekte zusammengefasst, die die Anpassungsmaßnahmen bilden. Anpassungskosten fallen auch im Fall der autonomen Anpassung an, denn hier treten in jedem Fall Opportunitätskosten auf. Mit dem Begriff Opportunitätskosten wird umschrieben, dass Akteure handeln und Ressourcen aufwenden, um sich anzupassen, wodurch diese Ressourcen für andere Handlungen nicht mehr zur Verfügung stehen. Diesen Anpassungskosten sind die Vorteile der Anpassung, d.h. die vermiedenen oder reduzierten Schäden, gegenüberzustellen.

³ Zum Beispiel kann die Freigabe von Land aufgrund eines steigenden Meeresspiegels oder zunehmender Hochwasserereignisse eines Flusses und daraus resultierender Überschwemmungen gleichermaßen als Klimaeffekt („Impact“) oder als Anpassung („Adaptation“) gesehen werden. Wie auch immer: in jedem Fall sind diese Prozesse als Reaktionen der Betroffenen anzusehen, das Land (gewollt oder erzwungen) freizugeben.

Die Kenntnisse über Anpassungskosten sind aus mehreren Gründen wichtig:

- (1) Anpassung hat einen Einfluss auf das Ausmaß an Klimaschutz („Mitigation“). Je höher das Ausmaß an Anpassung ist, desto geringer sind die negativen Effekte des Klimawandels (Pethig 2011). Sofern Klimaschutzmaßnahmen aus einer Gegenüberstellung von Mitigationskosten und negativen Klimawirkungen abgeleitet werden, kann die Anpassung die Größenordnung der erlittenen Schäden beeinflussen. Bei einer Überschätzung der Anpassung würden demnach die Erforderlichkeiten von Mitigation unterschätzt, und bei einer Unterschätzung der Anpassung würden sie überschätzt.
- (2) Die Kenntnis der Kosten verschiedener Anpassungsmaßnahmen ist für politische Entscheidungsträger zudem wichtig, um eine effiziente Mittelverwendung zu gewährleisten. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, Mittel dort einzusetzen, wo sie den höchsten Ertrag erbringen bzw. wo ein gegebenes Ziel mit den geringsten Kosten erreicht werden kann. Sofern die Ermittlung des höchsten Ertrages einer Maßnahme im Sinne der reduzierten Umweltkosten und eine Gegenüberstellung der Nutzen einer Maßnahme und der mit ihr verbundenen Kosten (im Sinne einer Kosten-Nutzen-Analyse) schwierig ist, bleibt immerhin die Notwendigkeit der Identifikation der kostengünstigsten Maßnahme zur Erreichung eines gegebenen Ziels (im Sinne einer Kosteneffektivitätsbetrachtung).

Eine aus ökonomischer Sicht „optimale“ Politik würde demnach den Einsatz von knappen privaten und öffentlichen Ressourcen in mehrfacher Hinsicht abwägen: Erstens würde die Aufteilung von Mitteln zwischen Mitigation und Adaptation so vorgenommen, dass die zuletzt verwendete Geldeinheit einen gleichen Grenzertrag in jeder der beiden Verwendungen erbringt. Zweitens würde das Bündel an Mitigationsmaßnahmen so aufgeteilt, dass die eingesetzten Mittel den jeweils höchsten Grenzertrag erbringen. Und drittens würde in gleicher Weise das Bündel an Adaptationsmaßnahmen so aufgeteilt, dass auch dort die eingesetzten Mittel den höchsten Ertrag erbringen. Dieser dritte Aspekt, die Definition von Anpassungsmaßnahmen und -kosten sowie damit einhergehende Probleme, soll im Folgenden näher betrachtet werden.

2.2 Herausforderungen bei der Definition von Anpassungskosten

Die Definition von Anpassungsmaßnahmen und -kosten steht vor einer ganzen Reihe konzeptioneller, methodischer und empirischer Probleme, von denen einige im Folgenden erläutert werden sollen. Die Probleme werden insbesondere in Kapitel 4 sichtbar werden und dort erneut aufgegriffen, wenn konkrete Ansätze zur Erfassung von Maßnahmenalternativen und ihren Kosten diskutiert werden.

- Ein erstes Problem besteht darin, dass häufig die Ziele von Anpassung nicht deutlich formuliert sind. Anpassungsmaßnahmen wurden oben definiert als alle Politiken, Praktiken und Projekte, die erwartete Schäden des Klimawandels vermeiden oder abmildern oder in Zusammenhang mit Klimawandel auftretende Opportunitäten befördern. Diese Formulierung setzt voraus, dass das Ziel der Anpassung mit ausreichender Sicherheit benannt werden kann. Das Ziel könnte ein vermiedener Schaden oder eine Abmilderung des Schadens sein. Wenn aber viele Naturkatastrophen in ihren Auswirkungen höchst unsicher sind, können auch die Ziele einer Maßnahme nicht genau bestimmt werden (Buchholz, Rübbelke 2011:14), und in ähnlicher Weise bleibt die Definition der Maßnahme selbst ungenau.
- Eine weitere Herausforderung besteht darin, Anpassungen einer Klima-Wirkung als Auslöser zuzuordnen. Es treten ständig zahlreiche Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft auf, die ihrerseits zu Änderungen von Politiken, Projekten oder Maßnahmen führen, ohne dass eindeutig geklärt ist, ob diese Politiken, Projekte und Maßnahmen durch Klimaeffekte angestoßen sind oder durch andere Einflüsse ausgelöst wurden. Die Erhöhung eines Deiches mag vielleicht noch in einen kausalen Zusammenhang mit Klimaänderungen stehen, aber wie sieht es mit Maßnahmen zur Erhöhung der Volksgesundheit aus? Hier wurden und werden kontinuierlich Verbesserungen vorgenommen, ohne dass diese ursächlich mit dem Klimawandel im Zusammenhang stehen. Ist eine bestimmte Maßnahme nun klimabedingt, oder ist deren Förderung Teil des „normalen Geschäfts“, das im öffentlichen Bereich etwa die zuständigen Behörden qua Aufgabendefinition wahrnehmen?
- Eine ähnliche methodische Herausforderung stellt sich, wenn Maßnahmen mit mehreren Zielen begründet werden, wie dies in der Politik vielfach der Fall ist. Dies widerspricht der zumeist anzutreffenden ökonomischen Sicht, dass eine Maßnahme genau einem Ziel dienen soll. Wie ist eine Maßnahme in diesem Falle zu beurteilen? Dient sie primär der Klimaanpassung, oder dient sie primär anderen Zielsetzungen, so dass Klimaanpassung allenfalls als akzessorisch angesehen wird?
- Neben diesen „Abgrenzungs-Herausforderungen“ bei der Maßnahmenidentifikation ergeben sich weitere Fragen bei der Abschätzung von Kosten einer Maßnahme. Welche Kostenkategorien sind anzusetzen? Tatsächlich entstandene Kosten? Kalkulationskosten? Opportunitätskosten? Sind die Kosten einmalig oder laufend? Treten sie in der Gegenwart oder in der Zukunft auf? Wie ist mit dem zeitlichen Anfall der Kosten umzugehen, d.h. welcher Diskontierungssatz ist anzusetzen?

- Als weiteres Problem mag hinzutreten, dass Kosten oft von verschiedenen Akteuren getragen werden. Mischfinanzierungen sind eher die Regel als die Ausnahme. Wie ist zu verfahren, wenn die Kosten von Anpassungsmaßnahmen für ein Bundesland ermittelt werden sollen? Sind dann die Zuschüsse anderer Gebietskörperschaften (Bund; Gemeinden) oder von Privaten herauszurechnen?

Diese und viele andere Fragen, die z.T. aus den Diskussionen um den Stern-Report bekannt sind (Stern 2007b), müssen berücksichtigt werden, wenn Kostenabschätzungen für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel erstellt werden. Sie werden erneut aufzugreifen sein, wenn es um die Untersuchung von Anpassungskosten in konkreten Einzelfeldern geht. Zuvor soll aber ein kurzer Blick auf bestehende Studien geworfen werden.

2.3 Auswertung bestehender Studien

Seit einigen Jahren hat die Literatur zum Klimawandel und zu den ökonomischen Nutzen und Kosten des Klimawandels erheblich zugenommen. Es gibt eine ganze Anzahl an Studien, die entweder im Rahmen modelltheoretischer und konzeptioneller Analysen oder im Rahmen sektoraler empirischer Untersuchungen erstellt wurden. Am bekanntesten ist in diesem Zusammenhang sicherlich der Stern-Report (Stern 2007b), der auf eine globale Abschätzung der Nutzen und Kosten von Klimaschutzpolitik abzielte und einen erheblichen Einfluss auf die klimapolitischen Diskussionen hatte. Bedingt durch den Stern-Report wurden zahlreiche Aspekte von Klimaschutzpolitik (z.B. Umgang mit Unsicherheiten, Diskontierungsaspekte) intensiv diskutiert. Allerdings beziehen sich bisher nur wenige Studien konkret auf die Kosten der Klimaanpassung. Aus diesem Grunde wurde im Rahmen der hier vorgenommenen Untersuchung in einem ersten Schritt eine Literaturanalyse vorgenommen, bei der ein spezielles Augenmerk auf solche Arbeiten gelegt wurde, die die Kosten der Klimaanpassung explizit adressieren oder doch wenigstens Anmerkungen zu Anpassungskosten machen. Die Studien – es sind in der Summe ca. 20 Arbeiten, Berichte, Veröffentlichungen und Arbeitspapiere – sind im Einzelnen dem Anhang zu dieser Studie zu entnehmen. Sie wurden nach einem einheitlichen Muster in Form von Steckbriefen ausgewertet. Diese Steckbriefe enthalten Hinweise zu Zielsetzung, getroffenen Annahmen, methodischem Vorgehen, und Ergebnissen. Ergänzt werden diese durch einige zusammenfassende Anmerkungen.

An dieser Stelle sollen lediglich einige übergreifende Aussagen zu den Steckbriefen getroffen werden. Details sind dem Anhang zu entnehmen. Das Gros der bislang vorliegenden Studien, die klimawandelbezogene Kostenabschätzungen vornehmen, verwendet einen Top-down-Ansatz. Im Fokus steht hierbei jedoch häufig nicht die Ermittlung der Anpassungskosten an den Klimawandel, sondern die Abschätzung der zu erwartenden klimawandelbezogenen Schäden. Die bekanntesten Meta-Studien basieren auf denselben, z.T. durchaus kritisch beurteilten

sektoralen Top-down-Analysen. Darüber hinaus existieren Meta-Studien, die einen Schritt weiter gehen, als nur verschiedene sektorale Studien zu integrieren. Diese fassen bspw. deren Ergebnisse unabhängig von der in der jeweiligen Ursprungsstudie verwendeten Methodik sektorspezifisch für bestimmte geographische Ebenen zusammen und weisen so auf Basis der derzeit vorliegenden Forschungsergebnisse Spannbreiten der zu erwartenden Anpassungskosten für diese Regionen oder Wirtschaftsräume aus.

Die Notwendigkeit einer stärkeren Bottom-up-basierten Ermittlung der Kosten konkreter Maßnahmenpakete wird vielfach betont. Unter Verweis auf Probleme der Datenverfügbarkeit und Zurechenbarkeit wird jedoch von zahlreichen Studien entweder auf eine Abschätzung gänzlich verzichtet oder es werden nur sehr spezifische Kostenblöcke ausgewiesen. Eine kleine Anzahl von Fallstudien versucht, für regionale Teilsektoren oder auch nur für Einzelmaßnahmen Kostenabschätzungen vorzulegen.

Auswertungen der nationalen Anpassungsstrategien an den Klimawandel belegen, dass das Bewusstsein für die Notwendigkeit von Abschätzungen der Kosten der Nichtanpassung sowie möglicher Anpassungsmaßnahmen durchaus vorhanden ist. Die einzigen Angaben, die sich diesbezüglich in den Strategien finden lassen, sind Aufstellungen klimawandelbezogener Forschungsausgaben auf nationalstaatlicher Ebene. Die besondere Relevanz dieser auf die Verbesserung der Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel abzielenden Forschungsaktivitäten zeigt sich, wo entsprechenden Zahlen vorliegen, auch auf Ebene der deutschen Bundesländer.

Hinsichtlich des durch die Studien indirekt dokumentierten Niveaus der Anpassungsaktivitäten können die in den wenigen derzeit vorliegenden Analysen beobachteten Trends bestätigt werden.⁴ Diese stellen fest, dass in den vergangenen Jahren bereits eine Reihe anpassungsbezogener Forschungsaktivitäten durchgeführt wurde. Der Großteil der Studien beschäftigt sich mit Vulnerabilitätsabschätzungen oder *möglichen* Anpassungsoptionen, d.h. es werden vorrangig *beabsichtigte* und in weit geringerem Maße bereits durchgeführte Anpassungsmaßnahmen analysiert. Wenn derartige Maßnahmen dokumentiert werden können, ist die Anpassung an den Klimawandel nicht das vorrangige Handlungsmotiv. Extreme Ereignisse zeigen sich oftmals als förderlicher Stimulus für die Erörterung des Anpassungsbedarfs und auch für die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen. In den vorliegenden Studien sind weit weniger Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel dokumentiert, die die Nutzung der sich ergebenden Chancen zum Ziel haben, als diejenigen, die den erwarteten Schaden mindern sollen.

Angesichts des beschriebenen Fokus' der aktuell vorliegenden Studien kann ein steigender Bedarf an Verfahren, die Entscheidungsträger bei der Priorisierung der Vielzahl von dokumentierten möglichen Anpassungsmaßnahmen unterstützen, diagnostiziert werden.

⁴ Vgl. bspw. Berrang-Ford, Ford, Paterson (2011).

Die hier vorliegende Studie kann vor diesem Hintergrund eingeordnet werden. Sie versucht, auf der Ebene eines Bundeslandes – Sachsen-Anhalt – exemplarisch im Rahmen eines Bottom-up-Ansatzes die Kosten für auf den klimawandelbezogene Anpassungsmaßnahmen zu erfassen. Bottom-up bedeutet hier, dass in einem ersten Schritt für ausgewählte Sektoren in enger Abstimmung mit den Entscheidungsträgern aus den Verwaltungen auf Landesebene die vorgenommenen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel identifiziert werden, um daran anknüpfend in einem zweiten Schritt zu klären, inwieweit diese Maßnahmen bereits Kosten verursacht haben bzw. Aufwendungen notwendig machen werden. Dabei stehen allein Kosten im öffentlichen Bereich im Vordergrund. Private Anpassungskosten wurden nicht berücksichtigt, obwohl sie oft einen erheblichen Teil von Anpassungskosten ausmachen.

3. Klimasensibilität der Wirtschaft in Sachsen-Anhalt

In diesem Kapitel sollen zunächst die Chancen und Risiken, die den Unternehmen in Sachsen-Anhalt aus dem Klimawandel erwachsen, analysiert und diskutiert werden. Das Kapitel unterscheidet dabei nicht zwischen Mitigation und Adaptation. Somit enthält es zwar keine direkten Informationen zu den durch Klimaveränderungen hervorgerufenen Anpassungskosten (Kosten werden nur als Veränderungen der Wettbewerbsposition erfasst). Es liefert aber erste Anhaltspunkte, in welchen Sektoren besonders starke Veränderungen der Wettbewerbssituation der Unternehmen in Sachsen-Anhalt zu erwarten sind.

Abschnitt 3.1 führt kurz in die Problematik ein. Abschnitt 3.2 erläutert die methodischen Grundlagen der zugrundeliegenden Studien und die Vorgehensweise. In Abschnitt 3.3 werden die Ergebnisse von zwei Studien, die sich mit Chancen und Risiken des Klimawandels auf der Ebene der Sektoren der Volkswirtschaft befassen, auf Sachsen-Anhalt übertragen. Abschnitt 3.4 enthält ein kurzes Fazit.

3.1 Einführung: Chancen und Risiken des Klimawandels für die Wirtschaft

Der Klimawandel wird auf die Gesellschaft und Wirtschaft in Sachsen-Anhalt ganz unterschiedliche Auswirkungen haben: Während die natürlichen Auswirkungen des Klimawandels das Leben zum Teil erst in den kommenden Jahren (positiv oder negativ) beeinflussen werden, können Maßnahmen zur Vermeidung des anthropogenen Klimawandels (Mitigation), bspw. über eine Verteuerung der Energiepreise, oder aber auch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel bereits in naher Zukunft Einfluss auf verschiedene Wirtschaftsbranchen haben.

Vor der Analyse möglicher ökonomischer Auswirkungen des Klimawandels auf die sachsen-anhaltinische Wirtschaft, sollen die Globaltrends umrissen werden: Die Energieversorgung der Erde wird auf absehbare Zeit weiterhin auf fossilen Energieträgern basieren.⁵ Prognosen der Internationalen Energieagentur (IEA) weisen darauf hin, dass insbesondere der Verwendung von Kohle bis Mitte des Jahrhunderts nach wie vor eine hohe Bedeutung zukommt. In den nächsten Jahrzehnten werden leicht zugängliche und somit kostengünstig abzubauen Kohle-, Gas- und Ölfelder den Bedarf nicht mehr ausreichend decken können und teilweise oder auch gänzlich versiegen. Demzufolge müssen die Ressourcenvorkommen in politisch brisanten Gebieten sowie in schwerer (und damit teurer) zu erschließenden Regionen (z.B. regional weit abgelegene Abbaugelände, Tiefseevorkommen, Permafrost-Regionen) verstärkt genutzt werden. Die Energieträger werden in diesen Regionen nur unter erhöhten Kosten zu fördern sein. Gleichzeitig wird erwartet, dass die Nachfrage nach Energie weltweit weiter steigen wird.

⁵ Vgl. Kemfert (2007:169), Heymann (2007:3, 2008:65).

Dies gilt in jedem Fall bis 2030, wie Szenarien der IEA zeigen. Ein Großteil dieses Wachstums (rund zwei Drittel) wird bis dahin durch eine Zunahme der fossilen Energieträger gedeckt werden. Vor diesem Hintergrund ist von weiter steigenden Energiepreisen auszugehen, die in besonderer Weise die Wettbewerbsposition von Unternehmen und damit volkswirtschaftlichen Sektoren beeinflussen.

Gleichzeitig wird durch den Klimawandel und die sich verändernden Rahmenbedingungen der Energieversorgung auch der politische Handlungsbedarf zunehmen.⁶ Diskutiert werden politische Maßnahmen (i.S.v. Klimapolitik) zur Verteuerung der fossilen Energieträger, mit dem Ziel, die Nachfrage zu verringern. Unsicherheit besteht dabei jedoch nach wie vor über die konkrete Ausgestaltung der zu erwartenden klimapolitischen Maßnahmen, die ein breites umwelt- und klimapolitisches Instrumentarium wie Abgaben, Subventionen, Zertifikatlösungen, Ge- oder Verbote abdecken und nutzen werden.

Die Auswirkungen des Klimawandels sind dabei nicht nur negativ. Für eine Vielzahl von Gebieten in der nördlichen Hemisphäre ist bspw. durch den Anstieg der Durchschnittstemperaturen mit einer Zunahme der landwirtschaftlichen Erträge zu rechnen.⁷ Ebenso wird im Bereich der Landwirtschaft die Gewinnung von Bioenergie zukünftig eine noch stärkere Rolle spielen.⁸ Weitere positive Effekte können sich für den Bausektor ergeben. Dies gilt im Besonderen für den Bereich der energetischen Sanierung von Altbauten sowie der Prävention bzw. Reparatur von Schäden, die im Zusammenhang mit der erwarteten Zunahme von extremen Wetterereignissen vermehrt notwendig werden. Auch durch die Umsetzung der Maßnahmen der Klimaschutzprogramme und der damit verbundenen Reduktion der CO₂ Emissionen ergeben sich Wachstumspotenziale für die beteiligten Branchen.

3.2 Methodisches Vorgehen

Um die Effekte des Klimawandels auf die Wirtschaft in Sachsen-Anhalt abzuschätzen, wurden zunächst die in der Literatur vorliegenden Studien zur Analyse der Klimasensibilität der Wirtschaft ausgewertet, um zum einen deren methodisches Vorgehen zu erfassen und zum anderen zu prüfen, inwieweit eine Übertragbarkeit auf Sachsen-Anhalt möglich ist. Dabei zeigte sich, dass die sich durch den Klimawandel für die Wirtschaft in Sachsen-Anhalt ergebenden Chancen und Risiken (im Sinne einer „Klimasensibilität“ der Sektoren) am besten mit Hilfe zweier Herangehensweisen analysieren lassen.

⁶ Vgl. Stern (2007a:26ff).

⁷ Vgl. PESETA (2009:31ff).

⁸ Das gilt in besonderem Maße auch für Sachsen-Anhalt. Hier kann es zukünftig zu einem Nutzungskonflikt zwischen Nutzpflanzen und Pflanzen zur Energiegewinnung bzgl. der Bebauungsflächen kommen (Landesregierung Sachsen-Anhalt 2008:26f).

(1) Das erste Verfahren orientiert sich am Vorgehen von Heymann (2007, 2008). Dabei werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die einzelnen Wirtschaftssektoren in einer „klimatisch-natürlichen“ sowie einer „regulatorisch-marktwirtschaftlichen“ Dimension untersucht. Mit „klimatisch-natürlicher Dimension“ ist gemeint, dass der Klimawandel sich über die klimatischen Effekte und die Änderungen der natürlichen Lebensbedingungen (Temperatur, Wasserverfügbarkeit usw.) auf die Produktionsbedingungen in einzelnen Sektoren der Wirtschaft auswirkt. Die „regulatorisch-marktwirtschaftliche“ Dimension betrachtet die Wirkung von Klimapolitik (Emissionshandel, staatliche Regulierung usw.) auf die einzelnen Sektoren. Die Analyse beschränkt sich auf den Zeitraum bis 2030 und beruht auf der „Ceteris-paribus-Annahme“, d.h. die Wirkungen der genannten klimatischen und regulatorischen Effekte werden betrachtet, aber alle anderen Faktoren gleichzeitig als konstant angenommen. Da die Vielfalt der betrachteten Wirkungen sehr groß ist und die Aussagen aus (mehr oder weniger) plausiblen Hypothesen zu den Betroffenheiten abgeleitet werden, kann die Analyse keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Prognosesicherheit erheben und auch keine quantitativen Aussagen liefern. Außerdem sind die Grenzen zwischen einzelnen Branchen fließend, so dass es zu Überschneidungen kommen kann.

Das Vorgehen der „Heymann-Studie“ zielt darauf ab, die Sektoren auf Basis von Hypothesen über vermutete Betroffenheiten qualitativ hinsichtlich ihrer jeweiligen Beeinflussung durch den Klimawandel zu untersuchen und zukünftige Entwicklungstrends für die jeweiligen Branchen abzuleiten. Dabei liegt der Analyse die Annahme zugrunde, dass durch den Klimawandel die relative Wettbewerbsposition der verschiedenen Branchen beeinflusst wird. Auf Basis dieser Annahme wird vor dem Hintergrund der sich verändernden Umweltbedingungen und der marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen für einzelne Sektoren in Deutschland auf die möglichen Chancen und Risiken des Klimawandels hingewiesen. Eine Regionalisierung dieser Überlegungen auf Sachsen-Anhalt ergibt sich aus der Verteilung der einzelnen Sektoren im Bundesland (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9).

(2) Ein zweiter Ansatz ist dem Regionalen Klimaanpassungsprogramm – REGKLAM, einem von der TU Dresden und der TU Bergakademie Freiberg bearbeiteten KLIMZUG-Projekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), entnommen. Das Vorgehen wurde entwickelt, um für die Wirtschaftsregion Dresden Aussagen über die Klimavulnerabilität einzelner Branchen treffen zu können. Dieser Ansatz beruht auf einer statistischen Vorgehensweise und ist somit quantitativ ausgerichtet. In einer sogenannten „Intensitätsanalyse“ wird versucht, die einzelnen Wirtschaftsbereiche Sachsen-Anhalts hinsichtlich ihrer Sensibilität gegenüber Klimaänderungen und Klimapolitik auf Ebene der Landkreise zu beschreiben. Dies geschieht auf Basis der erfassten Wirtschaftsleistung in Form des Anteils eines Sektors an der Bruttowertschöpfung (nominal) oder der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (nach dem Arbeitsortprinzip). Die „Intensitätsanalyse“

wird in der vorliegenden Studie angepasst, erweitert und auf das Land Sachsen-Anhalt übertragen. So kann die gesamte Wirtschaftsstruktur Sachsens-Anhalts im Überblick betrachtet werden, um mögliche Schwachstellen aufzuzeigen, die mittels des sektoralen Vorgehens der „Heymann-Analyse“ noch nicht berücksichtigt werden konnten. Die „Intensitätsanalyse“ kann später auch als Ausgangspunkt für weiterführende Forschungsvorhaben relevant sein.

Da es sich um ein statistisches Vorgehen handelt, betrachtet die „Intensitätsanalyse“ die metrisch messbaren Auswirkungen des Klimawandels in Form von Preisänderungen der beiden Inputfaktoren Wasser und Energie bezüglich der Erstellung des wirtschaftlichen Outputs. Die berechneten Energie- und Wasserintensitäten einzelner Sektoren werden in Relation zur (i) Bruttowertschöpfung und (ii) Beschäftigung der einzelnen Branchen und Regionen Sachsens-Anhalts gesetzt, um in einer „Betroffenheitsanalyse“ für die jeweiligen Branchen die Auswirkungen des Klimawandels zu bewerten. Es wird dabei davon ausgegangen, dass sich in absehbarer Zukunft die Preise für Energie und fossile Ressourcen erhöhen werden. Da der Primärenergieverbrauch Sachsens-Anhalts zu 67% von fossilen Energieträgern abhängig ist (32% Öl und 35% Erdgas), haben Preissteigerungen Einfluss auf die sachsen-anhaltinische Wirtschaft.⁹

Als Basis der Berechnungen für das Land Sachsen-Anhalt dienen die Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung der Länder des Statistischen Bundesamtes in der Gliederung der Wirtschaftszweige 2003 (WZ 2003).¹⁰ Die Daten auf Kreisebene (ebenfalls WZ 2003) stammen vom Statistischen Landesamt Sachsen-Anhalt. Die Daten im Rahmen der Betrachtungen der Beschäftigtenzahlen in der Gliederung der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008) wurden von der Bundesagentur für Arbeit bezogen. Verwendet werden jeweils die aktuell zugänglichen und vollständigen Datensätze.

Die beiden beschriebenen Studien gehen von einer zukünftigen Erhöhung der Energie- und Ressourcenpreise aus. Sie beruhen jedoch auf völlig unterschiedlichen methodischen Ansätzen: In der „Heymann-Studie“ erfolgt eine Abschätzung der Klimasensibilität auf Grundlage von qualitativen Überlegungen, bestätigt werden diese durch Ergebnisse von Unternehmensbefragungen; die „Intensitätsanalyse“ nutzt ein statistisches Vorgehen, das die Stärke der sektoralen Energie- und Wasserintensitäten als Kriterium für Klimasensibilität betrachtet. Da die Angaben zur Beschäftigung in Sachsen-Anhalt auf Basis der WZ 2008 Systematik eine Analyse auf Ebene der Wirtschaftsunterklassen ermöglichen, soll hier versucht werden, die „Heymann-Analyse“ und die „Intensitätsanalyse“ auf Basis der Beschäftigtenzahlen zu verbinden. Dazu werden, soweit es die Wirtschaftsklassen und -unterklassen der WZ 2008

⁹ Vgl. MLU (2010b:3).

¹⁰ Die Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ) dient dazu, die wirtschaftlichen Tätigkeiten von Unternehmen, Betrieben und anderen statistischen Einheiten in allen amtlichen Statistiken einheitlich zu erfassen. Die Wirtschaftszweigklassifikation ist hierarchisch nach Abschnitten und Unterabschnitten sowie weiteren Unterteilungen gegliedert.

Systematik zulassen, die regionalen Beschäftigungsanteile in den Sektoren untersucht (vgl. Abbildung 9).

In beiden Betrachtungen wird der Zusammenhang zwischen Klimawandel und Anpassung der Wirtschaft über einen vermuteten Anstieg der Preise für Energie, Wasser und fossile Energieträgern hergestellt. Es ist jedoch nicht möglich, eine belastbare Prognose für das Ausmaß der Verteuerung zu erstellen. Je nach Ausmaß der Preiserhöhungen wird der Klimawandel mehr oder weniger starke negative Folgen für die wirtschaftliche Entwicklung haben. Darüber hinaus werden durch die Ceteris-paribus-Annahme steigende Wirkungsgrade in der Nutzung von Wasser und Energie sowie weitere technologische Entwicklungen, die die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern verringern, vernachlässigt. Trotz dieser Einschränkungen bieten die „Heymann-Analyse“ und die „Intensitätsanalyse“ eine Möglichkeit, sektorspezifische Folgen des Klimawandels abzuschätzen.

3.3 Ergebnisse: Auswirkungen des Klimawandels auf Wirtschaft und Beschäftigung in Sachsen-Anhalt

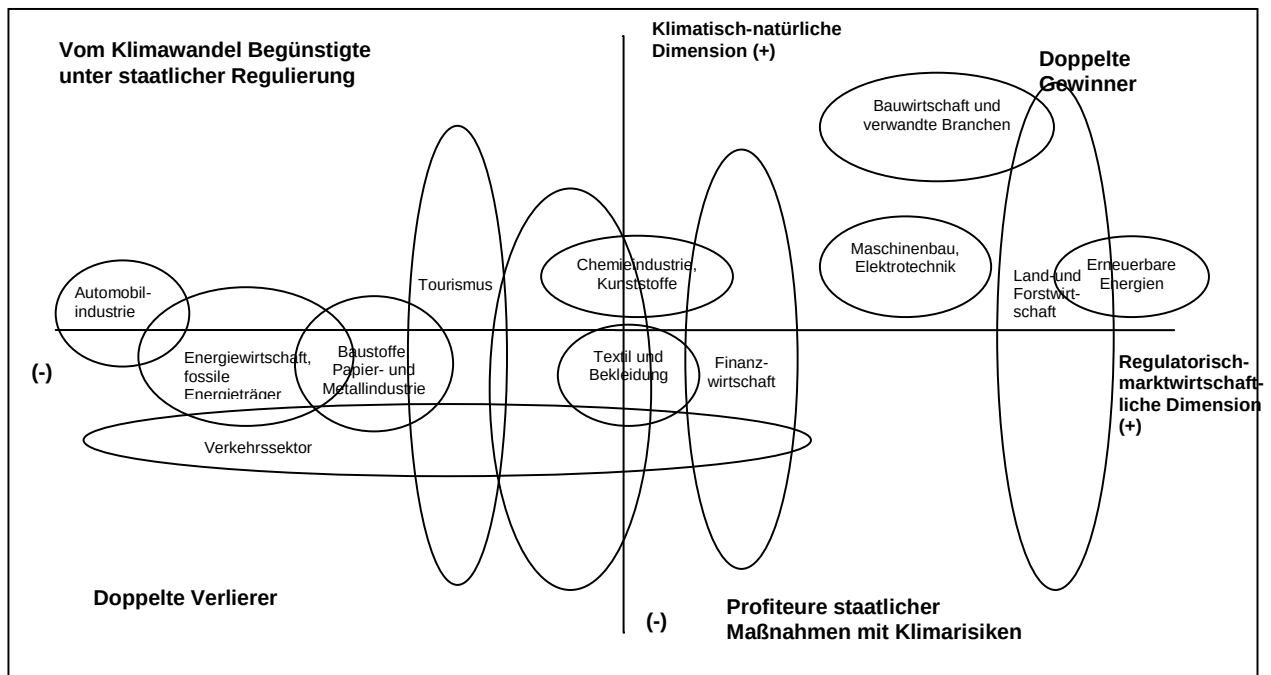
3.3.1 Überblick über die Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Branchen in Sachsen-Anhalt

In der „Heymann-Analyse“ werden die Branchen – wie schon erläutert – hinsichtlich zweier Dimensionen analysiert; zum einen eine „klimatisch-natürliche“ Dimension, die hauptsächlich die Klimaveränderungen umfasst, und zum anderen die „regulatorisch-marktwirtschaftliche“ Dimension. Diese berücksichtigt sämtliche Maßnahmen zur Verlangsamung des Klimawandels und zur Anpassung an seine negativen Folgen durch die Veränderung von Angebot und Nachfrage auf den internationalen Rohstoffmärkten sowie die sich in Preisänderungen ausdrückenden Reaktionen der Marktteilnehmer.¹¹ Hieraus ergeben sich – wie in Abbildung 1 dargestellt – spezifische „Gewinner“ und „Verlierer“ des Klimawandels.

Die grafischen Positionen der jeweiligen Branchen in Abbildung 1 zeigen, auf welche Weise die Sektoren vom Klimawandel beeinflusst werden. Die horizontale Achse stellt die „regulatorisch-marktwirtschaftliche“ Dimension dar. Je weiter sich die Ellipse der Branche ins Positive verschiebt, umso mehr kann der jeweilige Sektor von klimawandelbedingten marktwirtschaftlichen Veränderungen profitieren. Die vertikale Achse bildet die „klimatisch-natürliche“ Dimension ab. Je weiter sich die Ellipse im positiven Bereich befindet, umso so größer ist die Chance des Sektors, die veränderten klimatischen Rahmenbedingungen auf dem Markt zu seinem Vorteil nutzen zu können.

¹¹ Vgl. Heymann (2007:388).

Abbildung 1: Gewinner und Verlierer des Klimawandels



Quelle: Heymann (2008:68), Welche Branchen sind vom Klimawandel betroffen?

Im Folgenden sollen die einzelnen Sektoren auf Basis dieser zwei Kriterien kurz gekennzeichnet und hinsichtlich ihrer „Klimasensibilität“ beurteilt werden. Dabei werden die Besonderheiten der Wirtschaftsstruktur Sachsen-Anhalts hervorgehoben.

Energiewirtschaft, fossile Energieträger

Fossile Energieträger, d.h. Erdgas, Mineralöle und Kohle, haben in Sachsen-Anhalt einen Anteil von ca. 86% an der Primärenergieversorgung des Landes. Der Anteil von Braun- und Steinkohle beträgt zusammen ca. 21% (MLU 2010b:3). Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass die Nutzung fossiler Energieträger noch auf absehbare Zeit für die Primärenergieversorgung des Landes notwendig sein wird.

Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Primärenergieversorgung in Sachsen-Anhalt lag im Jahr 2008 mit ca. 14% deutlich über dem Bundesdurchschnitt, der 7% betrug. Ein Handlungsschwerpunkt im Energiekonzept der Landesregierung ist, diesen Anteil noch weiter auszubauen (Landesregierung Sachsen-Anhalt 2007:21f). Bis Mitte 2010 wurden in Sachsen-Anhalt 2.261 Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 3.402 MW installiert (MLU 2010b:2). Damit hat Sachsen-Anhalt im Bereich der Stromerzeugung aus Windkraft eine führende Position im direkten Vergleich mit den anderen Bundesländern. Die Anteile der Wasserkraft (1,09%) und der energetischen Nutzung von Klär- und Deponiegas (1,13%) an der regenerativen Stromerzeugung Sachsen-Anhalts sind relativ klein. Auch die Bedeutung der Photovoltaik für die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen ist gemessen am Bundesdurchschnitt von 6,0% mit einem Anteil von 1,57% eher gering. Allerdings konnte

in diesem Bereich im Jahr 2010 ein Zuwachs von 82,75% im Vergleich zu 2009 verzeichnet werden. Es wird erwartet, dass sich der positive Trend wegen sinkender Anlagenpreise weiter fortsetzt.

Der Energiesektor wird in der „klimatisch-natürlichen“ Dimension durch steigende Versicherungskosten für Kraftwerksstandorte sowie infrastrukturelle Schäden durch zunehmende Extremwetterereignisse beeinflusst werden. Außerdem ist zu erwarten, dass durch Extremwetterereignisse ausgelöste Beeinträchtigungen der Rohstoffversorgung zu Preissteigerungen führen werden. Eine ausreichende Kühlung kann bei zu hohen Wassertemperaturen sowie in niederschlagsarmen, heißen Sommern durch zu niedrige Wasserstände ggf. nicht gewährleistet werden. Zusammenfassend überwiegen in der „klimatisch-natürlichen“ Dimension die negativen Effekte des Klimawandels. Im Hinblick auf die „regulatorisch-marktwirtschaftliche“ Dimension werden erneuerbare Energien auch zukünftig von klimapolitisch motivierten staatlichen Fördermaßnahmen profitieren. Durch technischen Fortschritt und aus diesem resultierenden Effizienzsteigerungen kann die preisliche Wettbewerbsfähigkeit erneuerbarer Energien weiter gesteigert werden. Die erneuerbaren Energien werden bezogen auf die „regulatorisch-marktwirtschaftliche“ Dimension Gewinner des Klimawandels sein. Die Abhängigkeit von staatlichen Förderprogrammen ist im Energiebereich jedoch besonders hoch. Zu erwartende Veränderungen der Subventionsbedingungen stellen einen Risikofaktor dar.

Der Preis der fossilen Energieträger wird sich, zum Teil durch staatliche Intervention induziert, auch in Sachsen-Anhalt erhöhen. Außerdem wird der CO₂-Zertifikatehandel in diesem Sektor zukünftig ein wesentlicher Kostenfaktor werden. Im Bereich der fossilen Energieträger wird es zu einer Verschiebung des Anteils der Kohle hin zum Gas kommen. Da die globale Nutzung von fossilen Energieträgern und die Nachfrage nach diesen, insbesondere durch die Schwellenländer, zunehmen, können sich Exportchancen für moderne Kraftwerkstechnologien auch aus Sachsen-Anhalt ergeben.

Land- und Forstwirtschaft

In Sachsen-Anhalt werden 61% des Bioethanols und 16% des Biodiesels in Deutschland produziert (Stand 2006). Die Energiekonzeption des Landes geht davon aus, dass bei der Biomasse die installierte Leistung zwischen 2006 und 2010 (178 MW in 2010) um den Faktor 2,4 zunimmt und bis 2015 (247 MW in 2015) um den Faktor 3,4 anwachsen wird (Landesregierung Sachsen-Anhalt 2007:51f). Außerdem besteht zwischen den Sektoren „Land- und Forstwirtschaft“ und den „erneuerbaren Energien“ eine Querverbindung durch die Stromerzeugung mittels Biomasse. Der Anteil fester, gasförmiger und flüssiger Biomasse an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien liegt in Sachsen-Anhalt bei 71,6%. Damit ist die Biomasse der bedeutendste Stromlieferant im Bereich der erneuerbaren Energien.

Mit einem Anteil von ca. 30% an den globalen Treibhausgasen trägt dieser Sektor entscheidend zum Klimawandel bei und ist gleichzeitig davon betroffen. Grundsätzlich wird die Planungssicherheit für Landwirte abnehmen, da sich Saat- und Erntetermine verschieben und schwieriger zu kalkulieren sein werden. Außerdem können Extremwetterereignisse vermehrte Ernteeinbußen verursachen.

Die Forstwirtschaft wird ebenfalls durch den Klimawandel betroffen sein. Fichtenbestände werden durch Veränderung des Klimas und vermehrten Schädlingsbefall tendenziell abnehmen, Waldbrände und Sturmschäden dürften hingegen durch Extremwetterereignisse zunehmen. Im „klimatisch-natürlichen“ Bereich wird der Sektor mit steigenden Kosten konfrontiert werden. In einigen Regionen, unter Umständen auch in Sachsen-Anhalt, kann es jedoch auch zu einer Steigerung der Ernteerträge kommen (detaillierte Informationen dazu sind Kapitel 4 zu entnehmen).

Die Energienutzungs- und Effizienzpotenziale im Bereich der Bioenergie sind, wie oben beschrieben, noch ausbaufähig.

Auch die Bewässerungslandwirtschaft wird in Sachsen- Anhalt vermehrt an Bedeutung gewinnen. Der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln wird an die klimatischen Veränderungen angepasst werden müssen. Dadurch werden die Preise für Agrarprodukte generell steigen. Besonders deutlich werden die Preisänderungen im Bereich Bioenergie ausfallen. Allerdings kann sich zukünftig der Nutzungskonflikt zwischen Nahrungsmittelproduktion und Pflanzen für die Energieerzeugung verschärfen.

Land- und Forstwirtschaft werden durch die zunehmende Nachfrage nach Bioenergie und wahrscheinliche Preissteigerungen für weitere Produkte profitieren. Zunehmende Gewinne sind demnach in der „regulatorisch-marktwirtschaftlichen“ Dimension möglich.

Bauwirtschaft

Weltweit sind 8% aller Treibhausgas-Emissionen auf die Beheizung von Gebäuden zurückzuführen. In der „Heymann-Analyse“ liegt der Fokus daher weniger auf den Neubauten als vielmehr auf der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes. Auch in Sachsen-Anhalt können noch relativ kostengünstig Effizienzpotenziale, insbesondere im Gebäudebestand, mobilisiert werden. Sämtliche Branchen (Fensterbau, Heizungsinstallation, Gebäudedämmung etc.) können, da sich die Investitionen in Klimaanpassungen in diesem Sektor recht schnell amortisieren, als mögliche Gewinner des Klimawandels in „regulatorisch-marktwirtschaftlicher“ Hinsicht angesehen werden. Weiterhin bietet sich Architekten und Ingenieurbüros die Möglichkeit, durch klimatechnisches Know-how und Innovationen im Ausbau der Energieeffizienz der Gebäudebestände ihre Auftragslage positiv zu beeinflussen. Die Bauwirtschaft ist nach der „Heymann-Analyse“ ein Profiteur des klimatischen Wandels.

Verarbeitendes Gewerbe

Mit einem Anteil von ca. 21% an der Gesamtbruttowertschöpfung Sachsen-Anhalts (Stand 2007, vgl. Abbildung 3) kommt dem Verarbeitenden Gewerbe ein besonderer Stellenwert zu. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die verschiedenen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes sind deutschlandweit, wie auch in Sachsen-Anhalt, sehr unterschiedlich. In der „klimatisch-natürlichen“ Dimension kommt der entsprechenden Standortwahl branchenübergreifend eine große Bedeutung zu. Branchen mit eher hohem Energie- und Wasserbedarf könnten zukünftig gezwungen sein, ihren Standort zu überdenken.

Im Bereich der „regulatorisch-marktwirtschaftlichen“ Dimension werden alle Industriebranchen, in Abhängigkeit davon, wie energieintensiv sie produzieren, zukünftig von höheren Energiepreisen betroffen sein. Branchen wie die Metall-, Baustoff-, Papier- oder Chemieindustrie sind aufgrund höherer Energieintensitäten stärker belastet als etwa der Maschinen- und Automobilbau, bei denen die Energiekostenanteile geringer sind (Heymann 2008:70).

a) Ernährungsgewerbe

Das Ernährungsgewerbe und der Landwirtschaftssektor sind in Sachsen-Anhalt eng miteinander verbunden. Für das Ernährungsgewerbe als mit einem Bruttowertschöpfungsanteil von ca. 17% strukturbestimmender Branche stellt die Landwirtschaft einen wichtigen regionalen Rohstofflieferanten dar. Strukturbedingt produzieren Ernährungs- und Futterwirtschaft größtenteils für die regionalen Märkte, wobei die Erschließung neuer Märkte im Ausland erklärtes Ziel bleibt (MW 2010:41f). In der Ernährungs- und Futterwirtschaft arbeiten 17% aller Beschäftigten in Sachsen-Anhalt und es werden hier 18% des Gesamtumsatzes des Verarbeitenden Gewerbes erzielt.

Für das Ernährungsgewerbe ist auch in Zukunft mit höheren Preisen für Nahrungsmittelrohstoffe zu rechnen. So sind die Nahrungsmittelpreise seit 2005 deutschlandweit um durchschnittlich 13% gestiegen, während die allgemeine Verteuerung 8,2% betrug. Allein im Jahr 2010 sind die Preise für Obst um 5,2% und für Gemüse um 6,3% gestiegen. Während die allgemeine Preissteigerung bei 1,1% lag. In heißen Sommern dürften zudem Produzenten von Erfrischungsgetränken profitieren.

b) Chemieindustrie / Pharmaindustrie

Die chemische Industrie ist eine der bedeutendsten Sektoren in Sachsen-Anhalt. Mit einem Anteil von 20% am Auslandsumsatz des Landes sowie dem Export von 53% der Erzeugnisse in Regionen außerhalb der Euro-Zone ist die Chemieindustrie eines der wichtigsten Standbeine der regionalen Wirtschaft. Im Jahr 2009 arbeiteten ca. 9.800 der Beschäftigten Sachsen-Anhalts in diesem Bereich. Innerhalb der Verarbeitenden Industrie erzielt der chemische Sektor 14% des Gesamtumsatzes (MW 2010:44).

Des Weiteren gehört die chemische Industrie im Saalekreis sowie im Landkreis Anhalt-Bitterfeld zu den wichtigsten Arbeitgebern (vgl. Abbildung 9). In den vergangenen Jahren haben sich die Beschäftigtenzahlen bei der Herstellung chemischer Erzeugnisse in Sachsen-Anhalt kontinuierlich positiv entwickelt (2006: +7,0%; 2007: +6,7%; 2008 +0,6%).

Als klassische Querschnittsbranche wird die chemische Industrie vom Klimawandel sowohl profitieren als auch nachteilig beeinflusst. Produkte, für deren Herstellung fossile Rohstoffe eingesetzt werden, können sich tendenziell verteuern. Von der steigenden Nachfrage nach chemischen Erzeugnissen für Klimatechnologien (bspw. Brennstoffzellen, Leuchtdioden, Nanotechnologie, etc.) kann der Sektor hingegen profitieren.

c) *Baustoff-, Papier-, Metallindustrie*

Die Baustoffindustrie zählt zu den energieintensivsten Branchen. Sie wird somit von steigenden Energiepreisen im besonderen Maße (negativ) betroffen sein. Problematisch, weil kostenintensiv (Zertifikate), dürften außerdem die hohen prozessbedingten CO₂-Emissionen sein. Profitieren kann die Branche im Bereich der anstehenden energetischen Sanierung des Gebäudebestandes. Auch die Metallindustrie produziert relativ energieintensiv. Die Wettbewerbsfähigkeit kann in dieser Branche dadurch sinken, dass Unternehmen anderer Länder zu günstigeren Energiepreisen produzieren können. Eine mögliche Anpassungsstrategie an die absehbaren Entwicklungen könnte im Bereich der Metallindustrie eine zunehmende Spezialisierung auf Hochtechnologieprodukte sein.

d) *Maschinenbau und Elektrotechnik*

Diese Branche zählt eher zu den Gewinnern des Klimawandels, da von ihren Produkten eine Steigerung der Energieeffizienz zahlreicher technischer Geräte (z.B. Haushaltsgeräte) erwartet wird. Dies führt zu anhaltenden Kaufanreizen. Günstig wirkt sich in dieser Branche auch der relativ geringe Energiekostenanteil an den Gesamtproduktionskosten aus.

e) *Automobilindustrie*

Die Automobilindustrie wird weiterhin eine bedeutende Wirtschaftsbranche bleiben. Anstrengungen zur Senkung der CO₂-Emissionen und steigende Kraftstoffpreise werden den Kostendruck im Bereich Forschung und Entwicklung erhöhen. Diese Kosten lassen sich jedoch zu einem gewissen Teil auf den Fahrzeugpreis umlegen und somit an den Endverbraucher weiterreichen.

Dienstleistungssektor

Hinsichtlich der „klimatisch-natürlichen“ Dimension gilt sektorübergreifend, dass höhere Energiepreise den Kostendruck in den jeweiligen Branchen verstärken werden. Der Dienstleistungssektor arbeitet jedoch tendenziell weniger energieintensiv als der Industriesektor (Ausnahme: Transportbranche). Extremwetterereignisse und die daraus resultierenden Schäden führen jedoch zu einer steigenden Betroffenheit der Sub-Sektoren.

a) *Verkehrssektor*

Im Verkehrssektor ist in den kommenden Jahren mit verstärkten regulatorischen Maßnahmen seitens der Politik zu rechnen. Die Bestrebungen werden daraufhin abzielen, die Mobilität zu verteuern, um so das Wachstum der Verkehrsnachfrage zu bremsen. Der Luftverkehr ist mit jährlichen Raten von ca. 5% einer der am stärksten wachsenden Märkte in Sachsen-Anhalt. Dieser Bereich wird zukünftig in den EU-Emissionshandel miteinbezogen werden (Landesregierung Sachsen-Anhalt 2007:37f). Der Straßenverkehr wird analog zum Luftverkehr weiter expandieren. Besonders durch die zentrale Lage Sachsens-Anhalts innerhalb Deutschlands werden die Bundesstraßen und Autobahnen des Landes v.a. im Ost-West-Güterverkehr stärker genutzt werden. Die Erhebung von Straßenzöllen und die Anhebung der Mineralölsteuer werden den Kostendruck in diesem Bereich erhöhen.

b) *Tourismus*

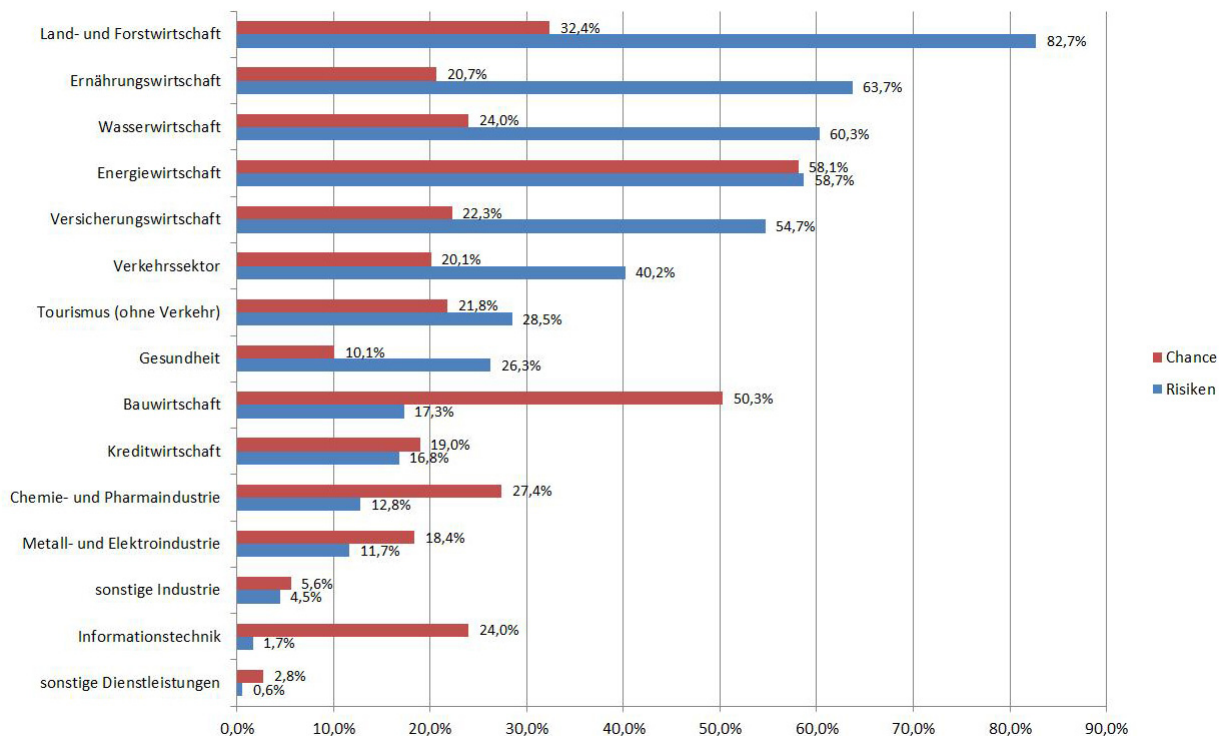
Klimabezogene Kriterien werden bei der Wahl des Urlaubsplatzes eine zunehmende Rolle spielen. Für Regionen mit heißen Sommern wird tendenziell mit einem Rückgang der Buchungen gerechnet. Kühlere Regionen werden als Alternativdestinationen von diesem Trend profitieren. Die Lage des Harzes als Deutschland nördlichstem Mittelgebirge verspricht somit eine Verbesserung der Wettbewerbsposition des Tourismusbereichs in Sachsen-Anhalt. Durch den Umstand, dass derzeit bereits intensiver Wintertourismus lediglich in der Gegend um Schierke möglich ist, kann davon ausgegangen werden, dass der Rückgang des Wintertourismus weniger stark ausfallen wird, als in anderen Mittelgebirgsregionen oder alpinen Skigebieten. Es kann angenommen werden, dass auch tiefer gelegene Regionen ihre Attraktivität durch strategische Neuorientierung ihrer Erholungs- und Freizeitangebote (Wellness, Wandern, Kultur, Biking usw.) verbessern können. Insgesamt wird der Tourismussektor in der „Heymann-Analyse“ als Wachstumsbranche betrachtet.

Aus den dargestellten Wirkungen des Klimawandels und seiner in den beiden Dimensionen betrachteten Effekte zeichnet sich für den Zeitraum bis 2030 ein recht eindeutiger Trend ab. Demnach werden die Auswirkungen der „regulatorisch-marktwirtschaftlichen“ Dimension früher eine Rolle spielen als die der „klimatisch-natürlichen“ Dimension. Es ist für die stärker betroffenen Branchen, bspw. innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes, wichtig, so früh wie möglich über geplante klimapolitische Maßnahmen informiert zu sein, um diese in ihren strategischen Ausrichtungen zu berücksichtigen. Die Analyse zeigt auch, dass sich für viele Branchen neben den klimawandelbezogenen Risiken auch Chancen bieten.

Die Einschätzungen der einzelnen Branchen nach Heymann werden durch das *Umweltexpertenpanel des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln* gestützt. Im Rahmen der Datenerhebung wurden 182 Umweltexperten zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die deutsche Wirtschaft befragt. Die Auswertung der Antworten ergab, dass nach Meinung der

Experten für die Sektoren Informationstechnik, Bauwirtschaft sowie die Chemie- und Pharmaindustrie durch den Klimawandel in Bezug auf die marktwirtschaftliche Dimension eher die Chancen überwiegen. Wohingegen die befragten Experten für die Sektoren Land- und Forstwirtschaft, Ernährungswirtschaft, Wasserwirtschaft, Verkehr und Versicherungen eher die Risiken betonen (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Betroffenheit der verschiedenen Wirtschaftssektoren durch klimatisch-natürliche und regulatorisch-marktwirtschaftliche Dimensionen des Klimawandels



Quelle: IW-Umweltexpertenpanel 4/2008, Befragung von 182 Umweltexperten der Wirtschaft, nach Mahammadzadeh (2010a:323).

3.3.2 Klimasensibilitätsanalyse der Wirtschaftsstruktur Sachsen-Anhalts

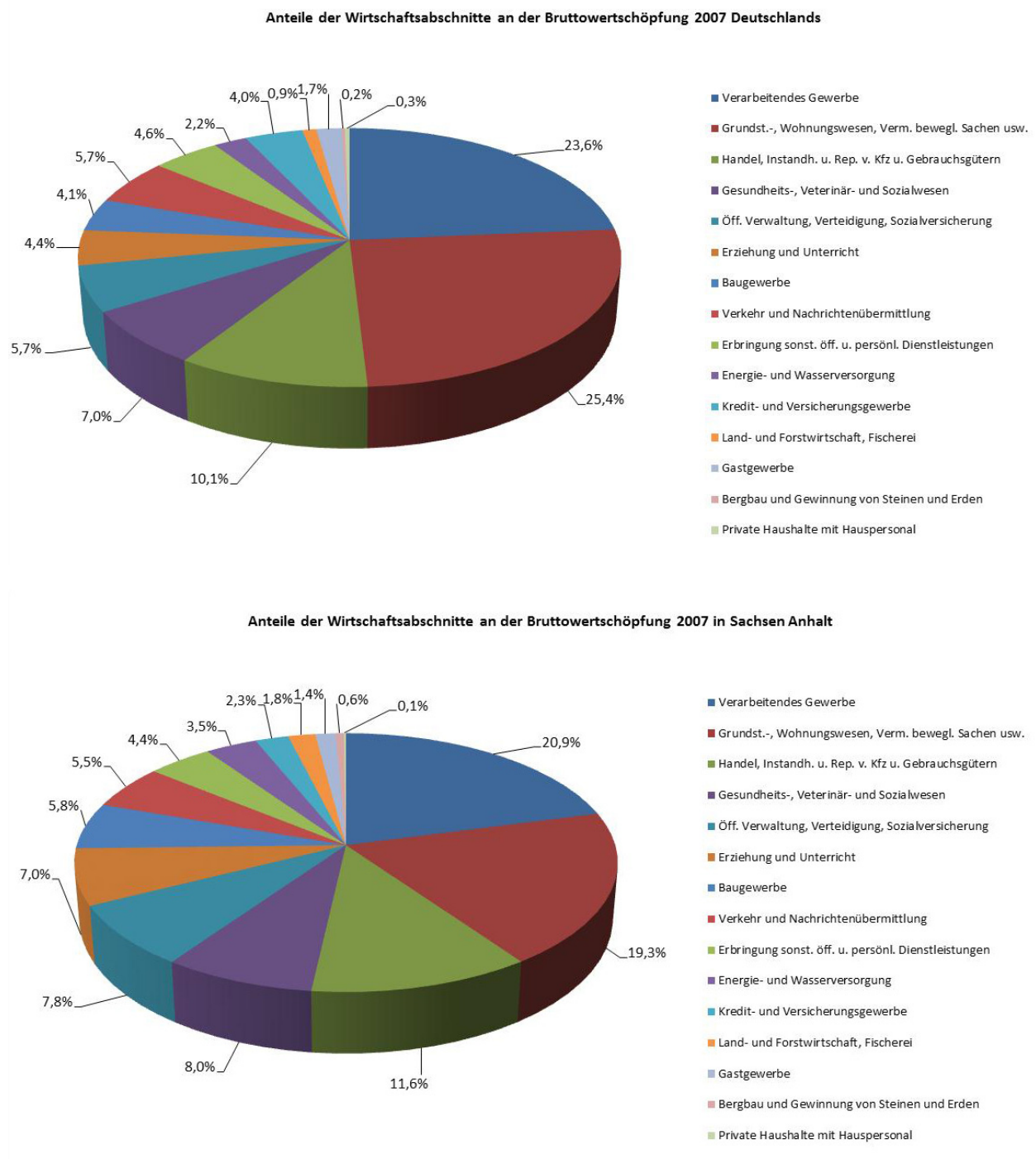
Das auf dem REGKLAM-Projekt basierende und auf Sachsen-Anhalt übertragene Vorgehen¹² unterscheidet sich methodisch von der obigen Analyse. Hierbei wird ein statistisches Verfahren angewendet, um anhand der Energie- und Wasserintensitäten einzelner Sektoren Rückschlüsse auf deren Klimasensibilität zu ziehen. Dabei wird für die Bestimmung der regionalen Bedeutung des jeweiligen Sektors zwischen der Betrachtung der Bruttowertschöpfung und des Beschäftigungsanteils unterschieden. Die vorliegenden Angaben zum Anteil der Branche an der Gesamtbeschäftigung sind hierbei auf regional-sektoraler Ebene detaillierter als die zum Anteil an der Gesamtbruttowertschöpfung.

¹² Vgl. Auerswald, Vogt (2010)

3.3.2.1 Analyse der Klimasensibilität auf der Grundlage der Bruttowertschöpfung

Die Ergebnisse der Branchenanalyse für Sachsen-Anhalt zeigen, dass die untersuchten Wirtschaftsbereiche (nach WZ 2003) bezogen auf die Bruttowertschöpfung anteilig zwar ähnlich wie im bundesdeutschen Durchschnitt verteilt sind, bei genauerer Betrachtung zeigen sich aber auch Abweichungen (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Anteile der Sektoren an der Bruttowertschöpfung, für Deutschland und für Sachsen-Anhalt (WZ 2003)



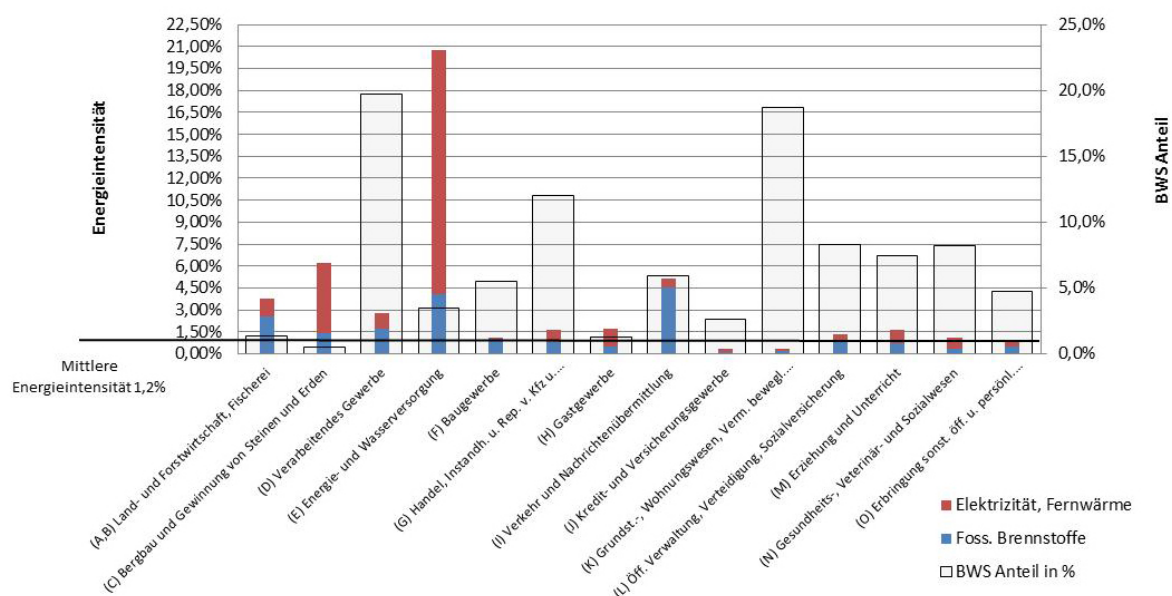
Quelle : Statistisches Bundesamt, VGR und VGR der Länder.

Die drei bedeutenden Bereiche Verarbeitendes Gewerbe, Grundstücks- und Wohnungswesen sowie Handel spielen in Sachsen-Anhalt eine geringere Rolle als in Gesamtdeutschland; sie trugen 2007 in Sachsen-Anhalt mit insgesamt 51,8% (Deutschland 59,1%) zur Bruttowertschöpfung bei. Der Anteil der vier nachfolgenden Bereiche Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen (8,0%), Öffentliche Verwaltung etc. (7,8%), Erziehung und Unterricht (7,0%) sowie das Baugewerbe (5,8%) betrug hingegen insgesamt 28,6% der Bruttowertschöpfung Sachsens-Anhalts, was über dem bundesdeutschen Durchschnitt von 21,2% lag. Diese Branchen sind in Sachsen-Anhalt demnach mit einem größeren Anteil an der Leistungserstellung beteiligt.

Die Analyse der Betroffenheit der einzelnen Sektoren gegenüber dem Klimawandel zielt darauf ab, zunächst landesweit und danach aufgeschlüsselt nach Kreisen und kreisfreien Städten diejenigen Wirtschaftsbereiche zu identifizieren, die von den klimatischen Veränderungen verstärkt betroffen sein werden. Die Betroffenheit wird hierbei über die Veränderungen der Preise für Energie, Wasser und fossile Energieträger erfasst. Mittels einer Input-Output-Tabelle¹³ des Statistischen Bundesamtes werden daher für Gesamtdeutschland die Wasser- und Energieintensitäten der jeweiligen Sektoren berechnet. Dazu werden die Vorleistungen an Wasser und Energie in Relation zum Produktionswert gesetzt. Unter der Annahme, dass die sektorspezifische Produktionstechnologie in Sachsen-Anhalt vergleichbar mit der in Gesamtdeutschland ist, sind die errechneten Wasser- und Energieintensitäten auf die einzelnen Branchen Sachsens-Anhalts übertragbar. Demnach zeigt die ermittelte Intensität der jeweiligen Branche, wie diese Branche im Falle einer Änderung der Preise für Energie und Wasser durch den Klimawandel „betroffen“ sein wird (vgl. Abbildung 4).

¹³ Input-Output-Tabellen haben die Aufgabe, einen detaillierten, tief gegliederten Nachweis der produktions- und gütermäßigen Verflechtungen in der Volkswirtschaft aufzuzeigen. Außerdem werden die Vorgänge der Produktion von Waren und Dienstleistungen und deren Verwendung sowie die im Produktionsprozess entstandenen Einkommen aufgezeigt. Sie dienen u.a. als Grundlage für Strukturuntersuchungen der Wirtschaft sowie für Analysen der direkten und indirekten Auswirkungen von Nachfrage, Preis- und Lohnänderungen auf die Gesamtwirtschaft und die einzelnen Bereiche. Darüber hinaus sind sie eine vielseitig verwendbare Basis für Prognosen der wirtschaftlichen Entwicklung. Die aktuellste verfügbare Input-Output-Tabelle, auf der die Berechnungen basieren, stammt aus dem Jahre 2006.

Abbildung 4: Energieintensität und Bruttowertschöpfungsanteil ausgewählter Bereiche in Sachsen-Anhalt

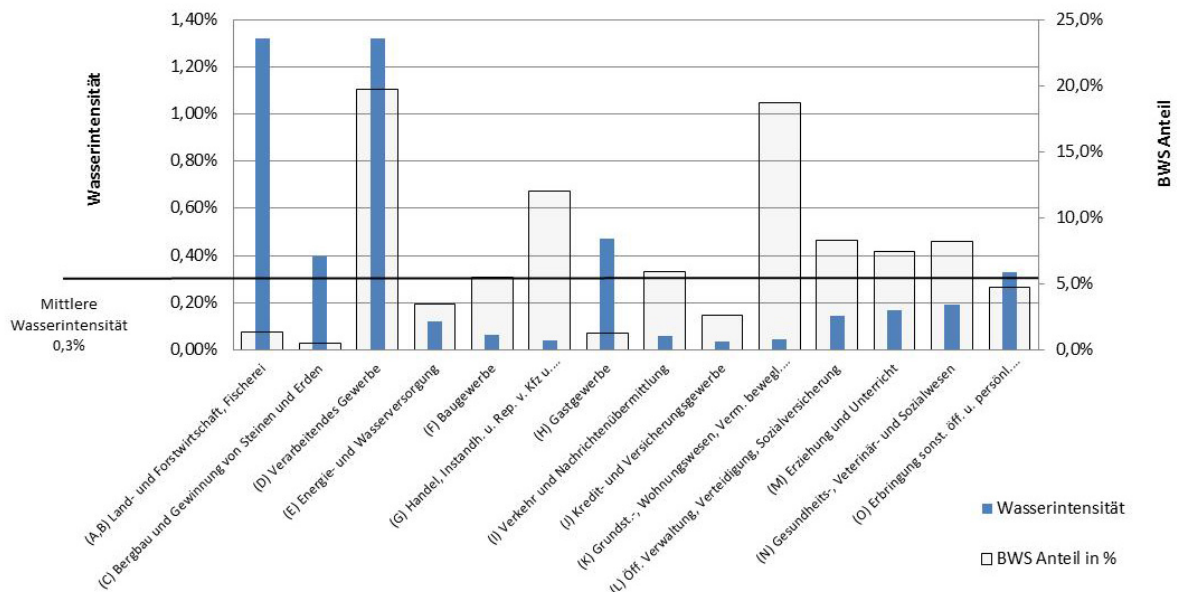


Quelle: Eigene Berechnung aus den Daten der VGR des Statistischen Bundesamtes, in Anlehnung an Auerswald, Vogt (2010).

Abbildung 4 zeigt die Gegenüberstellung der Energieintensitäten für fossile Rohstoffe, Elektrizität und Fernwärme sowie der anteiligen Bruttowertschöpfung. Zur Vergleichbarkeit ist die mittlere Energieintensität über alle Sektoren (1,2%) abgetragen.¹⁴ Es fällt auf, dass vor allem die Branchen Verarbeitendes Gewerbe, Forst- und Landwirtschaft sowie Verkehr und Nachrichtenübermittlung eine überdurchschnittliche hohe Gesamtenergieintensität aufweisen. Lediglich in den Bereichen Kredit- und Versicherungsgewerbe sowie Grundstücks- und Wohnungswesen etc. liegt die Gesamtenergieintensität unter dem Durchschnitt. Die übrigen Bereiche weisen einen Wert knapp über dem statistischen Mittel auf. Im Sektor Verkehr und Nachrichtenübermittlung ist der Energieintensitätsanteil der fossilen Energieträger naturbedingt sehr hoch. Eine Verteuerung fossiler Rohstoffe (Öl, Benzin) wird diesen Sektor stark betreffen.

¹⁴ Bei der Berechnung der mittleren Energieintensität wurde der Bereich Energie- und Wasserversorgung (16,7%) herausgenommen, da dieser als statistischer Ausreißer das Ergebnis unverhältnismäßig stark verzerren würde.

Abbildung 5: Wasserintensität und Bruttowertschöpfungsanteil ausgewählter Bereiche in Sachsen-Anhalt



Quelle: Eigene Berechnung aus den Daten der VGR des Statistischen Bundesamtes, in Anlehnung an Auerswald, Vogt (2010).

Die Intensitäten des zweiten klimawandelrelevanten Inputfaktors Wasser im sektoralen Produktionsprozess zeigt Abbildung 5. Auffällig ist hier, dass die Wasserintensität in den meisten Branchen unter den Energieintensitäten liegt. Eine mögliche Schlussfolgerung ist, dass Wasser als Inputfaktor „relativ“ weniger wichtig ist als Energie. Nichtsdestotrotz produzieren die Bereiche Land- und Forstwirtschaft, Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe, Gastgewerbe, öffentliche und private Dienstleistungen überdurchschnittlich wasserintensiv und können so möglicherweise vom Klimawandel stärker betroffen sein.

Zusammenfassend kann die Wirtschaftsstruktur Sachsen-Anhalts hinsichtlich des Bruttowertschöpfungsanteils des jeweiligen Sektors und dessen Klimasensibilität (bezüglich der Inputfaktoren „Wasser“ und „Energie“) in einer „Betroffenheitsmatrix“ gegenübergestellt werden (siehe Abbildung 6). Während die Spalten die Klimasensibilität kennzeichnen, beschreiben die Zeilen den Bruttowertschöpfungsanteil der Sektoren. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es innerhalb der Sektoren zu Überschneidungen kommt. So ist der Land- und Forstwirtschaftssektor ein wichtiger Rohstofflieferant für das Gastgewerbe und das Verarbeitende Gewerbe, insbesondere für den Bereich des Ernährungsgewerbes. Außerdem ist das Verarbeitende Gewerbe wiederum durch Zulieferungen mit dem Baugewerbe und dem Handel, insbesondere dem Groß- und Einzelhandel, verbunden.

Wie die Matrix erkennen lässt, leisten die Bereiche Verarbeitendes Gewerbe, Handel sowie das Grundstücks- und Wohnungswesen einen erheblichen Beitrag zur gesamten Wirtschaftsleistung

Sachsen-Anhalts. Einzelne Bereiche¹⁵ des Verarbeitenden Gewerbes sind „hoch klimasensibel“, da die Output-Erstellung in diesen Sektoren überdurchschnittliche energie- und wasserintensiv ist.

Abbildung 6: Betroffenheitsmatrix der Wirtschaftsbereiche (WZ 2003) Sachsen-Anhalts hinsichtlich ihrer Klimasensibilität¹⁶

Klima		Klimasensibilität des Sektors in Sachsen-Anhalt hinsichtlich des Inputs an Energie und Wasser		
		Hoch	Mittel	Gering
Wirtschaft				
Bruttowertschöpfungsanteil je Sektor in Sachsen-Anhalt	ab 10%	Verarbeitendes Gewerbe (20,9%)	Handel, Instandhaltung und Reparatur von Kfz und Gebrauchsgütern (11,6%)	Grundstücks- und Wohnungswesen, Vermietung beweglicher Sachen etc. (19,3%)
	4% bis 10%	Verkehr und Nachrichtenübermittlung (5,5%) Erbringung sonstiger öffentlicher und persönlicher Dienstleistungen (4,4%)	Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen (8,0%) Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (7,8%) Erziehung und Unterricht (7,0%)	Baugewerbe (5,8%)
	0% bis 4%	Energie- und Wasserversorgung (3,5%) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei (1,8%) Gastgewerbe (1,4%) Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (0,6%)	Private Haushalte mit Hauspersonal (0,1%)	Kredit- und Versicherungsgewerbe (2,3%)

Quelle: Eigene Darstellung.

Auch die Leistungserstellung in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Verkehr und Nachrichtenübermittlung, öffentliche und persönliche Dienstleistungen, Bergbau, Energie- und Wasserversorgung sowie dem Gastgewerbe ist „hoch klimasensibel“, da diese Sektoren ebenfalls durch hohe Wasser- und Energieintensitäten gekennzeichnet sind.

Auf Grundlage dieser Betrachtungen können auf überregionaler Ebene erste Schlussfolgerungen gezogen werden. Der nächste Schritt dient der Untersuchung der sektoralen Klimabetroffenheit auf regionaler Ebene. Hierzu kann auf Daten des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt zurückgegriffen werden. Die auf Kreisebene verfügbaren Wirtschaftsklassendaten sind jedoch weniger detailliert als die Angaben auf Bundeslandebene.

Abbildung 7 verdeutlicht im Zusammenhang mit Abbildung 8, wie die vom Klimawandel betroffenen Sektoren in Sachsen-Anhalt nach Kreisen und kreisfreien Städten verteilt sind. Auf Grundlage der Bruttowertschöpfung (Abbildung 8) liegen 8 der 14 Landkreise und kreisfreien

¹⁵ Vgl. „Heymann-Analyse“ unter dem Punkt: „Verarbeitendes Gewerbe“.

¹⁶ Vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5.

Städte über dem Landesdurchschnitt. Insgesamt 5 Landkreise und die kreisfreie Stadt Dessau liegen darunter. Bezogen auf die Sektoren, die durch hohe Energie- und Wasserintensitäten gekennzeichnet sind, ergibt sich ein ähnliches Bild. Die 6 Landkreise und die kreisfreie Stadt, die bezüglich der gesamten Bruttowertschöpfung unter dem landesweiten Durchschnittswert liegen, befinden sich auch hier im unteren Teil des Feldes (vgl. Abbildung 7).

Abbildung 7: Bruttowertschöpfung (in Mio. €) der klimavulnerablen Bereiche nach Regionen im Jahr 2008



Quelle: Daten der VGR der Länder des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt.

Abbildung 7 zeigt, dass bezogen auf das Verarbeitende Gewerbe der Saalekreis (1,6 Mrd. €), Anhalt-Bitterfeld (1,4 Mrd. €), der Landkreis Börde (1,1) und der Salzlandkreis (1,1 Mrd. €) wesentlich stärker von marktwirtschaftlichen Veränderungen durch den Klimawandel betroffen sein werden, als bspw. Dessau (0,3 Mrd. €) oder der Altmarkkreis-Salzwedel (0,28 Mrd. €). Ebenso ist der Bereich Handel, Gastgewerbe und Verkehr regional unterschiedlich stark vom Klimawandel betroffen. So sind die Auswirkungen des Klimawandels in diesem Sektor in Magdeburg (1,2 Mrd. €), im Saalekreis (1,0 Mrd. €) höher als in Dessau (0,4 Mrd. €) oder im Altmarkkreis-Salzwedel (0,3 Mrd. €). Die Auswirkungen des Klimawandels sind im Verarbeitenden Gewerbe in den Landkreisen tendenziell stärker als in den kreisfreien Städten, wo sich der Klimawandel stärker im Bereich der öffentlichen und privaten Dienstleister auswirken wird. Insgesamt ist der Bruttowertschöpfungsanteil aller klimasensiblen Sektoren, gemessen an der gesamten Bruttowertschöpfung der jeweiligen Kreise, in allen Regionen Sachsens-Anhalts relativ hoch. Die Spanne liegt dabei zwischen 60,6% in der kreisfreien Stadt Halle (Saale) und 75,8% im Landkreis Anhalt-Bitterfeld (vgl. Abbildung 7).

Abbildung 8: Bruttowertschöpfung Sachsen-Anhalts nach Kreisen und kreisfreien Städten

Bruttowertschöpfung - Jahressumme - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte VGR der Länder: Entstehungsrechnung								
Jahr Kreise und kreisfreie Städte	BWS zu Herstellungspreisen in jeweiligen Preisen	BWS zu Herstellungspreisen in jeweiligen Preisen						
		Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe		Baugewerbe	Handel, Gastgewerbe und Verkehr	Finanzierung, Vermietung , Unternehmensdienstl.	Öffentliche und private Dienstleister
			Insgesamt	Verarbeitendes Gewerbe				
	Mill. EUR	Mill. EUR	Mill. EUR	Mill. EUR	Mill. EUR	Mill. EUR	Mill. EUR	Mill. EUR
2008								
Sachsen-Anhalt	48.199	906	12.246	10.278	2.994	8.992	10.128	12.934
Dessau-Roßlau, Kreisfreie Stadt	1.964	7	373	303	100	378	505	600
Halle (Saale), Kreisfreie Stadt	4.916	2	528	303	238	788	1.475	1.885
Magdeburg, Kreisfreie Stadt	5.901	8	743	543	331	1.178	1.643	1.997
Altmarkkreis Salzwedel	1.777	86	537	276	121	301	290	443
Anhalt-Bitterfeld, Landkreis	3.837	75	1.531	1.464	185	615	676	755
Börde, Landkreis	3.886	121	1.365	1.156	220	820	631	730
Burgenlandkreis	3.708	70	1.087	848	237	660	686	967
Harz, Landkreis	4.409	85	1.101	998	296	829	907	1.192
Jerichower Land, Landkreis	1.847	69	448	424	153	292	337	548
Mansfeld-Südharz, Landkreis	2.312	64	382	348	192	524	487	663
Saalekreis	4.867	87	1.909	1.603	344	1.035	763	729
Salzlandkreis	3.988	77	1.153	1.005	234	668	778	1.079
Stendal, Landkreis	2.288	92	347	292	169	508	419	754
Wittenberg, Landkreis	2.500	64	742	715	174	397	531	591
Mittel	3.443	65	875	734	214	642	723	924
Legende								
über dem Mittel								
unter dem Mittel								
klimasensitiv								
weniger klimasensitiv								

Quelle: Daten der VGR der Länder des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt.

3.3.2.2 Analyse der Klimasensibilität auf der Grundlage der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten

Die Grundlage für die Untersuchung der regionalen Betroffenheit vom Klimawandel auf Grundlage der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (nach Arbeitsortprinzip¹⁷) bildet die Beschäftigungsstatistik der Bundesagentur für Arbeit aus dem Jahr 2008. Die innerhalb der Bundesagentur für Arbeit bereits eingeführte WZ 2008 Systematik erlaubt die Untersuchung von Wirtschaftsunterklassen, was wiederum den Detaillierungsgrad der Analyse verbessert.

Abbildung 9 zeigt die Beschäftigungsanteile der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Sachsen-Anhalt aufgeschlüsselt nach Region. Die roten Zahlen zeigen die drei Sektoren, die bezogen auf die jeweilige Stadt bzw. den jeweiligen Kreis die höchsten Beschäftigungsanteile haben. Es lassen sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede erkennen. So liegen die Schwerpunkte der Beschäftigung in Sachsen-Anhalt überwiegend in den drei Sektoren Verarbeitendes Gewerbe, Gesundheits- und Sozialwesen sowie im Handel. Das Baugewerbe ist im Jerichower Land mit 12,3% und im Saalekreis mit 10,1% vergleichsweise stark vertreten. Ebenso hat Halle (Saale) unter den kreisfreien Städten mit 10,0 % einen relativ großen Beschäftigungsanteil im Bereich Erziehung und Unterricht.

Analog zum Vorgehen bei der Bruttowertschöpfung werden nun mittels der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes für alle Wirtschaftsklassen, sowie für die vorhandenen Wirtschaftsunterklassen, die jeweiligen Energie- und Wasserintensitäten errechnet und in Relation zum Beschäftigungsanteil gesetzt.

Im Bereich der Energieintensität zeigt sich, dass die Bereiche Land- und Forstwirtschaft (A, B), Verarbeitendes Gewerbe (C), Energie und Wasserversorger (D, E), Handel (G) sowie Verkehr und Lagerei (H) deutlich über dem Mittel liegende Energieintensitäten aufweisen.

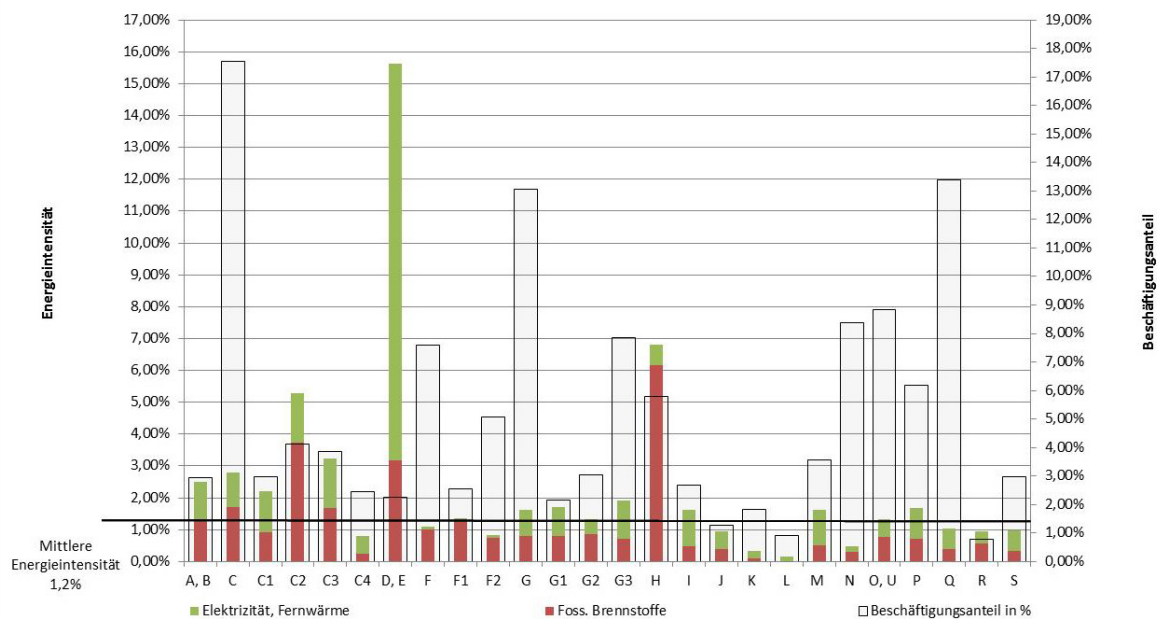
¹⁷ Die Statistik unterscheidet die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Zuordnung nach dem Wohnortprinzip und dem Arbeitsortprinzip. Nach Definition des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt werden im Arbeitsortprinzip die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Gemeinde zugeordnet, in der der Betrieb liegt, in dem sie beschäftigt sind.

Abbildung 9: Beschäftigungsanteile (Jahr 2008) Sachsen-Anhalts nach Wirtschaftsklasse/-unterklasse und Region

Wirtschaftsabschnitte (WZ 2008)		Dessau- Roßlau, Stadt	Halle (Saale) , Stadt	Magdeburg, Stadt	Altmarkkreis Salzwedel	Anhalt- Bitterfeld	Börde	Burgenland kreis	Harz	Jerichower Land	Mansfeld- Südharz	Saalekreis	Salzland kreis	Stendal	Wittenberg	Land Sachsen- Anhalt	Deutschland
Beschäftigte 2008 je Stadt/Kreis/Land und gesamt		33.223	91.143	101.821	25.871	54.559	52.407	51.710	66.964	26.246	38.765	62.008	58.323	34.682	38.198	735.920	27.457.715
		in %														in %	in %
A, B	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	0,8	0,0	0,1	7,7	2,1	7,4	6,3	2,6	5,6	3,8	2,5	2,8	5,1	3,5	3,0	21.755
C	Verarbeitendes Gewerbe	14,5	4,7	7,6	20,1	29,2	24,5	18,2	21,1	20,8	18,6	23,1	21,7	16,0	25,4	17,6	6.527.928
C1	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln; Getränkeherstellung; Tabakverarbeitung (10-12)	1,4	1,0	0,7	2,9	3,4	4,5	8,1	2,2	3,7	3,5	2,2	2,5	6,2	4,7	3,0	21.860
C2	Herst. von chem. u. pharmaz. Erzeugn., Gummi- u. Kunststoffw., Glas u. Glaswaren, Keramik, Verarb. von Steinen u. Erden (20-23)	4,0	0,6	0,6	8,7	9,1	8,6	3,0	2,8	1,9	1,7	9,2	4,5	1,1	7,2	4,1	30.302
C3	Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen (24-25)	4,1	0,7	1,6	3,3	4,8	2,6	2,4	7,6	6,8	6,3	5,7	5,2	3,2	4,4	3,9	28.385
C4	Maschinenbau, Fahrzeugbau (28-33)	1,4	1,2	1,8	1,3	3,1	4,6	1,7	3,1	2,8	3,1	1,0	5,2	1,5	2,7	2,4	17.920
D, E	Energie- und Wasserversorg., Abwasser- u. Abfallentsorg. u. Beseit. von Umweltverschm.	1,6	2,3	2,5	1,5	2,5	1,9	1,9	1,5	2,0	1,6	4,6	2,8	1,2	1,6	2,2	16.507
F	Baugewerbe	6,2	5,0	5,9	8,3	6,8	7,4	8,6	8,4	12,3	8,6	10,1	7,0	9,4	8,2	7,6	55.878
F1	Hoch- und Tiefbau (41-42)	2,4	1,1	2,6	3,0	2,9	2,0	3,1	3,3	3,7	2,8	2,7	1,9	3,5	2,7	2,5	18.673
F2	Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe (43)	3,8	3,9	3,3	5,3	3,9	5,4	5,6	5,1	8,7	5,9	7,4	5,2	5,9	5,5	5,1	37.205
G	Handel; Instandhaltg. und Reparatur v. Kfz	12,5	9,5	11,8	14,9	13,2	15,5	13,6	12,0	11,9	16,8	14,9	15,3	13,5	12,0	13,1	96.112
G1	Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen (45)	2,6	1,5	1,6	2,3	2,3	2,1	2,4	2,2	2,1	3,2	2,3	2,4	2,4	2,1	2,1	15.757
G2	Großhandel (ohne Handel mit Kfz.)	2,5	1,7	2,2	5,1	4,3	3,9	3,1	1,5	3,6	3,6	4,7	3,4	3,8	2,7	3,1	22.484
G3	Einzelhandel (ohne Handel mit Kfz.)	7,5	6,3	7,9	7,5	6,7	9,6	8,0	8,3	6,3	10,0	8,0	9,5	7,2	7,2	7,9	57.871
H	Verkehr und Lagerei	6,1	6,2	4,6	3,3	5,3	8,7	6,4	5,2	4,6	5,0	10,0	3,7	4,5	5,1	5,8	42.527
I	Gastgewerbe	2,0	2,7	3,0	2,4	2,4	1,9	2,7	5,0	2,4	2,4	2,0	2,1	2,0	2,7	2,7	19.675
J	Information und Kommunikation	0,9	3,4	2,7	1,0	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	1,2	0,5	0,6	0,4	1,3	9.323
K	Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	2,1	2,5	2,8	1,9	1,2	1,5	1,6	1,8	1,5	1,6	1,0	1,5	1,7	1,7	1,8	13.570
L	Grundstücks- und Wohnungswesen	0,4	2,0	1,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8	0,6	0,9	6.672
M	Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen	4,7	5,8	5,6	2,0	3,2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	3,2	2,6	3,2	3,5	26.111
N	Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen	13,5	11,7	14,6	5,8	7,8	4,1	7,1	4,8	4,0	5,5	8,4	5,9	7,0	6,8	8,4	61.669
O, U	Öffentl. Verwaltung, Verteidigung; Sozialvers., Exterritoriale Organisationen und Körperschaften	12,8	9,7	10,9	9,0	6,3	7,4	9,1	8,9	9,2	8,0	6,2	7,6	11,6	7,5	8,9	65.146
P	Erziehung und Unterricht	3,8	10,0	8,5	5,6	4,7	4,7	4,4	6,0	4,6	6,8	4,0	5,8	6,2	5,0	6,2	45.498
Q	Gesundheits- und Sozialwesen	13,5	18,0	12,2	13,0	10,8	9,4	13,9	14,9	14,8	14,9	7,3	16,8	13,9	13,1	13,4	98.597
R	Kunst, Unterhaltung und Erholung	1,8	2,4	0,7	0,2	0,3	0,3	0,3	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,4	0,8	5.640
S	Erbringung von sonstigen öff. u. pers. Dienstleistungen	2,8	3,9	4,9	2,6	2,8	2,1	2,0	3,2	2,5	2,1	1,4	2,0	3,5	2,5	2,9	21.664

Quelle: Beschäftigungsdaten der Bundesagentur für Arbeit

Abbildung 10: Energieintensität und Beschäftigungsanteile ausgewählter Bereiche Sachsen-Anhalts

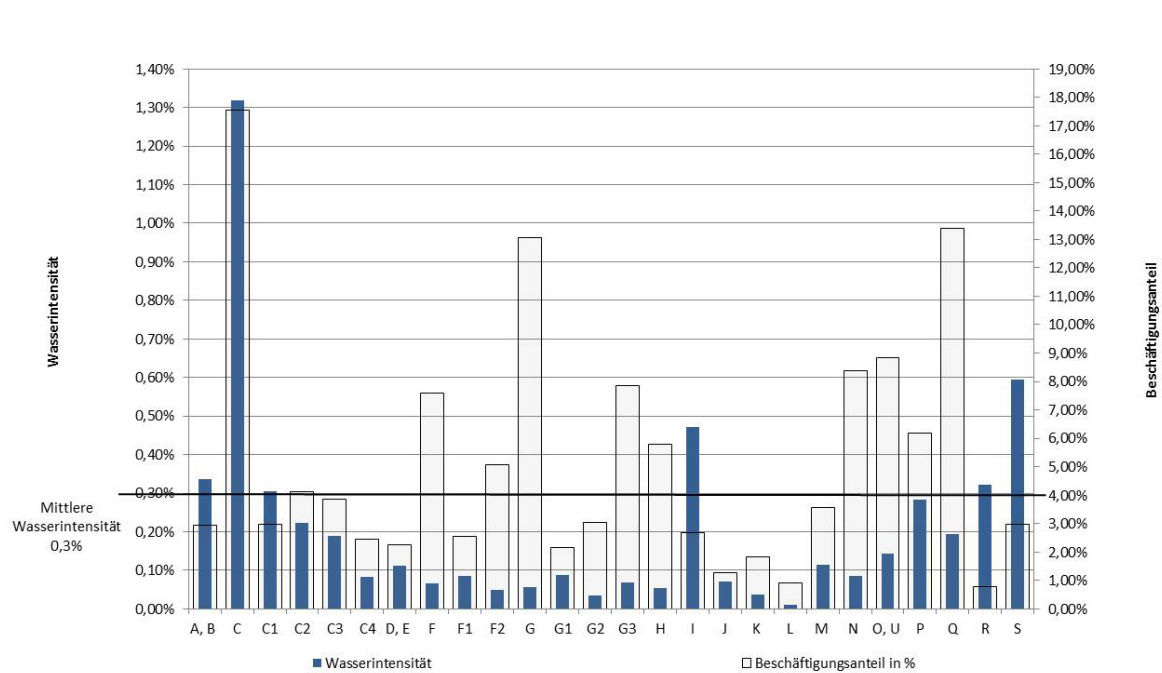


Quelle: Eigene Berechnung aus den Beschäftigungsdaten der Bundesagentur für Arbeit, in Anlehnung an Auerswald, Vogt (2010).

Insbesondere im Bereich des Verarbeitenden Gewerbes (C) zeigt sich mit der Wirtschaftsunterklasse chemische und pharmazeutische Erzeugnisse (C2) ein stark energieintensiv produzierender Bereich. Dabei beruht der größte Verbrauch hier auf den fossilen Brennstoffen vergleichbar dem Bereich Verkehr und Lagerei (H). Preissteigerungen fossiler Energieträger können einen negativen Einfluss auf den Beschäftigungsstand in diesen Bereichen ausüben.

Im Bereich der Wasserintensitäten zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Bruttowertschöpfung. In den meisten Branchen liegt die Wasserintensität unter der Energieintensität. Dies ist möglicherweise dadurch begründet, dass der Inputfaktor Wasser „relativ“ weniger wichtig ist als Energie. Die Bereiche Land- und Forstwirtschaft (A, B), Verarbeitendes Gewerbe (C), Gastgewerbe (I), öffentliche und private Dienstleistungen (S+T) sind durch überdurchschnittliche Wasserintensitäten gekennzeichnet und somit im besonderen Maße vom Klimawandel beeinflusst.

Abbildung 11: Wasserintensität und Beschäftigungsanteile ausgewählter Bereiche Sachsen-Anhalts



Quelle: Eigene Berechnung aus den Beschäftigungsdaten der Bundesagentur für Arbeit, in Anlehnung an Auerswald, Vogt (2010).

Tabelle 1 fasst die Betroffenheit der einzelnen Wirtschaftsklassen und -unterklassen gegenüber dem Klimawandel zusammen. Diese Zuordnung bedeutet jedoch für die jeweiligen Branchen nicht notwendigerweise negative Auswirkungen auf die Beschäftigungsentwicklung. Eine solche Bewertung würde eine weiterführende sektorspezifische Untersuchung voraussetzen.

Eine mögliche Herangehensweise zur inhaltlichen Verbindung der „Intensitätsanalyse“ und der „Heymann-Analyse“ ist – soweit es die Wirtschaftsklassen nach der WZ 2008 Systematik zulassen – eine Betrachtung der Beschäftigung der jeweiligen Branchen unter Zuhilfenahme der grafischen Positionen in „klimatisch-natürlicher“ und „regulatorisch-marktwirtschaftlicher“ Hinsicht. So können unter Zuhilfenahme der Abbildung 1 und der Abbildung 9 potenzielle „Gewinner“ und „Verlierer“ aufgeschlüsselt nach Kreisen und Städten identifiziert werden.

Entsprechend der Annahmen der „Heymann-Analyse“ ist die Bauwirtschaft sowohl in „regulatorisch-marktwirtschaftlicher“ als auch „klimatisch-natürlicher“ Hinsicht ein „Doppelter-Gewinner“ des klimatischen Wandels. Dies würde durch die jeweils überdurchschnittlichen Beschäftigungsanteile in der Bauwirtschaft vorrangig folgende Kreise betreffen: Jerichower Land (12,3%), Saalekreis (10,1%) und Stendal (9,4%).

Tabelle 1: Betroffenheit der Beschäftigung Sachsen-Anhalts hinsichtlich des Klimawandels

WZ2008 (Abschnitte)		Betroffenheit der Beschäftigung Sachsen-Anhalts hinsichtlich des Klimawandels	
		Energie	Wasser
A, B	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	X	X
C	Verarbeitendes Gewerbe	X	
dar. C1	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln; Getränkeherstellung; Tabakverarbeitung (10-12)	X	X
dar. C2	Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen, Gummi- und Kunststoffwaren, Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (20-23)	X	
dar. C3	Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen (24-25)	X	
dar. C4	Maschinenbau, Fahrzeugbau (28-30)		
D, E	Energie- und Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzung	X	
F	Baugewerbe		
dav. F1	Hoch- und Tiefbau (41-42)		
dav. F2	Vorbereitende Baustellenarbeiten, Bauinstallation und sonstiges Ausbaugewerbe (43)		
G	Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen	X	
dav. G1	Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen (45)	X	
dav. G2	Großhandel (ohne Handel mit Kfz.) (46)	X	
dav. G3	Einzelhandel (ohne Handel mit Kfz.) (47)	X	
H	Verkehr und Lagerei	X	
I	Gastgewerbe	X	X
J	Information und Kommunikation		
K	Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen		
L	Grundstücks- und Wohnungswesen		
M	Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen	X	
N	Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen		
O, U	Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung, Exterritoriale Organisationen und Körperschaften	X	
P	Erziehung und Unterricht	X	
Q	Gesundheits- und Sozialwesen		
R	Kunst, Unterhaltung und Erholung		X
S, T	Erbringung von sonstigen Dienstleistungen, Private Haushalte mit Hauspersonal; Herstellung von Waren und Erbringung von Dienstleistungen durch private Haushalte für den Eigenbedarf ohne ausgeprägten Schwerpunkt		X

Quelle: Eigene Berechnung aus den Beschäftigungsdaten der Bundesagentur für Arbeit.

Auch die Chemie- und Pharmabranche kann als Profiteur des Klimawandels angesehen werden. Hier bestehen im Landkreis Anhalt-Bitterfeld (9,1%) und Saalekreis (9,2%) die größten Beschäftigungsanteile im Bundesland (Teilbereich des Sektors C2).

Die Land- und Forstwirtschaft (A, B), „Gewinner“ in „regulatorisch-marktwirtschaftlicher“ Hinsicht, haben besonders im Altmarkkreis-Salzwedel (7,7%), im Landkreis Börde (7,4%) sowie im Burgenlandkreis (6,3%) hohe Beschäftigungsanteile zu verzeichnen.

Der „Heymann-Analyse“ zufolge gilt die Finanzwirtschaft auch unter den Bedingungen des Klimawandels als Branche mit Wachstumspotenzialen. Die meisten Beschäftigten des Banken- und Versicherungssektors (K) in Sachsen-Anhalt arbeiten in den kreisfreien Städten Dessau (2,1%), Halle (2,5%) und Magdeburg (2,8%).

Der Tourismussektor kann ebenfalls als möglicher „Gewinner“ in „klimatisch-natürlicher“ Hinsicht betrachtet werden. In Ermangelung eines „Tourismus“-Sektors in der WZ 2008 Systematik werden die Angaben für den Bereich Gastgewerbe (I)¹⁸ als Proxy für touristische Aktivitäten interpretiert. Überdurchschnittlich viele Beschäftigte (5,0%) arbeiten in diesem Bereich im Landkreis Harz.

In allen oben aufgeführten Kreisen und kreisfreien Städten sind für die jeweiligen Branchen in Sachsen-Anhalt positive Beschäftigungseffekte durch den Klimawandel möglich.

Ein „Doppelter-Verlierer“ ist nach Heymann der Verkehrssektor. Hohe Beschäftigungsanteile weisen der Saalekreis (10,0%), der Bördekreis (8,7%), der Burgenlandkreis (6,4%), Halle (Saale) (6,2%) und Dessau (6,1%) auf.

Auch die Metallindustrie gehört aufgrund ihrer energieintensiven Produktion eher zu den „Verlierern“ des Klimawandels. Besonders hoch sind die Beschäftigungsanteile dieser Branche im Landkreis Harz (7,6%), im Jerichower Land (6,8%) und im Landkreis Mansfeld-Südharz (6,3%).

Die Automobilindustrie wird tendenziell ebenso negativ vom Klimawandel betroffen sein. Die größten Beschäftigungsanteile in Sachsen-Anhalt bestehen im Salzlandkreis (5,2%) und im Landkreis Börde (4,6%).

In den hier aufgeführten Sektoren sind durch die spezifische Betroffenheit der Sektoren vom Klimawandel negative Beschäftigungseffekte denkbar.

¹⁸ Hierunter fällt nach WZ 2008 Systematik das Beherbergungs- und Gaststättenwesen mit der gewerbsmäßigen Verpflegung und/oder Beherbergung in einem Beherbergungs- und Gaststättenbetrieb.

3.4 Fazit

Der Klimawandel wird ambivalente Auswirkungen sowohl auf die wirtschaftliche Entwicklung Sachsen-Anhalts als auch auf die Beschäftigungsentwicklung im Land haben. Die „Heymann-Analyse“ hat gezeigt, dass sich für viele Branchen neben den klimawandelbezogenen Risiken auch Chancen bieten. Letztendlich haben jene Branchen die größten Chancen, eine Verbesserung der eigenen relativen Wettbewerbsposition durch den Klimawandel zu erreichen, die sich auf die regulatorischen, preislichen und klimatischen Änderungen am frühesten und am besten vorbereiten.

Die mit Hilfe der „Intensitätsanalyse“ vorgenommene Untersuchung der Wirtschafts- und Beschäftigungsstruktur Sachsen-Anhalts hat gezeigt, welche energie- und wasserintensiv produzierenden Branchen und Regionen im besonderen Maße vom Klimawandel betroffen sein werden. Das Wissen um die sektorspezifischen Auswirkungen des Klimawandels auf die jeweiligen Produktionsstrukturen sowie die Vorbereitung und Umsetzung geeigneter auf die erwarteten Veränderungen abzielenden Anpassungsmaßnahmen können dabei helfen, die negativen Folgen des Klimawandels zu begrenzen bzw. sich ergebende Chance zu nutzen.

Insgesamt können die vorliegenden Überlegungen noch keine konkreten Aussagen zu den Anpassungskosten an den Klimawandel liefern. Sie dienen jedoch als wichtige Vorbetrachtung für die Abschätzung sektoraler und regionaler Betroffenheiten innerhalb Sachsen-Anhalts.

4. Anpassung an den Klimawandel in ausgewählten Sektoren in Sachsen-Anhalt

4.1 Begründung der Auswahl der Sektoren

Auf Grund des Pilotstudien-Charakters der Untersuchung wurden folgende Bereiche für die Ermittlung sektoraler Anpassungskosten an den Klimawandel in Sachsen-Anhalt ausgewählt:

a) Wasserwirtschaft: Wasserversorgung und Hochwasserschutz

Der wasserwirtschaftliche Bereich spielt für eine Vielzahl weiterer Sektoren eine bedeutende Rolle. Die Trink- und Brauchwasserversorgung ist in vielerlei Hinsicht vom Klimawandel betroffen. Die Veränderungen der Grundwasserneubildung und Wasserqualität, bspw. durch veränderte Schadstoffkonzentrationen, müssen hierbei ebenso berücksichtigt werden wie nachfrageseitige Faktoren, wie größere und häufigere Schwankungen der Abgabemengen. Vor dem Hintergrund einer generellen Zunahme der Winterniederschläge ergeben sich veränderte Anforderungen an den Hochwasserschutz.¹⁹ Aufgrund der Tatsache, dass im wasserwirtschaftlichen Bereich langfristige Infrastrukturinvestitionen getätigt werden, ist eine frühzeitige Auseinandersetzung mit den Herausforderungen des Klimawandels geboten.

b) Forstwirtschaft

Der forstwirtschaftliche Sektor ist trotz der natürlichen Anpassungsfähigkeit der Wälder durch eine besondere Klimavulnerabilität gekennzeichnet. Temperaturanstieg und Abnahme der Wasserverfügbarkeit beeinflussen die Stabilität und Leistungsfähigkeit der Wälder ebenso wie die voraussichtliche Zunahme von Starkniederschlagsereignissen²⁰ und Stürmen.²¹ Temperaturanstieg und Abnahme der Wasserverfügbarkeit in der Vegetationsperiode haben einen Einfluss auf Stabilität und Leistungsfähigkeit der Wälder. Die langen Produktionszeiträume in diesem Sektor begründen eine zeitnahe Beschäftigung mit möglichen Anpassungsstrategien an den Klimawandel, um etwaige Schäden zu verringern

¹⁹ Dies gilt auch unter Anerkennung der sich aus der räumlichen und zeitlichen Auflösung ergebenden Limitationen der derzeitigen Modellierungen und den mit diesen verbundenen Unsicherheiten. Im Rahmen der Auswertung der für Sachsen-Anhalt vorgenommenen Simulationen wird auf diese Schwierigkeiten hingewiesen (PIK 2009:309). Neben einer signifikanten Zunahme intensiver Niederschläge für das Winterhalbjahr (> 30mm pro Tag) wird eine Kontinuität der räumlichen Muster der Starkniederschläge erwartet (PIK 2009:57/109).

²⁰ Es kann ein Trend zu vermehrten Starkniederschlägen im Winter und in den Übergangsphasen zwischen den Jahreszeiten in Deutschland festgestellt werden (Schönewiese 2007:65).

²¹ Derzeit ist für Deutschland noch keine Änderung von Anzahl und Intensität der auftretenden Stürme nachweisbar (Schönewiese 2007:65f). Deren zukünftige Entwicklung ist darüber hinaus noch mit großen Unsicherheiten verbunden (PIK 2009:219/220). Die Auswertung der für Sachsen-Anhalt bereits vorliegenden Einschätzungen bspw. der Forstexperten hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels ergab jedoch, dass trotz dieser Unsicherheiten mit einer Zunahme von Stürmen gerechnet wird.

bzw. sich aus den veränderten Bedingungen ergebende Ertragssteigerungspotenziale zu realisieren.

c) Tourismus

Der Tourismus ist ähnlich wie die anderen ausgewählten Bereiche im besonderen Maße von den klimatischen Bedingungen abhängig. Angesichts der prognostizierten Veränderungen gilt es sich, v.a. in den Mittelgebirgen mittelfristig auf ausbleibenden Schneefall im Winter und zunehmende Hitzeperioden im Sommer einzustellen. Durch die wirtschaftliche Bedeutung des Tourismusbereichs sowie dessen Vernetzung mit anderen Sektoren erscheint dieser Wirtschaftsbereich prädestiniert für eine erste Abschätzung der mit den notwendigen Anpassungsprozessen verbundenen Aufwendungen.

Der projektbegleitende Arbeitskreis empfahl eine Konzentration auf einzelne Ausschnitte der ausgewählten Sektoren. Folgende Untersuchungsfelder wurden vorgeschlagen:

- a) Hochwasserschutz am Beispiel der Deichrückverlegung im Roßlauer Oberluch;
- b) Anpassung der Trink- und Brauchwasserversorgung am Beispiel der Colbitz-Letzlinger Heide;
- c) Anpassungsmaßnahmen in der Forstwirtschaft;
- d) Anpassungsmaßnahmen im Tourismussektor (Harz).

Das skizzierte Vorgehen schien zunächst angemessen, um zu belastbaren Aussagen hinsichtlich der mit der Anpassung an den Klimawandel verbundenen konkreten Aufwendungen zu gelangen. Es war geplant, ausgehend von den ermittelten spezifischen Anpassungsmaßnahmen Extrapolationen auf die sektorale Ebene vorzunehmen.

Im Rahmen der Konsultationen mit den Experten in den Bereichen Hochwasserschutz und Wasserversorgung zeigte sich jedoch, dass eine derartige Einschränkung auf Einzelmaßnahmen, wie einzelne Deichrückverlegungen, oder eine Fokussierung auf die Anpassung der Wasserversorgung in einem Gewinnungsgebiet für eine Extrapolation der auf sektoraler Ebene zu erwartenden Kosten nicht förderlich ist. Diese Einsicht führte zu einer Ausweitung des Kreises der in die Analyse einzubeziehenden Stakeholder.

Die Anpassung an den Klimawandel wurde daher im Bereich Hochwasserschutz mit dem Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) und dem Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt (TSB) allgemeiner und nicht nur in Bezug auf eine Einzelmaßnahme diskutiert.

Die im Bereich der Wasserversorgung in Sachsen-Anhalt zu erwartenden Anpassungen wurden mit den drei größten Wasserversorgungsunternehmen – Trinkwasserversorgung Magdeburg GmbH (TWM), Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH (HWS), MIDEWA

GmbH – sowie den beiden wichtigsten Vorversorgern – Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH (FWV Torgau-Ostharz), TWM – erörtert.

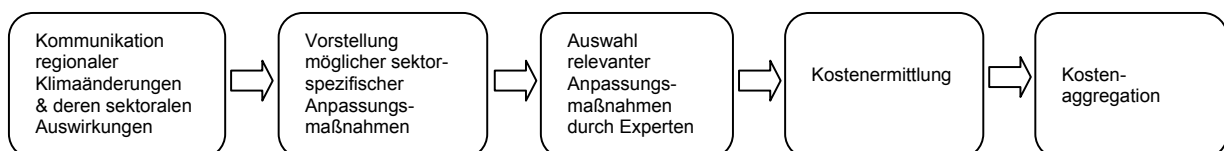
4.2 Methodisches Vorgehen

Die Ermittlung der für die ausgewählten Sektoren absehbaren Anpassungskosten an den Klimawandel sollte unter Verwendung eines Bottom-up-Verfahrens erfolgen. Die für die Anpassungsprozesse in den jeweiligen Sektoren relevanten Ansprechpartner wurden hierfür ermittelt und kontaktiert. Das Anliegen der Studie wurde bei dieser Kontaktaufnahme kommuniziert und erste Hintergrundinformation übermittelt.

Im Rahmen eines Treffens wurden, soweit noch nicht bekannt, die Ergebnisse der regionalen Klimamodellierungen und der darauf basierenden Vermutungen über sektor- und standortspezifische Auswirkungen des Klimawandels angesprochen. Danach wurden die in der Literatur dokumentierten bzw. im Rahmen anderer Projekte ermittelten Anpassungsmaßnahmen vorgestellt. Die von den jeweiligen Ansprechpartnern als relevant erachteten, d.h. bereits durchgeführten, geplanten oder über die gesicherten Planungen hinaus absehbaren Anpassungsmaßnahmen wurden festgehalten. Eine erste Kostenzuschreibung zu diesen Maßnahmen wurde erbeten.

In der Folge wurde eine sektorspezifische Zusammenstellung der von den verschiedenen Experten in den jeweiligen Bereichen als relevant eingeschätzten Auswirkungen des Klimawandels sowie die mit diesen verbundenen Anpassungsmaßnahmen erstellt. Diese wurde den Experten mit der Bitte übermittelt, die Relevanz der aufgelisteten Handlungsbereiche und Maßnahmen zu kommentieren sowie die vorgenommene Kostenzuschreibung zu bestätigen bzw. zu korrigieren. Die Ergebnisse dieser Abfrage und die in den zuvor geführten Gesprächen getroffenen Einschätzungen wurden für jeden Bereich zusammengestellt.

Abbildung 12: Methodisches Vorgehen



Dieser Prozess der Kostenerfassung wurde in den vier Sektoren Hochwasser, Forstwirtschaft, Tourismus sowie Trink- und Brauchwasserversorgung umgesetzt.

Die Ermittlung der für die verschiedenen Sektoren auf Landesebene zu erwartenden Anpassungskosten durch Extrapolation der ermittelten Kostenblöcke war aus sehr unterschiedlichen Gründen problematisch. Die jeweiligen Herausforderungen werden im

Einzelnen im Rahmen der Abschnitte zur Abschätzung der Anpassungskosten für die einzelnen Sektoren erörtert.

4.3 Anpassungskosten im Bereich Hochwasserschutz

4.3.1 Hochwasserschutz und Klimawandel

Die Verfügbarkeit von Trinkwasser und die Möglichkeit der Nutzung von Flüssen als Transportwege führten von jeher zur Entstehung von Siedlungen in Flusstälern. Diese waren und sind durch diese besondere Lage im jahreszeitlichen Wechsel von Niedrig- und Hochwasserperioden einem erhöhten Schadensrisiko ausgesetzt. Das Risiko des Auftretens von Hochwassern nimmt dabei immer dann zu, wenn im Zuge von Niederschlagsereignissen die Aufnahmefähigkeit der natürlichen Speichersysteme überschritten wird. Der Abfluss erfolgt dann vorrangig oberirdisch in die Gewässer.

Dieses Risiko wird sowohl von natürlichen als auch von anthropogenen Einflussfaktoren bestimmt. Neben dem Ausbau der Flüsse und der veränderten Landnutzung an deren Ufern werden in diesem Zusammenhang zunehmend die Auswirkungen des Klimawandels diskutiert. Die Ursache-Wirkungs-Beziehungen sind in diesem Bereich sehr komplex.

Der Klimawandel beeinflusst die Hochwassergefahrenlage durch die regionalspezifische Veränderung des Wasserkreislaufs. Durch den sinkenden Anteil von Schnee am Gesamtniederschlag wird im Winterhalbjahr eine Zwischenspeicherung der Niederschläge verringert. Daher ist für diese Monate mit einer Zunahme des unmittelbaren Wasserabflusses zu rechnen. Die durch Intensität und Häufigkeit bestimmten Niederschlagsmengen sind für den Wasserkreislauf besonders relevant. Der bereits beobachtete und zukünftig erwartete Temperaturanstieg hat eine Erwärmung der unteren Schichten der Atmosphäre zur Folge. Dies führt dazu, dass diese Schichten mehr Energie enthalten und größere Mengen Wasserdampf speichern können. Bei extremen Witterungsereignissen kann es somit zur höheren Freisetzung von Energie und größeren Niederschlagsmengen kommen. Vor dem Hintergrund der vorliegenden Temperatursimulationen scheint somit eine Zunahme und Intensivierung von Unwetterereignissen wahrscheinlich.

Analysen des Deutschen Wetterdienstes untermauern diese Vermutung durch die Feststellung, dass sich das Niederschlagsverhalten in Deutschland über die letzten 100 Jahre kontinuierlich und grundsätzlich verändert habe. So haben die Niederschläge nicht nur zugenommen, sie seien auch variabler geworden; was wiederum zu einer Zunahme sowohl von Niederschlagsextremen als auch von Trockenzeiten führte (DWD 2002:55f). Diese

Aussagen lassen sich jedoch nicht überregional verallgemeinern, da die Auswirkungen des Klimawandels sehr regionalspezifisch sind.

Dennoch kann nicht nur aufgrund der Trendauswertungen bestehender Messdaten, sondern auch aufgrund der Modellierungen der zukünftigen Entwicklung von einer Zunahme von Starkregenereignissen ausgegangen werden. Für Bayern (KLIWA 2005a:3) und Baden-Württemberg (KLIWA 2005b:3) wurde so im Rahmen des Kooperationsvorhabens "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)" für das meteorologische Winterhalbjahr nicht nur ein verstärktes Auftreten derartiger Ereignisse im Verlaufe des letzten Jahrhunderts ermittelt, sondern es wird auch für den Zeitraum bis 2050 eine weitere Zunahme erwartet.

Die Ergebnisse der Modellierungen des Hochwasserrisikos unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien sind derzeit noch nicht so belastbar, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf den hydrologischen Kreislauf in den untersuchten Flussgebieten bereits eindeutig beschrieben werden könnten. Der Grund hierfür ist v.a. der derzeitige Entwicklungsstand der regionalen Klimamodelle.²² Deren Verwendung erlaubt noch keine eindeutigen Aussagen zur Veränderung der Hochwasserscheitel in den jeweiligen Gewässern (vgl. Box 1).

In zahlreichen Regionen ist trotz der angesprochenen Unsicherheiten mit einer Zunahme der mittleren Abflüsse der Gewässer im Winter- und mit einer Abnahme im Sommerhalbjahr zu rechnen.²³ Dies könnte ein häufigeres Auftreten von kleineren oder mittleren Hochwassern zur Folge haben. Für einige Regionen wie bspw. für Baden-Württemberg liegen derartige Modellierungen auch für 100-jährige Hochwasser vor (vgl. Hennegriff, Reich 2007). Es muss jedoch beachtet werden, dass sich über die Entwicklung von Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen unter Verwendung der aktuellen regionalen Klimamodelle nur schwer verlässliche Aussagen treffen lassen.

²² Aus diesem Grund wird die Weiterentwicklung der Klimamodellierung auf regionaler Ebene als prioritäres Ziel zur Verbesserung der klimawandelbezogenen Wasserhaushaltsmodellierung betrachtet (LAWA 2010:10).

²³ Vgl. bspw. die Ergebnisse des Forschungsprojekts „RheinBlick2050“, das die Auswirkungen des Klimawandels auf das Abflussverhalten des Rheins und seiner großen Nebenflüsse analysiert. Für die Periode 2021 bis 2050 werden gegenüber dem Vergleichszeitraum (1961-1990) im hydrologischen Sommer für Mittel- und Niedrigwasserabflüsse keine eindeutigen Veränderungen festgestellt. Für das hydrologische Winterhalbjahr wird ein Anstieg der Niedrigwasserabflüsse erwartet. Dieser Trend könne durch eine weitere Zunahme der Treibhausgasemissionen zu noch stärkeren Änderungen des Abflussregimes führen. Für den Zeitraum 2071 bis 2100 wird eine Zunahme der mittleren Abflüsse im Winter (5-40%) und mit deren Abnahme im Sommer (5-30%) prognostiziert (BfG 2010, Görden et al. 2010).

Box 1: Forschungsprojekt VERIS-Elbe²⁴

Im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens VERIS-Elbe wurden Veränderungen von Risiken durch extreme Hochwasserereignisse exemplarisch am Einzugsgebiet der Elbe untersucht. In einem Teilvorhaben sollten die Veränderungen von Scheitelabflüssen extremer Hochwasserereignisse unter dem Einfluss von Klimaveränderungen ermittelt werden. Es galt zu überprüfen, ob die häufig angenommene Verschärfung der Hochwassergefahrenlage auch nachgewiesen werden könne.

Für die Modellierung wurden zwei regionale Klimamodelle verwendet; das dynamische Modell REMO und das statistische Modell STAR. Als Niederschlags- und Abflussmodell diente LISFLOOD, das für die Berechnung des Wellenablaufs der gesamten deutschen Elbe an das eindimensionale hydrodynamisch-numerische Wellenablaufmodell WAVOS gekoppelt wurde.

Die Ergebnisse der Modellberechnungen verdeutlichten, dass die derzeit verfügbaren regionalen Klimasimulationen keine eindeutigen Aussagen zu klimawandelinduzierten Veränderungen der Hochwasserscheitel in der Elbe zulassen. Die Schwäche von REMO als Input für eine Hochwassersimulation zeigt sich darin, dass in der Re-Analyse die relevanten Niederschlagscharakteristika des Status quo nicht nachgebildet werden konnten, d.h. die Modellwerte nicht mit den vorliegenden Messwerten übereinstimmten. Auch die Eignung von STAR für eine Hochwassersimulation wurde prinzipiell in Zweifel gezogen, da im Modell die stark nichtlineare Entwicklung der hochwasserrelevanten Niederschlagscharakteristika an die Entwicklung des Temperaturtrends gekoppelt wird. Zudem ergaben sich je nach verwendetem regionalen Klimamodell stark voneinander abweichende Hochwasserlängsschnitte: Während nach REMO mit einer Erhöhung der Hochwasserscheitelabflüsse zu rechnen wäre, käme es nach STAR im Vergleich zum Basisszenario zu deren Abnahme.

Unter Beachtung der bestehenden Einschränkungen der verwendeten Modelle und Daten lässt sich laut VERIS-Elbe derzeit keine signifikante Erhöhung der Hochwassergefahr im Elbeeinzugsgebiet nachweisen und somit auch keine Verstärkung des Hochwasserschutzes rechtfertigen. Konkrete Abschätzungen des zukünftigen Hochwasserrisikos sind aktuell mit keinem der regionalen Klimamodelle möglich.

²⁴ Vgl. Schmidt et al. (2009).

4.3.2 Hochwasserschutz und Anpassung an den Klimawandel

Eine Beschäftigung mit den Herausforderungen des Klimawandels im Bereich des Hochwasserschutzes ist trotz der bestehenden prognostischen Probleme heute schon notwendig. Es ist sinnvoll, mögliche Anpassungsmaßnahmen zu ermitteln und diese, soweit unter den gegebenen Restriktionen möglich, gegeneinander abzuwägen. Insgesamt kann so das Reaktionsvermögen auf schwer prognostizierbare Veränderungen – wie sie im Zuge des Klimawandels zu erwarten sind – gestärkt werden. Die bereits verabschiedeten regionalen Klimaanpassungsstrategien dokumentieren, dass in Deutschland einzelne Bundesländer bereits Initiativen in diese Richtung unternehmen. Instrumente wie der *Klimalotse* des Umweltbundesamtes (UBA) oder der *Stadtklimalotse* des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), die sektorspezifische Maßnahmenkataloge bereitstellen, sollen politische Entscheidungsträger wie gesellschaftliche Anspruchsgruppen bei diesem Prozess unterstützen.

Die Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel (LAS) stellt aus der Vielzahl theoretisch möglicher Anpassungsmaßnahmen die für Sachsen-Anhalt relevantesten zusammen. Folgende Maßnahmen werden empfohlen:

- Überprüfung der Bemessungsabflüsse und Hochwasserschutzpläne;
- Überarbeitung und Anpassung der Ausbauziele für Gewässer und technische Schutzbauwerke wie Deiche und Flutpolder;
- Funktionsüberprüfung ausgewiesener Überflutungsflächen und Ausweisung zusätzlicher Retentionsräume;
- Erwägung von weiteren Rückdeichungen;
- Erhöhung des natürlichen Wasserrückhalts im Einzugsgebiet durch Auengebiete bzw. Überschwemmungsgebiete oder die Bildung bzw. Reaktivierung von Feuchtgebieten;
- Sicherstellung einer wirkungsvollen und nachhaltigen Abflussregulierung.

Es ist zu beachten, dass ein Teil dieser Maßnahmen einerseits nicht ausschließlich der Klimaanpassung zuzuordnen ist und andererseits substantielle positive Nebeneffekte (*co-benefits*) generiert. Dies gilt z.B. für die Unterstützung von Naturschutzanliegen durch Maßnahmen, die der Erhöhung des Rückhaltevermögens in der Fläche dienen, oder durch Deichrückverlegungen.

Eine in der LAS nicht thematisierte aber in anderen Bundesländern²⁵ bereits durchgeführte Maßnahme ist die Förderung eines angemessenen Absicherungsniveaus der privaten

²⁵ Vgl. z.B. Bayerische Staatsregierung (2009).

Haushalte gegen Hochwasserschäden durch Elementarschadenversicherungen.²⁶ Eine Option hierfür sind Kampagnen, die die Bevölkerung darüber informieren, dass staatliche Direkthilfen im Schadensfall nur für näher zu definierende Härtefälle oder lediglich dann erfolgen können, wenn eine private Absicherung gegen dieses Risiko nachweislich nicht möglich war (vgl. Box 2).²⁷ Für diese Ausnahmefälle sollten Rücklagen für mögliche Schadensausgleichzahlungen gebildet werden.

Box 2: Kampagne „Voraus denken – elementar versichern“²⁸

Mit der 2008 gestarteten Kampagne „Voraus denken – elementar versichern“ wirbt die Bayerische Staatsregierung für die eigenverantwortliche Vorsorge der Bürger gegen Schäden, die aus Flut-, Starkregen-, Schnee-, Hagel- oder Sturmereignissen resultieren und mit deren Zunahme im Zuge des Klimawandel gerechnet wird. Auf einer Internetplattform (<http://www.elementar-versichern.bayern.de>) werden Informationen zum Versicherungsschutz, zu baulichen Vorsorgemaßnahmen und angemessenem Verhalten im Katastrophenfall bereitgestellt. Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass der Staat nur im Falle von nicht versicherbaren Schäden finanzielle Unterstützung gewährt und welches die wichtigsten Naturgefahren für Bayern darstellen.

Die Ziele der Kampagne werden durch die beteiligten Multiplikatoren mittels Flyern, Anzeigen in Kunden- und Mitgliederzeitschriften und direkt per Kundenanschriften kommuniziert. Neben dem Land Bayern sind Banken, Versicherer, Gemeinden und entsprechende Verbände wie z.B. der *Eigenheimerverband Bayern e.V.* oder der *Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft* beteiligt. Laut Erhebungen des Gesamtverbands lässt sich seit Einführung der Kampagne ein sichtbarer Anstieg der Versichertenquoten in Bayern im Bundesvergleich feststellen. Die Kosten der Kampagne von ca. 600.000 € werden vorrangig von den privaten Partnern getragen. Der staatliche Zuschuss beträgt etwa 10.000 €.

Einzelne Bundesländer wie Bayern oder Baden-Württemberg haben aus Vorsorgeüberlegungen Anpassungsstrategien entwickelt, die trotz der prognostischen Defizite der vorliegenden Analysen den Klimawandel explizit und über das in anderen Bundesländern übliche Maß im Bereich des Hochwasserschutzes berücksichtigen (vgl. Box 3).

²⁶ Eine solche Kampagne muss als praktikable Alternative zu einer von Wissenschaftlern und Verbraucherschützern geforderten, bislang jedoch nicht vorgeschriebenen Pflichtversicherung gegen Elementarrisiken betrachtet werden.

²⁷ Dies schließt eine Bereitstellung zinsgünstiger Sonderdarlehen als Überbrückungshilfe über die Aufbau- bzw. Investitionsbanken der Länder nicht aus.

²⁸ Vgl. Eintrag in der Tatenbank des UBA unter: <http://www.tatenbank.anpassung.net>.

In Baden-Württemberg werden für den „Lastfall Klimaänderung“ erhöhte Bemessungsabflüsse zugrunde gelegt, die über einen Zuschlag („Klimaänderungsfaktor“) zum derzeit gültigen Bemessungswert ermittelt werden. Durch räumliche Zuordnung zu einem von fünf einheitlichen Bereichen stehen so Klimaänderungsfaktoren für beliebige Untersuchungsgebiete und unterschiedliche Jährlichkeiten zur Verfügung. Diese Vorgehensweise wurde in den Leitfaden „Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes“ aufgenommen.

In Bayern ist ein pauschaler Zuschlagsfaktor von 1,15 für Hochwasserabflüsse der Jährlichkeiten bis zum HQ₁₀₀ eingeführt worden, der, wenn dies als sinnvoll erachtet wird, regional modifiziert werden kann. Diese Vorgehensweise wurde für staatliche Hochwasserschutzplanungen per Ministerialschreiben eingeführt und eine vergleichbare Vorgehensweise wurde den Trägern nichtstaatlicher Vorhaben empfohlen (Hennegriff et al. 2006).

Box 3: Berücksichtigung des Klimawandels im Hochwasserschutz in BY und BW²⁹

Die Länder Bayern und Baden-Württemberg haben zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst angesichts einer drohenden Zunahme von Hochwassern 1999 das Kooperationsvorhaben KLIWA („Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“) gestartet. Ziel war es, die voraussichtlichen Folgen des Klimawandels für den Wasserhaushalt in diesen beiden Bundesländern abzuschätzen und daraus Handlungskonsequenzen für eine vorausschauende und nachhaltige Wasserwirtschaftspolitik abzuleiten.

Auf Grundlage der Analyse vorhandener Messreihen wurden für Bayern und Baden-Württemberg das Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse, der mittleren Abflüsse, der Gebiets- und Starkniederschläge, der Lufttemperatur, der Verdunstung sowie der Schneedeckendauer für das letzte Jahrhundert ermittelt.

Für die Klimamodellierungen bis 2050 wurden mit einem statistischen Downscaling-Verfahren mittels Clusteranalyse (*PIK*) einem statistisch-dynamischen Downscaling mittels Wetterlagenklassifikation (*Meteo-Research*) sowie dem dynamischen regionalen Klimamodell REMO (*MPIfM*) drei unterschiedliche Verfahren verwendet. Die Daten wurden als Eingangsgrößen für die Wasserhaushaltsmodelle (WHM) verwendet.

Festgestellt wurden der Anstieg von Lufttemperatur und Niederschlägen sowie das Auftreten zunehmend milderer und schneeärmerer Winter, mit Folgen für den gesamten Wasserhaushalt. Für Bayern und Baden-Württemberg wurden ein Anstieg des Hochwasserrisikos im Winterhalbjahr sowie die Zunahme von Dauer und Häufigkeit des

²⁹ Vgl. Hennegriff et al. (2006).

Auftretens regenreicher Westwetterlagen prognostiziert.

Ziel von KLIWA war es, aus diesen Ergebnissen eine angemessene Anpassungsstrategie zu entwickeln, die in Form einer flexiblen und „No-regret“-Strategie den prognostizierten Entwicklungen, aber auch den bestehenden Unsicherheiten Rechnung trägt.

Ausgegangen wurde von der Annahme, dass sich die Kosten für technische Hochwasserschutzmaßnahmen zumeist nur im geringen Maße erhöhen, wenn der Klimawandel bereits bei deren Planung und Bau berücksichtigt werde, wohingegen für nachträgliche Anpassungen mit wesentlich höheren Kosten zu rechnen sei. Als Konsequenz hieraus führten die beiden Länder den „Lastfall Klimaänderung“ ein. Dabei wurde entschieden, ob eine Anpassung an künftige Klimaänderungen bereits jetzt oder ggf. später durch entsprechendes Nachrüsten berücksichtigt werden solle.

Technisch wurde dies über den Aufschlag eines sogenannten „Klimaänderungsfaktors“ auf den aktuell gültigen Wert der Bemessungsabflüsse realisiert. Zur Bestimmung dieses Faktors wurden die in der Wasserhaushaltsmodellierung ermittelten Ergebnisse zur Höhe der Abflüsse extremwertstatistisch ausgewertet und mit denen des Ist-Zustands verglichen. In Baden-Württemberg wurden in Abhängigkeit von der Jährlichkeit regional unterschiedliche Klimaänderungsfaktoren bestimmt; Bayern hat einen pauschalen Faktor bis zur Jährlichkeit 100 eingeführt.³⁰

Wie der „Lastfall Klimaänderung“ bei der Planung von Maßnahmen berücksichtigt werden kann, zeigt bspw. der Bau eines Hochwasserdamms. Hier können zu den üblichen Vorgaben zusätzliche Vorkehrungen getroffen werden, wie die Freihaltung eines Geländestreifens neben dem Damm, um eine ggf. später notwendige Erhöhung zu erleichtern. Ein anderes Beispiel sind Bauobjekte wie Brücken, die nachträglich nur schwer angepasst werden können; diese wären schon beim Bau auf erhöhte Wasserstände auszulegen.

Extremereignisse wie das Frühjahrhochwasser im April 1994 oder das Sommerhochwasser im August 2002 werden in der öffentlichen Debatte oft als Vorboten des Klimawandels bezeichnet. Diese Einschätzung wird durch den LHW mit Verweis auf die Entwicklung der Hochwasserscheitelabflüsse der Elbe im Laufe der letzten 300 Jahre und die besondere Bedeutung der Vb-Wetterlage für die Entstehung des Auguthochwassers 2002³¹ relativiert. Die Auswirkungen des Klimawandels auf Vb- oder Vb-ähnliche Wetterlagen sind derzeit noch nicht eindeutig. Es wird jedoch vermutet, dass einerseits die Häufigkeit deren

³⁰ Für die Abflüsse beim „Lastfall Klimaänderung“ ($HQ_{Tn, K}$) können die aus der Hochwasserregionalisierung oder hydrologischen Modellberechnung vorliegenden Abflüsse HQ_{Tn} direkt mit dem Klimaänderungsfaktor $f_{T,K}$ erhöht werden: $HQ_{Tn,K} = f_{T,K} \times HQ_{Tn}$

³¹ Vgl. DWD (2002).

Auftretens zurückgeht, dies jedoch andererseits mit einer Intensivierung der Niederschläge bei diesen Wetterlagen einhergehen wird (Formayer, Kromp-Kolb 2009:6f.).

Für Sachsen-Anhalt ist auf Grundlage der vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) in Abstimmung mit dem Landesamt für Umweltschutz und dem Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt erstellten Vulnerabilitätsstudie (Kropp et al. 2009) mit einer zunehmenden Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter zu rechnen. Die früher einsetzende Schneeschmelze wird die Hochwassergefahr zu Jahresbeginn zusätzlich verstärken. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten kleiner und mittlerer Hochwasser wird besonders im Winter zunehmen. Zur der Entwicklung von Hochwasserextremen konnten im Rahmen der Studie keine belastbaren Aussagen getroffen werden. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die derzeit für Sachsen-Anhalt vorliegenden Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Hochwassergefahrenlage eher allgemeine Tendenzaussagen treffen. Diese sind hinsichtlich der Entwicklung des Wasserhaushalts je nach verwendetem regionalen Klimamodell z.T. widersprüchlich (Kropp et al. 2009:90f).

Vor dem Hintergrund der aktuellen Datenlage zur Entwicklung der Hochwassergefahrenlage wird in der im Dezember 2010 veröffentlichten Hochwasserschutzkonzeption des Landes Sachsen-Anhalt bis 2020 (HWSK 2020) erklärt, dass es – anders als in Bayern oder Baden-Württemberg – in Sachsen-Anhalt derzeit nicht begründbar sei, Klimazuschläge bei der Ermittlung hydrologischer und wasserbaulicher Bemessungsgrundlagen zu berücksichtigen.

Diese Erklärung muss im allgemeinen Kontext der deutschen Elbanliegerländer betrachtet werden. Diese haben u.a. auf der 3. Elbe-Ministerkonferenz am 10.11.2006 beschlossen, dass die Einführung von möglichen Klimazuschlägen zu prüfen sei. Konkrete Abschätzungen des zukünftigen Hochwasserrisikos seien unter Verwendung der aktuellen regionalen Klimamodelle bislang noch nicht möglich. Diese Aussage gilt nicht nur für Sachsen-Anhalt, sondern auch für die übrigen deutschen Elbanliegerländer.

Gleichwohl weisen die bereits erarbeiteten Hochwasserschutzpläne zusätzlich zum jeweils festgelegten Bemessungshochwasser HQ_{100} auch die Schadenspotenziale bei einem denkbaren Extremereignis aus. Der LHW geht davon aus, dass die Hauptdeiche an den großen Gewässern in Sachsen-Anhalt unter Ausnutzung der vorhandenen Freiborde selbst Durchflussmengen von HQ_{200} standhalten, wenn auch nicht mit einer Wahrscheinlichkeit von 100%. Deichneubauten und -umbauten werden entsprechend der geltenden technischen Normen (DIN 19712) erstellt.³²

Der LHW sieht den Zeitraum beobachtbarer Klimaveränderungen als noch zu kurz an, um bereits konkrete Konsequenzen für das Hochwassermanagement ableiten zu können. Durch die sehr langen Beobachtungsreihen an den wichtigsten Pegeln seien die Entwicklungen der

³² Der Freibord beträgt in der Regel einen Meter.

letzten Jahrzehnte bereits in den statistischen Werten enthalten. Die aktuellen Analysen zur zukünftigen Entwicklung der Hochwasserscheitelabflüsse würden darüber hinaus nicht auf eine Verschärfung der Hochwassergefahrenlage hinweisen.³³

Die in der HWSK 2020 vorgenommene Rückschau sowie der Ausblick auf die noch anstehenden Maßnahmen zur Hochwassergefahrenabwehr zeigen, dass einige der in der LAS empfohlenen Anpassungsaktivitäten – wie Deichrückverlegungen,³⁴ Polder oder die Einrichtung weiterer Rückhaltebecken³⁵ in den Hochwasserentstehungsgebieten – auch ohne eine explizite Bezugnahme auf den Klimawandel bzw. mit ausdrücklichen Verweis auf dessen Nicht-Einfluss auf diese Projektierungen durchgeführt werden.³⁶

Nach Auskunft des LHW werden Deichschutzstreifen sukzessive aufgekauft, um die Deiche zur Kontrolle und Unterhaltung besser zu erreichen. Darüber hinaus werden kontinuierlich hydraulische Modellierungen durchgeführt und dazu im Vorfeld die hydrologischen Ausgangswerte geprüft. Die hydraulischen Modellierungen erfolgen in der Regel für Abflüsse mit geringer, hoher und extremer Eintrittswahrscheinlichkeit. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels in Form von Erhöhungen der Abflüsse würden somit auch in den auf diesen Berechnungen basierenden Hochwassergefahrenkarten als Extremdarstellung mit berücksichtigt. Auf Basis dieser ständigen Beobachtungen ist bei Bedarf eine Aktualisierung oder Korrektur der Hochwasserschutzstrategie möglich.

Trotz der Umsetzung der in der LAS empfohlenen Maßnahmen fiel deren Klassifizierung als Klimaanpassungsmaßnahmen gegenwärtig schwer. Der Grund hierfür ist, dass bspw. bei der exemplarisch analysierten Deichrückverlegung in Dessau-Roßlau der Klimawandel in der Planungsphase keine explizite Rolle spielte. Vielmehr entschied man sich neben Gründen des Naturschutzes, aus Kostengründen gegen eine Sanierung des Altdeichs und für eine Rückverlegung der Deichanlage. Ein auf die Herausforderungen des Klimawandels zurückzuführendes höheres Schutzniveau wurde durch diese Maßnahme nicht erreicht und war auch aus den eingangs bereits erwähnten Gründen nicht beabsichtigt.

Auch Überarbeitungen ursprünglicher Planungen im Verlauf anderer Deichrückverlegungsprojekte, wie z.B. in Sandau-Nord, waren keine Reaktionen auf die Auswirkungen des Klimawandels. In diesem konkreten Fall hatten sich die Umweltminister auf neue Bemessungsabflüsse und daraus resultierend, auch neue Bemessungswasserstände für die Elbe geeinigt. Grundlage dieser neuen Abflüsse waren

³³ Für die Situation an der Elbe vgl. Box 1.

³⁴ Vgl. MLU (2010a:74ff).

³⁵ Vgl. aktuelle Vorhaben in Meisdorf, Querfurt, Wippra und Strassberg.

³⁶ Selbst ohne eine explizite Thematisierung des Klimawandels unterstützen diese Maßnahmen bereits heute die Bewältigung dessen möglicher nachteiliger Auswirkungen.

neue statistische Pegelauswertungen im Nachgang der Auguthochwasser der Elbe im Jahre 2002.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Bereich des Hochwasserschutzes in Sachsen-Anhalt Anpassungsmaßnahmen nur dann als sinnvoll und ökonomisch vertretbar eingeschätzt werden, wenn sich Art und Ausmaß der notwendigen Anpassungen standortspezifisch belastbar definieren lassen. Sobald entsprechende Modellierungsergebnisse vorliegen, werden diese bei der Planung und Umsetzung der Hochwasserschutzmaßnahmen unmittelbar berücksichtigt.

4.3.3 Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich Hochwasserschutz in Sachsen-Anhalt

Ausgehend von der Ermittlung der mit der Deichrückverlegung in Dessau-Roßlau verbundenen Kosten sollte eine Extrapolation des klimawandelbedingten Teils (höheres Schutzniveau) der zusätzlichen Aufwendungen für derartige Maßnahmen für Sachsen-Anhalt abgeschätzt werden. Hierfür war angedacht, in Abstimmung mit dem LHW eine Aufstellung der aktuell geplanten oder bereits in Umsetzung befindlichen vergleichbaren Projekte zu erstellen, die als Basis für die Extrapolation dienen sollte. Die sehr projektspezifischen Aufwendungen der Deichrückverlegung im Roßlauer Oberluch sollten in Absprache mit einem seit vielen Jahren mit derartigen Projekten betrauten Mitarbeiter des LHW verallgemeinert werden.

Die Konsultationen ergaben, dass kein direkter Begründungszusammenhang zwischen der Planung und Umsetzung der Deichrückverlegung im Roßlauer Oberluch und möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Hochwassergefahrenlage besteht. Eine Kostenübersicht der Deichrückverlegung liegt aufgeschlüsselt nach dem Zeitpunkt der jeweiligen Ausgabe für die Blöcke Bau- und Planungskosten vor. Eine Präzisierung einzelner Kostenpositionen innerhalb dieser Blöcke ist möglich. Diese scheint jedoch auf Grund des fehlenden Begründungszusammenhangs zwischen den Auswirkungen des Klimawandels und der Deichrückverlegung für eine Abschätzung der Anpassungskosten für den Bereich des Hochwasserschutzes in Sachsen-Anhalt nicht zielführend.

Das ursprünglich geplante Vorgehen der Kostenabschätzung ist vor diesem Hintergrund nicht begründbar. Auch eine Abschätzung klimawandelbedingter Zusatzkosten in Anlehnung an das Vorgehen in Bayern oder Baden-Württemberg durch überschlägige Zuschlagsrechnungen ließe sich unter den erörterten Umständen nicht rechtfertigen.

4.4 Anpassungskosten im Bereich Trink- und Brauchwasserversorgung

4.4.1 Trink- und Brauchwasserversorgung und Klimawandel

Die Trink- und Brauchwasserversorgung ist im besonderen Maße abhängig von der Verfügbarkeit und der Qualität von Süßwasser. Den Großteil der weltweiten Süßwasserreserven bilden tiefes Grundwasser und in Gletschern und als Eis gebundenes Wasser. Dieses Wasser ist der Nutzung durch den Menschen weitgehend entzogen. Für die Wasserversorgung spielen daher die neugebildeten Grundwasserreserven sowie das Oberflächenwasser in Seen und Flüssen, das jedoch nur einen sehr kleinen Anteil (0,35%) an den weltweiten Süßwasserreserven stellt, eine zentrale Rolle. Das neugebildete Grundwasser stellt mit ca. 90% des leicht verfügbaren Süßwassers das für die Trink- und Brauchwasserversorgung bedeutendste Reservoir dar. Das durch Versickerung von Niederschlägen oder Oberflächenwasser gereinigte neugebildete Grundwasser ist zudem häufig auch von höherer Qualität (Lózan et al. 2005:11f.; Kohfahl, Massmann, Pekdeger 2005:71).³⁷

Die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen der Lufttemperatur und der Niederschlagsverhältnisse wirken sich in vielerlei Hinsicht auf den Wasserkreislauf aus. Die Rückkopplungen zwischen Klima und Wasser sind durch dessen besondere Rolle innerhalb des Klimasystems sehr komplex. Die Rolle des Wasserdampfes als natürliches Treibhausgas ist nur ein Beispiel für diese wechselseitige Beeinflussung. Der Klimawandel führt durch die Änderung der Niederschlags- und Verdunstungsraten sowie der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Niederschläge zu einer Intensivierung des Wasserkreislaufs. Der Kreislauf aus Verdunstung über Meeren und Landmasse, Wolkenbildung und Niederschlägen beschleunigt sich also.

Die Wasserverfügbarkeit wird angebotsseitig von der Entwicklung des Dargebots bestimmt. Dieses hängt wiederum von der Niederschlagsentwicklung und dem temperaturabhängigen Verdunstungsgrad ab. Nachfrageseitig wird die Wasserverfügbarkeit von der demographischen und allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung sowie der Veränderung des Konsumverhaltens bestimmt. Der Klimawandel wirkt sich, wenn auch in unterschiedlichem Maße, sowohl auf die angebots- als auch auf die nachfrageseitigen Determinanten der Wasserverfügbarkeit aus.

Die veränderte räumliche und zeitliche Niederschlagsverteilung führt zu stärkeren Nachfrageschwankungen. Auch wenn die durchschnittliche Abgabemenge bspw. bedingt durch sozioökonomische Entwicklungen zurückgeht, so führen die für das Sommerhalbjahr in gemäßigten Breiten prognostizierten zeitlich ausgedehnteren sowie häufiger auftretenden

³⁷ Dies kommt bspw. in Rechtsnormen wie "Leitsätze für die zentrale Trinkwasserversorgung" (DIN 2000) zum Ausdruck, die die Nutzung von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung favorisieren.

Trockenperioden temporär zu einem substantiellen Anstieg der Nachfragemengen. Dies gilt, wenn auch nicht im selben Ausmaß, für die Nachfrage sowohl von Privathaushalten, der Industrie sowie der Landwirtschaft. Für die Landwirtschaft wird trotz der bestehenden Anpassungsmöglichkeiten – etwa durch Nutzung von an die veränderten klimatischen Bedingungen besser angepassten Kulturen – nicht nur mit einer Intensivierung der Beregnung, sondern auch mit deren Ausweitung auf bislang noch nicht beregnete Flächen gerechnet.³⁸

Die häufig diskutierte Zunahme des extremen Wasserstress³⁹ wird v.a. für Länder und Regionen erwartet, die durch hohes demographisches und/oder ökonomisches Wachstum bei gleichzeitig hohen Verdunstungs- und geringen Niederschlagsraten gekennzeichnet sind. Diese beiden Randbedingungen verweisen auf die überwiegend angebotsseitigen Auswirkungen des Klimawandels hinsichtlich Wasserverfügbarkeit und -qualität.

Auch wenn die Grundwasserneubildung räumlich sehr heterogen ist, kann man davon ausgehen, dass in gemäßigten Breiten ca. ein Viertel der Niederschlagsmengen in die Grundwasserneubildung eingehen.⁴⁰ Trotz des Umstands, dass diese aufgrund der höheren Verdunstungsraten im Sommer v.a. im Winterhalbjahr stattfindet, wirken sich der Rückgang der Sommerniederschläge sowie die Zunahme der Verdunstung während der Trockenperioden negativ auf die Grundwasserverfügbarkeit aus.⁴¹

Der Klimawandel hat jedoch nicht nur Einfluss auf die mengenmäßige Entwicklung des Dargebots, sondern auch auf die Wasserqualität. Dies gilt im besonderen Maße für die Wassergewinnung aus Oberflächengewässern. Für diese ist mit einer Zunahme der Schadstoffkonzentrationen durch zusätzliche Einträge aus der Luft in längeren eisfreien Perioden sowie durch das v.a. in Trockenperioden insgesamt geringere Wasservolumen zu rechnen (Deutsche Bundesregierung 2008:21). Auch in den Grundwasservorkommen kann es jedoch beim Rückgang der Grundwasserneubildung zu Änderungen der Stoffkonzentrationen kommen (Landesregierung Sachsen-Anhalt 2010:31).

Auf Grund der Veränderung der atmosphärischen Prozesse wird eine Zunahme von extremen Witterungsereignissen erwartet. Diese können Erosionsprozesse und Stoffeinträge in den Wasserkreislauf bspw. von landwirtschaftlich genutzten Flächen oder bei der

³⁸ Es gibt eine Vielzahl von Bemühungen, diese Intensivierung und Ausweitung der Bewässerung möglichst effizient zu gestalten. Hierbei werden sowohl organisatorische Innovationen wie z.B. die Gründung von Beregnungsverbänden als auch technisch-prozessuale Neuerungen wie bspw. verschiedene Formen der Tröpfchenbewässerung vorangetrieben.

³⁹ Von extremem Wasserstress spricht man, wenn die Wasserentnahme 40% der vorhandenen Ressourcen übersteigt.

⁴⁰ In wärmeren Regionen ist durch den höheren Verdunstungsgrad der Beitrag zur Grundwasserneubildung geringer. Für Angaben zu ausgewählten deutschen Locker- und Festgesteingeieten vgl. Hölting (1996:73, Tabelle 3).

⁴¹ Es gilt zu beachten, dass die Entwicklung des verfügbaren Grundwasserdargebots nicht nur von der Grundwasserneubildung sondern auch von der Speicherfähigkeit des Bodens abhängt.

Überspülung von Kläranlagen in Gewässernähe verstärken. Die für die Trockenperioden erwartete zunehmende Austrocknung von Feuchtgebieten und Mooren wirkt sich negativ auf die Pufferung von Starkniederschlägen aus (Deutsche Bundesregierung 2008:21).

Der zunehmende Anstieg der durchschnittlichen Lufttemperatur wird zu einer Erwärmung der Oberflächengewässer und somit zu einer Abnahme des Sauerstoffanteils im Wasser führen. Verstärkt wird dieser Prozess durch den zunehmenden Sauerstoffverbrauch der im Wasser lebenden Organismen bei höheren Temperaturen. So können Qualitätsbeeinträchtigungen durch verstärktes Algenwachstum oder Keimbildung erwartet werden.⁴² Die Temperaturerhöhung v.a. der oberen Wasserschichten wird zu einer noch stabileren Schichtung des Wassers und somit zu einem geringeren Austausch zwischen den einzelnen Schichten der Wassersäule führen. Im Besonderen werden diese Prozesse in großen Speichersystemen wie Talsperren zu beobachten sein.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich der Klimawandel auf die Wasserqualität auswirken wird. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dieser Einfluss geringer sein wird als der von klimawandelunabhängigen menschlichen Aktivitäten.

Die bislang sehr allgemein diskutierten möglichen Folgen des Klimawandels auf die Entwicklung von Wasserdargebot und -qualität sowie der Nachfrage von Trink- und Brauchwasser kommen auf Grund der in diesem Bereich sehr regionalspezifischen Auswirkungen des Klimawandels auf den verschiedenen räumlichen Ebenen sehr unterschiedlich zum Tragen. Auf Grund der für Deutschland vorliegenden Simulationen kann im Sommerhalbjahr durch vermehrte und längere Trockenzeiten ein verstärktes Absinken des Grundwasserspiegels und eine Zunahme von Niedrigwassersituationen in Oberflächengewässern erwartet werden. Insgesamt werden jedoch durch den Umstand, dass nur etwa ein Viertel des Trinkwassers aus Uferfiltrat oder Oberflächengewässern gewonnen wird, keine grundsätzlichen Probleme vorhergesehen (Deutsche Bundesregierung 2008:21). Das bedeutet jedoch nicht, dass es in einzelnen Regionen nicht temporär zu Engpässen in der Gewinnung und Versorgung kommen kann. Eine Analyse der Entwicklungen auf regionaler Ebene ist daher für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit unerlässlich.

Die wichtigste Quelle für erneuerbares Süßwasser stellen Niederschläge dar. Unter Nutzung der verfügbaren regionalen Klimamodelle wird versucht, die zukünftige regionale Verteilung der für den Menschen nutzbaren terrestrischen Wasserressourcen abzuschätzen. Hierbei werden die Simulationen globaler Klimamodelle, die eine vergleichsweise geringe räumliche

⁴² Der im Sommerhalbjahr vor dem Hintergrund abnehmender Niederschläge weniger dynamische Nährstofftransport kann zu Nitratmangel in den Gewässern führen, was wiederum ein verstärktes Blaualgenwachstum begünstigt, da Blaualgen atmosphärischen Stickstoff verwerten können (Lózan et al. 2005:16).

Auflösung haben und wichtige Einflussfaktoren der Klimaentwicklung auf regionaler Ebene nicht berücksichtigen können, mittels statistischer oder physikalisch-dynamischer Verfahren regionalisiert. Durch die Einbettung eines regionalen Klimamodells in ein antreibendes Globalmodell sind durch die räumliche Beschränkung höhere Modellauflösungen realisierbar. Für eine Abschätzung des Einflusses der atmosphärischen Veränderungen auf den Wasserhaushalt spezifischer Einzugsgebiete werden unter Nutzung der ermittelten meteorologischen Felder regionale Wasserhaushaltsmodelle angetrieben. Dieses Vorgehen ermöglicht die Abschätzung der Veränderung verschiedener für das Dargebot relevanter Faktoren wie Abflusskomponenten, Verdunstung, Bodenfeuchte oder Grundwasserneubildung (Kunstmann 2007:69).

Auch wenn die regionalen Klimamodelle in den letzten Jahren kontinuierlich weiterentwickelt wurden, so stellen deren derzeitiger Entwicklungsgrad und die daraus resultierenden z.T. widersprüchlichen Ergebnisse aus Perspektive der Stakeholder einen wesentlichen Kritikpunkt dar. Diese müssen auf Grund der Langfristigkeit der zu treffenden Investitionsentscheidungen die Auswirkungen des Klimawandels schon heute in ihren Planungen berücksichtigen. An dieser Stelle besteht angesichts der zentralen Bedeutung der Abschätzung der zukünftigen räumlichen und zeitlichen Verteilung der Wasserverfügbarkeit weiterhin dringender Forschungsbedarf (vgl. WBGU 1997).

4.4.2 Trink- und Brauchwasserversorgung und Anpassung an den Klimawandel

Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels geschieht in keinem Bereich ohne Berücksichtigung weiterer, klimaunabhängiger sektoraler Entwicklungen. Das gilt auch für die öffentliche Wasserversorgung. Die Versorger stehen in zahlreichen Regionen Deutschlands vor der Herausforderung, bei der Anpassung der Versorgungssysteme zwei gegensätzliche Entwicklungen zu berücksichtigen. Einer durch den stetigen Rückgang der mittleren Abgabemengen gebotenen Re-Dimensionierung steht eine durch den Klimawandel bedingte Zunahme des Spitzenbedarfs während der prognostizierten Trockenperioden entgegen. Eine wesentliche Anpassungsmaßnahme besteht demnach in der Unterlassung eines Teils der vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung und dem veränderten Verbrauchsverhalten betriebswirtschaftlich mittel- bis langfristig sinnvollen Re-Dimensionierung, um die in Zukunft häufiger auftretenden und länger andauernden Nachfragespitzen bedienen zu können.

Die Nutzung einer unter Berücksichtigung der Entwicklung der mittleren Abgabemengen überdimensionierten Versorgungsinfrastruktur macht die Durchführung betrieblicher und/oder technischer Maßnahmen notwendig, um die Einhaltung der hohen Qualitätsstandards sicherstellen zu können. Beispiele hierfür wären zusätzliche Monitoring-Maßnahmen, hydraulische Veränderungen in den Versorgungsnetzen oder zusätzliche Leitungsspülungen.

Ein ausreichend dimensioniertes Leitungsnetz ist eine notwendige, jedoch noch keine hinreichende Voraussetzung zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit. Die Vorhaltung einer ausreichenden Wassermenge ließe sich durch die Optimierung von Speicherkapazitäten hinsichtlich Lage und Größe im Versorgungsgebiet der jeweiligen Wasserversorgungsunternehmen oder die Erweiterung der vorhandenen Talsperrenkapazitäten erleichtern.

Die Wasserversorgung ist auf Grund des Strombedarfs der Pumpanlagen im besonderen Maße abhängig von der Energieversorgung. Vor dem Hintergrund einer möglichen Zunahme extremer Wetterereignisse, die einen nicht zu unterschätzenden negativen Einfluss auf die Sicherheit der Energieversorgung haben, scheint der Neubau bzw. die Erneuerung oder der Ausbau vorhandener Netzersatzanlagen angeraten.

Eine informierte Entscheidung hinsichtlich der Art und des Ausmaßes durchzuführender Anpassungsmaßnahmen kann nur auf Grund von Prognosen der angebotsseitigen und nachfrageseitigen Entwicklungen getroffen werden. Die Beauftragung von auf den Klimawandel bezogenen Nachfrage-⁴³ bzw. Dargebotsanalysen erhöht die Fähigkeit der Wasserversorger, sich aus dem Klimawandel ergebende Chancen zu nutzen bzw. eventuelle Risiken oder Schäden zu minimieren.

Neben den Möglichkeiten der Wasserversorger, sich auf die verändernden klimatischen Bedingungen einzustellen, können auch nachfrageseitig durch Einsparmaßnahmen der Industrie, der Landwirtschaft sowie der privaten Haushalte Anpassungen unternommen werden, die den Anstieg der Abgabemengen während der Trockenperioden begrenzen.

4.4.3 Trink- und Brauchwasserversorgung und Klimawandel in Sachsen-Anhalt

Die Rahmenbedingungen der öffentlichen Wasserversorgung in Sachsen-Anhalt haben sich in den letzten 20 Jahren substantiell verändert. Analysen der Verbrauchsstruktur zeigen, dass bspw. der Anteil der Landwirtschaft, der ehemals mit 14,8% (1990) fast auf dem Niveau der Nachfrage der Industrie lag, auf 3,9% (2008) zurückgegangen ist. Die Stilllegung zahlreicher landwirtschaftlicher Betriebe ist einer der Gründe für diesen Rückgang. Er kann aber auch durch die Umstellung vieler privatisierter oder neu gegründeter Betriebe auf eine eigenständige private Wasserversorgung erklärt werden (LAU 2010:8f). Dieser Trend zur nicht-öffentlichen Selbstversorgung mit Hilfe eigener Brunnen lässt sich darüber hinaus, wenn auch nicht in einem vergleichbaren Umfang, auf Seiten der Privatabnehmer feststellen. Die für diese Entwicklung besonders relevante Abnehmergruppe der Kleingärtner verzichtet den größten Teil des Jahres weitgehend auf die Nutzung der öffentlichen Versorgung, greift

⁴³ Diese Studien müssen nicht zwangsläufig nur darauf abzielen, das Ausmaß des demographiebedingten Nachfragerückgangs abzuschätzen, sondern können auch die Möglichkeiten einer Ausweitung des zu beliefernden Kundenkreises bspw. auf die Landwirtschaft untersuchen.

jedoch während anhaltender Trockenperioden auf diese zurück und verstärkt so in dieser Zeit den Nachfrageanstieg. Derzeit wird keine Umkehr des Trends zur Selbstversorgung erwartet.

Relevanter jedoch als die Veränderung der Verbrauchsstruktur ist für die Wasserversorger der Rückgang der absoluten (durchschnittlichen) Abnahmemengen. Der tatsächliche Trinkwasserverbrauch sank in Sachsen-Anhalt im Zeitraum 1990 - 2008 von 332,2 Mio. m³/a auf 115,18 Mio. m³/a. Die Gründe hierfür waren (1) der Bevölkerungsrückgang um mehr als eine halbe Million Einwohner, (2) der durch die Erhebung kostendeckender Preise stimulierte sparsamere Verbrauch, der auch durch neue technische Lösungen befördert wurde, sowie (3) die Minderung der Rohrleitungsverluste im Zuge der Modernisierung des Leitungsnetzes (LAU 2010:7).

Vor dem Hintergrund des besonderen Einflusses des demographischen Wandels auf diese Entwicklung legen die aktuellen Bevölkerungsprognosen⁴⁴ die Vermutung nahe, dass sich der Handlungsdruck in Hinblick auf die Anpassung der bestehenden Versorgungssysteme in Zukunft noch erhöhen wird. Derzeit kann nicht davon ausgegangen werden, dass der abzusehende Rückgang der Abgabemengen durch den zusätzlichen Bedarf des industriellen oder des landwirtschaftlichen Sektors kompensiert werden kann. Daher werden nicht nur auf Unternehmensebene⁴⁵ sondern auch auf politischer Ebene⁴⁶ sowohl Einzelmaßnahmen als auch strategische Konzepte für das Management der zunehmenden Unterauslastung der bestehenden Versorgungsstrukturen diskutiert. Der Rückgang der Anzahl der Wasserversorgungsanlagen von 699 (1990) auf 160 (2008) ist ein Indiz dafür, dass die notwendigen Anpassungen an diese Entwicklung bereits seit vielen Jahren umgesetzt werden.⁴⁷

Trotz des Umstands, dass die Wasserversorgung in Sachsen-Anhalt aktuell und bis auf absehbare Zeit vorrangig durch diesen Trend geprägt wird, muss ebenso den dargestellten Auswirkungen des Klimawandels auf betrieblicher wie auf politischer Ebene Rechnung getragen werden. Dieser Handlungsbedarf wurde erkannt und u.a. im Rahmen der „Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel“ kommuniziert.

Auf Grundlage der vorliegenden Klimamodellierungen kann für Sachsen-Anhalt je nach Modell und Szenario bis Ende des Jahrhunderts mit einem Anstieg der durchschnittlichen Lufttemperatur von 1,9 °C bis 3 °C gerechnet werden. Sowohl die Anzahl der heißen Tage

⁴⁴ Das Statistische Landesamt geht bis 2025 von einem Rückgang der Bevölkerung um 20% aus. Diese Entwicklung wird sich regional sehr unterschiedlich zeigen. Urbane Zentren wie Magdeburg oder deren direktes Umland wie der Saalekreis werden davon in geringerem Maße betroffen sein als ländliche Regionen wie bspw. das Mansfelder Land.

⁴⁵ Vgl. Michalik, Standfuß (2009) und Prinzler (2010).

⁴⁶ Vgl. Staatskanzlei (2010).

⁴⁷ Im Zuge der Stilllegungen eigener Anlagen durch die lokalen Versorger hat somit die Bedeutung der regionalen Wasserversorgung über die Vorversorger seit Mitte der 1990er Jahre stetig zugenommen.

und Sommertage als auch die Häufigkeit von Hitzewellen werden zunehmen. Der mittlere Jahresniederschlag wird hingegen relativ unverändert bleiben (WETTREG) bzw. leicht zunehmen (REMO). Die jahreszeitliche Modellierung ergibt jedoch für den Sommer über alle Szenarien hinweg einen Rückgang der Niederschläge um 20%. Dies wirkt sich trotz der Niederschlagszunahme im Winterhalbjahr um 10-30% besonders im zentralen und nordöstlichen Teil Sachsen-Anhalts negativ auf die Grundwasserneubildung aus. Für den Harz wird hingegen mit deren Zunahme gerechnet (Landesregierung Sachsen-Anhalt 2010:14-17).

Das Trinkwasseraufkommen wird derzeit zu fast 90% durch Eigenförderung in Sachsen-Anhalt bereitgestellt. Die übrige Menge wird v.a. durch die Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH aus den Wasserwerken Mockritz und Torgau-Ost aus Sachsen bezogen. Etwa zwei Drittel des Trinkwassers werden aus Grundwasser bzw. Quellwasser gewonnen. Das restliche Drittel stammt aus Oberflächengewässern.

Vor dem Hintergrund, dass große Gebiete Sachsen-Anhalts, wie z.B. das Mitteldeutsche Trockengebiet, schon heute zu den trockensten Regionen Deutschlands zählen und die vorliegenden Simulationen für weite Teile des Landes v.a. für die Sommermonate eine Verschärfung der Situation erwarten lassen, scheint das Eintreten einer Vielzahl der zuvor allgemein beschriebenen Auswirkungen des Klimawandels wahrscheinlich.

4.4.4 Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich der Trink- und Brauchwasserversorgung in Sachsen-Anhalt

Ausgangspunkt der Abschätzung möglicher Anpassungskosten an den Klimawandel für den Bereich der Trink- und Brauchwasserversorgung in Sachsen-Anhalt war die Überlegung, aus dem Portfolio der theoretisch denkbaren Anpassungsmaßnahmen diejenigen zu ermitteln, die bis zum Jahr 2050 in Sachsen-Anhalt von Bedeutung sein werden.⁴⁸ Für die Identifizierung dieser Maßnahmen wurden mit der Trinkwasserversorgung Magdeburg GmbH (TWM), der Halleschen Wasser und Stadtwirtschaft GmbH (HWS) und der MIDEWA GmbH die drei wichtigsten regionalen Wasserversorger sowie mit der Fernwasserversorgung Elbaue-Ostharz GmbH der neben der TWM bedeutendste regionale Vorversorger kontaktiert. Darüber hinaus gab der Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt (TSB) Auskunft über die erwarteten Anpassungsnotwendigkeiten.

In einem ersten Schritt musste sich über die für den Wassersektor als relevant erachteten Auswirkungen des Klimawandels verständigt werden.

⁴⁸ Eine auf Grundlage der geführten Interviews erstellte erste Liste möglicher Maßnahmen wurde in Abstimmung mit den jeweiligen Ansprechpartnern schrittweise zusammenge Kürzt.

Es wurde festgehalten, dass der Klimawandel:

- Schwankungen des Nachfrageverhaltens verstärkt;
- die Entwicklung des Wasserdargebots beeinflusst;
- sich auf die Wasserqualität auswirkt;
- eine Zunahme von extremen Wetterereignissen Folgen für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit haben kann.

Die explizite Fokussierung auf die Folgen der klimatischen Veränderungen sollte gewährleisten, dass nicht auch solche Aktivitäten in der Analyse Berücksichtigung finden, die zwar als klimawandelinduziert interpretiert werden könnten, von den Versorgern jedoch ausschließlich (oder prioritär) als Reaktion auf den demographischen Wandel angestoßen wurden. Im Rahmen von Experteninterviews wurden die folgenden Erwartungen an die Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Reaktionen auf diese geäußert:

- Es sei v.a. bei der Wassergewinnung aus Oberflächengewässern mit einer Zunahme des Monitoring-Aufwands für bestimmte Stoffeinträge zu rechnen. Das gelte im besonderen Maße für die DOC-Frachten (gelöster organischer Kohlenstoff). Eine mögliche Ursache für die erwartete Zunahme sei eine natürliche Regeneration von Mooren durch verstärkte Winterniederschläge. Die Erhöhung derartiger Frachten verursache bei den Wasserversorgern zusätzlich zu den Monitoring-Kosten erhöhte Aufbereitungskosten (Filterverschleiß etc.).
- Die starke Durchfeuchtung des Bodens auf Grund von Extremniederschlagsereignissen erhöhe zudem die Gefahr des Eintrags mikrobiologischer, v.a. coliformer Keime in die Wasserbeförderungs- und Wasserspeichersysteme. Hieraus ergeben sich sowohl für das Monitoring dieser Prozesse als auch durch die verkürzte Lebensdauer bzw. den erhöhten Sanierungsaufwand der Speicherbehälter zusätzliche Kosten.
- Starkregenereignisse hätten in der Vergangenheit bereits im Bereich der Trinkwassertalsperren aufgrund von verstärkten Stoffeinträgen nennenswerte Schäden verursacht und Ad-hoc-Anpassungsmaßnahmen notwendig gemacht.
- Durch die veränderten klimatischen Bedingungen sei eine Neugewichtung der verschiedenen Funktionen der Trinkwassertalsperren, d.h. Hochwasserschutz, Niedrigwasserauffüllung, Trinkwasserversorgung, Energieerzeugung, zu erwarten.⁴⁹
- Die Gewährleistung der Versorgungssicherheit mache in einzelnen Fällen die Erneuerung oder Erweiterung von Netzersatzanlagen notwendig, die die Versorger in die Lage versetzen, unwetterbedingte Stromausfälle zu überbrücken.

⁴⁹ Nachfragen beim TSB haben ergeben, dass aktuell und auf absehbare Zeit keine derartige Anpassung des Bewirtschaftungsregimes geplant ist.

- Die Erstellung zusätzlicher Dargebotsprognosen oder anderer klimawandelbezogener Gutachten sei notwendig und werde von einzelnen Wasserversorgern in Auftrag gegeben.
- Trotz der prinzipiell unproblematischen Wasserverfügbarkeit würden durch ein klimawandelbedingtes Absinken des Grundwasserspiegels erhöhte Förderanstrengungen notwendig werden. Das gelte auch für den Fall, dass dieses Absinken nur in den erwarteten Trockenperioden stattfinden sollte.

Weitere Konsultationen, die sich an diese ersten Experteninterviews anschlossen, führten zu einer Konsolidierung der Liste der relevanten Maßnahmen. Diese wurden den vier obigen Auswirkungsfeldern (A-D) zugeordnet. Die Wasserversorger wurden gebeten, für die genannten Maßnahmenbündel Angaben zu den bereits angefallenen bzw. erwarteten Kosten zu machen.

- A) Management des Versorgungssystems zur Gewährleistung der Bedienung von Nachfragespitzen;
- B) Analyse der Entwicklung des Wasserdargebots sowie Intensivierung von Förderanstrengungen bei Rückgang von Dargebotsmengen;
- C) Kontinuierliches Monitoring von Grundwasserständen und Wasserqualität sowie Intensivierung von Aufbereitungsanstrengungen bei Verschlechterung der Dargebotsqualität;
- D) Maßnahmen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit.

Diese Abschätzungen sollten die Grundlage für eine sektorale Extrapolation der Anpassungskosten an den Klimawandel bilden. Auf sie wird im Folgenden näher eingegangen.

A) Management von Nachfrageschwankungen

Die Mehrzahl der befragten Versorger betrachtet ihr bestehendes Versorgungssystem aus Wasserwerken, Verteilungsnetz und Hochbehältern als geeignet, um die in Folge von Extremwetterlagen zu erwartenden Nachfrageschwankungen auszugleichen. Es bestehe diesbezüglich kein zusätzlicher Investitionsbedarf.

Ein Versorger verwies darauf, dass man sich intensiv mit dem Auseinanderdriften von Spitzenverbrauch und mittlerem Verbrauch beschäftige. Dem Klimawandel wurde diesbezüglich ein Anteil von 30-50% an dieser Entwicklung zugeschrieben. Die Produktions-, Transport- und Speicherkapazitäten würden angesichts der konstanten

Spitzenverbrauchswerte aktuell nicht verringert.⁵⁰ Wesentliche Kosten entstehen bei den Versorgern durch die Anlagenvorhaltung. Diese Kosten lassen sich durch die Abschreibungen ausdrücken. Vor dem Hintergrund des Rückgangs der mittleren Abgabemengen wäre eine Verringerung der vorgehaltenen Kapazitäten möglich. Durch das klimawandelbedingte Ausbleiben dieser Anpassung können die so nicht eingesparten Absetzungen für Abnutzungen (AfA)⁵¹ als Anpassungskosten an den Klimawandel interpretiert werden.

Im Falle eines Wasserversorgers ergäbe sich folgende überschlägige Abschätzung dieser nicht eingesparten AfA:

Im Jahr 2009 wurden Abschreibungen von 8,825 Mio. € getätigt. Dieser Betrag wäre, weil nicht alle Anlagen der Wasserverteilung zuzuschreiben sind und auch nicht proportional zum Rückgang des Bedarfes angepasst werden kann, auf 7 Mio. € abzusenken. Geht man davon aus, dass von diesem Betrag demographiebedingt alljährlich 0,7% eingespart werden könnten, so ergäbe sich ein Betrag für die Abschreibungen von 49.000 €. Schriebe man 30-50% dieser ausbleibenden Einsparung dem Klimawandel zu, so ergäbe sich eine jährliche klimawandelbedingte Zusatzbelastung in einer Größenordnung von 15.000-25.000 €. Da jedes Jahr weitere Einsparpotenziale nicht ausgeschöpft werden, würde sich der Mindestbetrag (15.000 €) bei statischer Berechnung⁵² nach 10 Jahren bereits auf 825.000 € summieren.

Da man die wassergebundene Versorgungsinfrastruktur jedoch nicht kontinuierlich und gleichmäßig an den demographischen Wandel anpassen kann, ist eine solche Anpassung des Versorgungssystems, v.a. auf Grund der Langlebigkeit der Technik, nur alle etwa 10 (bis 25) Jahre möglich. Die erste Einsparung wäre somit frühestens in 10 Jahren zu realisieren. Wenn die Auswirkungen des Klimawandels nun eine solche Anpassung verhindern, fallen demnach in 10 Jahren erstmals Kosten von 150.000 € an.

Der konsultierte Versorger geht davon aus, dass die Spannweite der nicht realisierten Einsparungen groß sei. Er erwartet bei einem 10-Jahres-Horizont jährliche Beträge von 15.000 bis höchstens 80.000 €. Da dieser Versorger im Basisjahr 2008 einen Anteil von 16,73% des insgesamt abgegebenen Trinkwassers an Kunden in Sachsen-Anhalt geliefert hat, ist dieser Anteil der nicht realisierten Einsparungen als Anpassungskosten an den

⁵⁰ Aktuell werde demographiebedingt mit einem Abknicken der Spitzenbedarfe in einigen Jahren gerechnet.

⁵¹ Darunter versteht man die steuerrechtlich ermittelte Wertminderung der Anlagevermögen.

⁵² In jedem Jahr erhöht sich die Summe um den im Vorjahr nicht eingesparten Betrag.

Klimawandel in Sachsen-Anhalt zu veranschlagen. Bei diesem Versorger fielen somit vorhaltungsbedingte Anpassungskosten von ca. **2.500 – 13.500 € p.a.** an.⁵³

Erhöhte laufende Aufwendungen, die aus der Nutzung eines wenn auch nur z.T. klimawandelbedingt überdimensionierten Versorgungssystems resultieren, lassen sich nach Aussagen der Versorger hingegen nur schwer belegen und nicht quantifizieren. Ein Grund hierfür sei, dass im Falle einer Überdimensionierung des Systems bspw. durch die aus geringeren Fließwiderständen resultierenden Energieeinsparungen auch Kostensenkungspotenziale bestehen. Es lassen sich diesbezüglich keine nennenswerten Aufwendungen ermitteln.

B) Veränderungen der Dargebotsmengen

Die regionalspezifischen Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung und die Wassermenge in den Oberflächengewässern legen die Beauftragung von Fachanalysen nahe, die die Entwicklung der Dargebote in den konkreten Gewinnungsgebieten abschätzen. Die Beurteilung der Notwendigkeit der Erstellung derartiger Analysen fällt bei Firmen, die ausschließlich im Endkundengeschäft tätig sind, und Unternehmen, die auch oder ausschließlich als Vorversorger agieren, unterschiedlich aus. Die Versorger, die lediglich Endkunden beliefern, vertrauen auf die Einhaltung der bestehenden Versorgungsverträge durch die Vorversorger und planen auch für die absehbare Zukunft nicht, derartige Analysen zu beauftragen.

Im Falle eines der konsultierten Vorversorgers wurden bereits und werden auch in Zukunft solche Dargebotsanalysen sowie weiterführende klimawandelbezogene Untersuchungen in Auftrag gegeben. Die Kosten hierfür bewegten sich in den zurückliegenden Jahren zwischen **60.000 - 100.000 € p.a.**

Ein anderer Vorversorger vergab keinen Auftrag an externe Gutachter, sondern nutzte hausinterne Expertisen⁵⁴, um unter Nutzung hydrogeologischer Modelle die zukünftige Entwicklung des Dargebots unter Berücksichtigung der Infiltration des relevanten Oberflächengewässers in den Grundwasserleiter abzuschätzen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf das verfügbare Dargebot im zweiten Gewinnungsgebiet des Versorgers werden auf Grundlage der vorliegenden Simulationen der relevanten klimatischen Parameter als zu vernachlässigen eingeschätzt.

Insgesamt werden von beiden Vorversorgern keine grundsätzlichen Probleme hinsichtlich der Wasserbilanz erwartet.

⁵³ Eine Extrapolation dieses Wertes auf Landesebene wäre möglich, jedoch weniger sinnvoll als eine Erhebung der nicht eingesparten AfA aller relevanten Wasserversorger im Land Sachsen-Anhalt.

⁵⁴ Die über kalkulatorische Kosten zu ermittelnden Aufwendungen für die Erstellung dieser internen Dienstleistung wurden nicht bereitgestellt.

Ein Vorversorger verwies darauf, dass trotz des erwarteten Ausbleibens von Bilanzproblemen⁵⁵ durch die Intensivierung des Förderaufwands höhere Förderkosten anfallen könnten. Eine Abschätzung dieser Aufwendungen bedürfe neben der Kenntnis der Förderkosten v.a. einer belastbaren Modellierung der Wasserstandsentwicklung an den jeweiligen Fassungen. Die Förderkosten erhöhen sich bei mittlerer Förderkapazität in einem beispielhaft betrachteten Wasserwerk bei einem um 1 cm niedrigeren Wasserstand im infiltrierenden Oberflächengewässer um ca. 60 ct pro Tag.⁵⁶ D.h. bei einem dauerhaft um 1 m niedrigeren Wasserstand würden sich die Förderkosten somit um 60 € täglich bzw. 21.900 € jährlich erhöhen.

Eine Abschätzung der zu erwartenden zusätzlichen Förderkosten bedarf gesicherter Daten zur Entwicklung der Dauerlinien des infiltrierenden Gewässers. Diese liegen aktuell noch nicht vor.⁵⁷

C) Monitoring von Grundwasserständen & Wasserqualität

Im Bereich der Wasserversorgung werden umfangreiche Monitoring-Maßnahmen zur Gewährleistung der Trinkwasserqualität durchgeführt. Die Gewinnungsgebiete werden aus verschiedenen Gründen bereits heute außergewöhnlich intensiv überwacht. Die durchgeführten Maßnahmen sind geeignet, um eventuelle Veränderungen relevanter Parameter, sowohl qualitativer als auch quantitativer Art, zu erfassen. Keiner der konsultierten Versorger plant derzeit eine klimawandelbedingte Ausweitung dieser Aktivitäten gegenüber dem Ist-Zustand.

Die zuvor beschriebenen unterschiedlichen Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Typen von Wasserreserven haben zur Folge, dass diejenigen Versorger, die ausschließlich Grundwasser fördern, aktuell und für die absehbare Zukunft keine unmittelbaren klimawandelbedingten Beeinträchtigungen der Wasserqualität erwarten.

⁵⁵ Die genutzten Brunnen liegen in einer Tiefe von 40-50 m unter dem Grundwasserspiegel, so dass selbst bei langanhaltendem Niedrigwasser eine immer ausreichende Überdeckung für die Förderung gewährleistet ist.

⁵⁶ Der Energiegehalt eines um 1m gehobenen Kubikmeters Wasser beträgt: $E = m \cdot g \cdot h = 10.000 \text{ Ws} = 0,0028 \text{ kWh}$. Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades von Pumpe und System beträgt der Wert 0,004 kWh. Bei 100.000 m³/d mittlerer Förderleistung ergibt dies einen Energiebedarf von 400 kWh. Für die Kostenabschätzung wird von einem Strompreis von 15 ct/kWh ausgegangen.

⁵⁷ Für eines der Standardszenarien (T2-A10) im Projekt GLOWA-Elbe konnten Simulationsergebnisse der Grundwasserneubildung an den beiden relevanten Wasserfassungen für den Zeitpunkt 2010 sowie 2050 ermittelt werden. Die vorliegenden Daten lassen jedoch lediglich Schlüsse auf die (unproblematische) Entwicklung des Dargebots zu. Die zukünftige Entwicklung der Oberflächenwasserverfügbarkeit hängt jedoch nicht nur vom Dargebot, sondern auch von nachfrageseitigen Entwicklungen ab. Dargebot und Nutzung werden in GLOWA-Elbe über ein Wasserbewirtschaftungsmodell für mehrere Szenarien integriert. Für jedes Szenario werden 100 Klimarealisierungen gerechnet, um Unsicherheiten in den Klimamodellen zu berücksichtigen. Diese Ergebnisse konnten durch das Projekt GLOWA-Elbe vor Abschluss dieser Untersuchung nicht bereitgestellt werden.

Einer verstärkten Keimbildung in den Transportsystemen werde in Zukunft durch häufigere Rohrnetzspülungen begegnet werden. Eine Abschätzung von deren Häufigkeit bzw. der mit diesen verbundenen Aufwendungen sei aktuell nicht möglich.

Die Versorger, die in stärkerem Maße Wasser aus Oberflächengewässern gewinnen, gaben an, dass ein Anstieg des DOC-Gehaltes in den Rohwässern in den Messreihen derzeit ableitbar sei. Allerdings vollziehe sich dieser Anstieg bislang auf einem moderaten Niveau, so dass zum jetzigen Zeitpunkt keine aktiven Maßnahmen zur Senkung der DOC-Frachten geplant oder durchgeführt werden. Eine effektive Verringerung der DOC-Frachten im Zuge des Aufbereitungsprozesses sei auch nur bedingt, bspw. über eine stärkere Flockung mit den entsprechenden Nebenwirkungen, möglich. Eine Senkung des DOC-Gehaltes durch Aktivkohle finde praktisch nicht statt. Eine effektive Beeinflussung der DOC-Frachten sei wahrscheinlich eher durch Maßnahmen im Einzugsgebiet der Gewässer möglich. Ergebnisse liegen diesbezüglich in den derzeit bearbeiteten Forschungsvorhaben, wie bspw. TERENO, noch nicht vor.⁵⁸

Es wurde betont, dass die bestehenden Monitoring-Programme einer kontinuierlichen Anpassung an die sich verändernden Randbedingungen unterlägen. Beispielhaft wurde seitens eines Versorgers erwähnt, dass der Untersuchungsaufwand in einem Gewinnungsgebiet in den letzten Jahren in Folge von Beeinträchtigungen der Rohwasserqualität in Folge eines Starkregenereignisses ausgeweitet worden sei. Die Bewältigung der Folgen dieses Ereignisses machte die Zugabe von Flockungsmitteln, wie Aluminiumsulfat, und Flockungshilfsmitteln notwendig. Diese Maßnahmen hatten folgende kostenrelevante Auswirkungen:

- Verkürzung der Filterlaufzeiten;
- Erhöhung des Energieaufwands durch Pumpeneinsatz;
- Erhöhung der Entsorgungsaufwands (Spülwasserentsorgung, Schlammbehandlung);
- Erhöhung des Spülwasserbedarfs.

Der Mehraufwand für die Maßnahmen, die über einen Zeitraum von 11 Monaten durchgeführt wurden, lag bei ca. 975 €/Tag. Die Bewältigung der Folgen dieses Starkregenereignisses verursachte somit Gesamtkosten von über 300.000 €. Werden diese Kosten erneut entsprechend dem Anteil des nach Sachsen-Anhalt gelieferten Trinkwassers

⁵⁸ Die TERENO – Initiative der Helmholtz-Gemeinschaft, dient der Beobachtung und dem Studium des Langzeiteinflusses des globalen Klimawandels, von Landnutzungsänderungen, sozio-ökonomischen Entwicklungen und menschlichen Eingriffen auf die terrestrischen Ökosysteme. Mit Hilfe der Initiative sollen neue Modellkonzepte und Scaling-Methoden für die Evaluierung effektiver Parameter, Flüsse und Zustandsgrößen für unterschiedliche Skalen entstehen. Ziel ist es, eine neue Beobachtungsplattform zu schaffen, die dabei die verschiedensten terrestrischen Observatorien in unterschiedlichen Regionen verbindet.

veranschlagt, so ergibt sich eine einmalige Aufwendung zur Bewältigung dieses klimawandelbezogenen Störereignisses von **55.000 €**.

Zur Vorsorge gegen zukünftige Ereignisse dieser Art wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Investitionen in neue Anlagen (neue Flockungshilfsmittelanlage);
- Investitionen in zusätzliche Überwachungs-, Steuerungs- und Regeleinrichtungen (Multiparametersonde, SAK-Messung im Rohwasser, pH-abhängig Steuerung der Aufbereitung);
- wissenschaftliche Aufarbeitung des Vorfalls und der getroffenen Gegenmaßnahmen.

Eine genaue Zusammenstellung dieser Vorsorgekosten liegt derzeit nicht vor. Die Investitionskosten bewegen sich jedoch in der Größenordnung von ca. 300.000 €. Eine anteilige Veranschlagung dieser Kosten ergibt einmalige Vorsorgeaufwendungen zur zukünftigen Verhinderung vergleichbarer Ereignisse von ca. **50.000 €**.

D) Maßnahmen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit

In der Folge von Starksturmereignissen kam es bereits häufig zur Beeinträchtigung der öffentlichen Energieversorgung. Im Zuge des Klimawandels wird mit einer Zunahme extremer Witterungsereignisse gerechnet. Vor diesem Hintergrund und der besonderen Energieabhängigkeit der öffentlichen Wasserversorgung wird eine Zunahme von auf die Absicherung der Energieversorgung abzielenden Vorsorgemaßnahmen erwartet. Jeder Wasserversorger betreibt für derartige Notfälle Netzersatzanlagen oder vergleichbare Backup-Systeme. Die konsultierten Versorger versicherten, dass derzeit keine zusätzlichen klimawandelbedingten Sanierungen oder Erweiterungen der bestehenden Anlagen geplant seien. Ein Versorger hat Angaben zu den im Laufe der letzten fünf Jahre zur Sicherung der Energieversorgung getätigten Investitionen gemacht. Diese könnten, wenn auch nur zu einem geringen Anteil, der Anpassung an den Klimawandel zugeschrieben werden. Durch den Verweis auf die fehlende Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels im Planungsprozess wird auf eine Ausweisung der mit diesen Maßnahmen verbundenen Kosten verzichtet.

Einen Überblick über die für Sachsen-Anhalt ermittelten Anpassungskosten im Wassersektor gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Übersicht der Anpassungskosten an den Klimawandel im Wassersektor

Bereich	Maßnahme	Kosten	
		einmalig	jährlich
Forschung	Erstellung klimawandelbezogener Gutachten (min.)	k.a.	60.000 €
	Erstellung klimawandelbezogener Gutachten (max.)	k.a.	100.000 €
	Erstellung Dargebotsprognosen (intern)	k.a.	k.a.
Versorgungssicherheit	Vorsorgemaßnahmen zur Sicherung der Energieversorgung	k.a.	k.a.
Wassergewinnung	Erhöhung Förderaufwand	k.a.	k.a.
Management Versorgungssystem	Nicht-Anpassung der Anlagenvorhaltung (min.)*	-	2.500 €
	Nicht-Anpassung der Anlagenvorhaltung (max.)*	-	13.500 €
Wasserqualität	Allgemeines Monitoring	0 €	0 €
	Rohrnetzspülung bei verstärkter Keimbildung	k.a.	k.a.
	Bewältigung Qualitätsbeeinträchtigung durch Starkregenereignis	55.000 €	-
	Vorsorgemaßnahmen zur Verhinderung der Qualitätsbeeinträchtigung durch zukünftige Starkregenereignisse	50.000 €	-
		105.000 €	
Gesamtkosten		min.	62.500 €
		max.	113.500 €

Die Abschätzung der Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich der öffentlichen Trink- und Brauchwasserversorgung wird durch die Tatsache erschwert, dass die Mehrzahl der beobachtbaren Anpassungsmaßnahmen vorrangig durch die (rückläufige) Nachfrageentwicklung induziert ist. Andere Trends wie der Klimawandel scheinen einen geringeren Einfluss auf die operative und strategische Planung der Wasserversorger zu haben. Gründe hierfür könnten zum einen die derzeit noch eher als potenziell denn als real wahrgenommenen Auswirkungen des Klimawandels sein. Zum anderen können aber auch die vorliegenden Simulationsergebnisse eine Rolle spielen, auf deren Grundlage für die absehbare Zukunft eher geringe Auswirkungen zu erwarten sind.

Eine zweite Schwierigkeit ergibt sich daraus, dass die Kostenermittlung für Einzelmaßnahmen bei den verschiedenen Wasserversorgern durchaus möglich ist, in den

seltensten Fällen jedoch für die jeweilige Einzelmaßnahme von mehreren Versorgern Kostenangaben gemacht werden. Eine Extrapolation der ermittelten Ausgaben für den gesamten regionalen Sektor ist dadurch wenig sinnvoll.

Die geleistete Darstellung der durchgeführten bzw. geplanten Maßnahmen und, wo möglich, der damit verbundenen Aufwendungen kann lediglich einen ersten Eindruck von Art und Ausmaß der derzeitigen Anpassungsaktivitäten in diesem Sektor und der Größenordnung der zu erwartenden Ausgaben vermitteln. Neben diesen ersten Abschätzungen kann die Feststellung der Bedeutung des *Typs* des jeweiligen Versorgungsunternehmens für die Auseinandersetzung mit möglichen Anpassungserfordernissen als relevantes Ergebnis der Untersuchung festgehalten werden.

4.5 Anpassungskosten im Bereich Forstwirtschaft

4.5.1 Forstwirtschaft und Klimawandel

Wälder bedecken etwa 30% der Erdoberfläche. Sie liefern dem Menschen nicht nur wichtige Ressourcen und dienen seiner Erholung, sie sind auch ein wesentlicher Faktor im Klimasystem. Der Kohlenstoffaustausch zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre wird wesentlich durch sie bestimmt. Sie beeinflussen durch ihre Bedeutung für das Rückstrahlungsvermögen der Erdoberfläche den Strahlungshaushalt der Erde. Darüber hinaus spielen sie für den Wasserkreislauf – Wasseraufnahme, -speicherung und Verdunstung – eine wichtige Rolle. Diese Beeinflussung von Wald und Klima ist wechselseitig. Das räumliche Auftreten von Wäldern, deren Artenzusammensetzung sowie Wachstumsdynamik wird in hohem Maße von den klimatischen Rahmenbedingungen bestimmt. Dies gilt sowohl für direkte Auswirkungen von Faktoren wie Lufttemperatur, Niederschlägen oder Extremereignissen als auch für die indirekte Einflussnahme dieser Faktoren auf das Vorkommen von Schadorganismen oder Auftreten von Waldbränden.

Wälder reagieren durch die langen Wachstumszeiträume vergleichsweise langsam auf veränderte klimatische Bedingungen. Diese natürlichen Anpassungsprozesse bspw. in Form von Migration sind in den heutigen stark durch anthropogene Eingriffe gekennzeichnete Landschaften jedoch nur begrenzt möglich.

Der Klimawandel wirkt sich nicht nur regional sehr unterschiedlich aus, die einzelnen Baumarten an den jeweiligen Standorten reagieren auch verschiedenartig auf diese Veränderungen. Besonders in Regionen, für die zumindest für bestimmte Perioden ein spürbarer Rückgang der Wasserverfügbarkeit und somit eine Zunahme des Trockenstresses prognostiziert wird, werden sich genügsame Baumarten mit großer Amplitude stärker durchsetzen als anspruchsvollere Sorten. So werden heute noch an Standorten, für die derartige Prognosen vorliegen, anzutreffende Fichten oder Buchen als Verlierer des Klimawandels betrachtet. An Standorten mit schlechter bis mittlerer Wasserversorgung werden hingegen Arten wie Kiefer, Eiche, (Winter-)Linde, Douglasie, Küstentanne, Trauben-, Stiel- und Flaumeiche, Spitz- und Feldahorn, Mehl- und Elsbeere, Feldulme, Esche, Edelkastanie sowie als Pionierbaum die Birke in Zukunft häufiger anzutreffen sein (Brang et al. 2008).

Das sind die wesentlichen mit dem Klimawandel verbundenen und sich auf das Baumwachstum auswirkenden Veränderungen:⁵⁹

- Zunahme des CO₂-Gehalt in der Atmosphäre;
- Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode;
- Veränderungen des Bodenwasserhaushalts;
- Zunahme des Auftretens von extremen Wetterlagen und entsprechenden Witterungsereignissen;
- Zunahme der Waldbrandgefahr;
- Zunahme des Auftretens von Schadorganismen.

Unter der Voraussetzung, dass die für die Photosynthese notwendigen Faktoren Licht, Wasser und Nährstoffe ausreichend verfügbar sind, führt der erhöhte *atmosphärische CO₂-Gehalt* zum sogenannten CO₂-Düngungseffekt. Dieser hat c. p. eine Steigerung des Ertrags in Form eines stärkeren jährlichen Holzzuwachses zur Folge. In der Regel wird davon ausgegangen, dass der CO₂-Düngungseffekt angesichts der oft nur eingeschränkt gegebenen Randbedingungen, also dem Vorliegen zusätzlicher Stressfaktoren, geringer als erwartet ausfällt.

Trotz des Umstands, dass verschiedene Baumarten verschiedene Temperaturansprüche haben, gilt der Zeitraum innerhalb eines Jahres, in dem die mittlere Tagestemperatur über 5°C liegt, als *thermische Vegetationsperiode*. Wenn diese Temperaturgrenze überschritten wird, setzt das Pflanzenwachstum ein. Im Laufe der letzten 5 Jahrzehnten hat sich diese Periode in Deutschland nicht nur um 25 Tage verlängert, sie setzt mittlerweile auch 19 Tage früher als noch zu Beginn der 1960er Jahre ein. Dieser frühere Beginn wirkt sich für die pflanzliche Entwicklung besonders förderlich aus, weil die am Ende der Vegetationsperiode bspw. hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit bestehenden Restriktionen im Frühjahr wesentlich seltener auftreten.⁶⁰ Auf Basis der vorliegenden Klimaprognosen ist mit einer stetigen Verlängerung der Vegetationsperiode zu rechnen.⁶¹ (Chmielewski 2007:79).

Der *Bodenwasserhaushalt* spielt für die Waldentwicklung eine wesentliche Rolle, weil ein sehr enger Zusammenhang zwischen der Biomassebildung von Pflanzen und deren

⁵⁹ Vgl. auch hinsichtlich der folgenden Ausführungen Chmielewski (2007:76-79).

⁶⁰ Die potenziell positiven Auswirkungen der Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode müssen differenziert betrachtet werden. Sie werden bspw. dadurch eingeschränkt, dass Frühjahrsaufforstungen oft von Trockenperioden im Frühjahr und Sommer betroffen sind. Dies führe nach Aussage eines Experten zu erheblichen Schäden, so dass Anpflanzungen z.T. wiederholt werden müssten. Bei großer Hitze stellen Bäume zudem auch während der Vegetationsperiode das Wachstum ein.

⁶¹ Unter den Annahmen des SRES-Szenarios A2 wird für Deutschland bis 2100 eine Verlängerung der Vegetationsperiode um mehr als 2 Monate erwartet (Chmielewski 2007:79).

Wasserverbrauch besteht. Die Verfügbarkeit von Wasser wird dabei nicht nur durch die Menge und zeitliche Verteilung der Niederschläge, sondern auch von der Fähigkeit des Bodens, Wasser zu speichern, bestimmt. Temperaturbedingt erhöhte Verdunstungsraten, eine Zunahme des oberflächlichen Abflusses in Folge von Starkregenereignissen oder jahreszeitliche Verschiebungen der Niederschlagsereignisse können so trotz einer möglichen Zunahme der mittleren Niederschlagsmengen zur Verschärfung von Trockenstresssituationen führen. Wassermangel wiederum hat eine Minderung des Holzzuwachses und damit des Ertrags zur Folge. Trotz des Umstands, dass durch die Intensivierung des Wasserkreislaufs für zahlreiche Gebiete der Einfluss des Klimawandels auf die Jahresmitteltemperatur wesentlich stärker als auf die mittleren Niederschlagsmengen ausfallen wird,⁶² kann unter Beachtung der diskutierten Einflussfaktoren für viele Regionen eine negative Entwicklung des Bodenwasserhaushalts erwartet werden. Die trockenheitsbedingte Zunahme der *Waldbrandgefahr* stellt eine weitere (negative) Auswirkung des Klimawandels auf die Waldbestände dar.

In Folge der Beschleunigung des Wasserkreislaufs wird es, wie unter 4.3.1 dargestellt, zu einer *Zunahme von extremen Witterungsereignissen* wie Stürmen, wie bspw. Vivian (1990), Lothar (1999) oder Kyrill (2007), kommen. Diese Ereignisse schädigen den Wald nicht nur durch die direkten Sturmfolgen, sondern auch indirekt, insofern als sich sturmgeschädigte Bäume nicht wie gesunde Pflanzen durch Harzausscheidungen gegen *Schadorganismen*, wie bspw. den Fichtenborkenkäfer, wehren können. Warme und trockene Sommer ermöglichen die Entwicklung von zwei, in Ausnahmefällen sogar von drei Generationen von Schädlingen, wie dem Buchdrucker. Durch die temperatur- und ggf. sturmschadenbedingt begünstigte Massenvermehrung der Schädlinge werden zunehmend auch gesunde Bäume von diesen befallen. Abwehrmaßnahmen, wie starker Harzfluss, können auch zum Absterben dieser zu Beginn der Einbohrversuche gesunden Bäume führen (Meier et al. 1999:8). Günstige klimatische Rahmenbedingungen befördern nicht nur eine stärkere Ausbreitung der in den Beständen bereits heimischen, sondern auch die (Wieder-) Einwanderung neuer Schädlinge. Eine zusätzliche Schädigung der Bestände wird durch eine Zunahme von Pilzerkrankungen erwartet.

4.5.2 Forstwirtschaft und Anpassung an den Klimawandel

Die Forstwirtschaft wird, wie beschrieben, sehr direkt von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein. Der relativ lange betriebliche Planungshorizont in diesem Bereich führt im Vergleich zu anderen Sektoren zu einem ungleich höheren Handlungsdruck. Als allgemeine Handlungsleitlinie wird die Risikominimierung durch Baumarten- und Strukturvielfalt empfohlen. Dabei sollte weniger relevant sein, ob eine Baumart

⁶² Für zahlreiche Regionen werden konstante oder steigende mittlere Jahresniederschläge erwartet.

standortheimisch oder einheimisch ist, sondern deren Standortgerechtigkeit⁶³ im Vordergrund stehen. Trotz der Feststellung, dass viele Maßnahmen angesichts der noch bestehenden Unsicherheiten nicht dringlich und große Veränderungen der waldbaulichen Praxis nicht geboten seien (Brang et al. 2008), wird für den Bereich der Forstwirtschaft ein großes Spektrum möglicher Anpassungsmaßnahmen diskutiert. Am häufigsten werden genannt:

- Waldumbaumaßnahmen in Richtung standortangepasster Mischbestände;
- Nutzung besonders gut angepasster einheimischer, aber auch nicht-einheimischer Baumarten;
- Maßnahmen zur Verjüngung bzw. zur Verringerung der Überalterung der Wälder;
- gesteigerte Vorsorge gegen Waldbrände;
- Anpassung der Wasserbewirtschaftungskonzepte;
- Maßnahmen zur Reduzierung der Stoffeinträge und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit;
- Stärkung der Monitoring-Aktivitäten;
- Schulungen des Personals zum besseren Erkennen, Vorbeugen, Abwehren von Risiken und Bewältigen von Schäden;
- Einlagerung vermehrt anfallenden Bruchholzes in Nasslagern (Folieneinschlag, Gegenmittel gegen Pilzbefall), um Überangebotsphasen zu überbrücken;
- Stärkung klimawandelbezogener Forschung.

Für den forstwirtschaftlichen Sektor muss im besonderen Maße darauf hingewiesen werden, dass sowohl Anpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden müssen, die auf eine Abwehr bzw. Vermeidung klimabedingter Risiken oder Schäden abzielen, als auch solche Maßnahmen, die eine Nutzung der Chancen des Klimawandels in Form des CO₂-Düngungseffekts sowie der verlängerten Vegetationsperiode begünstigen.

4.5.3 Forstwirtschaft und Klimawandel in Sachsen-Anhalt

Etwa ein Viertel der Fläche Sachsen-Anhalts ist mit Wald bedeckt. Der forstwirtschaftliche Sektor trägt mit einer Bruttowertschöpfung von ca. 684 Mio. € einen Anteil von 1,6% zur gesamtwirtschaftlichen Leistung des Bundeslandes bei.⁶⁴ Über die wirtschaftliche Nutzung hinaus erfüllt der Wald jedoch auch wichtige Schutz- und Erholungsfunktionen. Nach

⁶³ Vereinzelt wird bemängelt, dass durch die Betonung der Bedeutung des Kriteriums der Standortgerechtigkeit v.a. auf abiotischen Standortfaktoren, wie Temperatur, Niederschläge, Nährstoffverfügbarkeit, etc., abgestellt wird und biotischen Umweltfaktoren, wie Verträglichkeit mit anderen Arten im jeweiligen Ökosystem oder auch Anfälligkeit gegen Schadorganismen, nicht im ausreichenden Maße berücksichtigt werden. Daher soll explizit betont werden, dass auch biotische Einflussfaktoren bei der Abwägung möglicher Anpassungsoptionen Berücksichtigung finden sollten.

⁶⁴ Rüther et al. (2008:19).

Eigentumsarten gliedert sich die Waldflächenanteile in Privatwald 41%, Landeswald 27%, Treuhand-Wald 15%, Bundeswald 10% und Körperschaftswald 7%.⁶⁵ Die Baumarten verteilen sich auf Landesebene wie folgt: Kiefer 45,6%, Fichte 17%, Eiche 11,0%, Buche 8,5%, Laubhölzer mit niedriger Lebensdauer 8,9%, Laubhölzer mit hoher Lebensdauer 6,7%, Lärche 2,1% und Douglasie 0,3%.

Besonders die wenig hitze- und trockenheitstolerante Fichte wird v.a. auf unangepassten Standorten im Tiefland von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein. Ähnliches wird aber auch für die Lärche und in eingeschränkter Weise für die Buche erwartet. Die im Vergleich zu anderen Regionen untypische Dominanz der Kiefer gegenüber der Fichte in Sachsen-Anhalt stellt auf den ersten Blick einen Vorteil dar. Die Kiefer gilt als robuster und genügsamer Baum, der weniger Trockenstress anfällig ist als die vom Klimawandel stärker betroffene Fichte. Aus ertragsorientierter Perspektive ist die Kiefer der Fichte oder bspw. der Douglasie jedoch weit unterlegen. Hinzu kommt, dass die Kiefer den Gefahren des Schädlingsbefalls bereits in erheblichem Maße ausgesetzt ist und diese Gefährdung in Zukunft klimawandelbedingt noch zunehmen wird. Zudem besteht ein größeres Waldbrandrisiko in Kiefernbeständen.

Insgesamt scheinen für Sachsen-Anhalt die negativen Auswirkungen des Klimawandels, wie vermehrter Schädlingsbefall, Stürme, Trockenstress und Waldbrände, gegenüber möglichen positiven Folgen für die Ertragsleistung der Wälder zu überwiegen.

Der Waldumbau in Richtung Mischwaldbegründung, Ansiedlung nicht-einheimischer sowie der Nutzung der Gene der am besten angepassten Individuen einheimischer Arten wird von einem Großteil der Experten als wichtige Anpassungsmaßnahme betrachtet. Dabei solle eine Strategie der Risikodiversifizierung verfolgt werden. In Übereinstimmung mit der einschlägigen Literatur werden Kiefer und Traubeneiche als „Gewinner“, Fichte, Lärche und z.T. Buche hingegen als „Verlierer“ des Klimawandels betrachtet. Die Beurteilung des Potenzials nicht-einheimischer Arten, wie der Küstentanne oder der Douglasie, fällt für Vertreter des naturnahen und des stärker ertragsorientierten Waldbaus⁶⁶ unterschiedlich aus.

⁶⁵ Rüter et al. (2008:4).

⁶⁶ Diese Bezeichnung von Waldbautypen orientiert sich an den Waldentwicklungsszenarien, die die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) in der Clusterstudie Sachsen-Anhalt (Rüter et al. 2008:39f) verwendet. In der Studie werden für die Simulationen „ertragsorientierter“, „naturnaher“ und „naturschutzorientierter“ Waldbau unterschieden. Einer der befragten Experten wies darauf hin, dass der anerkannte Konsensbegriff v.a. für die beiden letztgenannten Typen „ökogerechter Waldbau“ sei. Diese Form der Bewirtschaftung betrachte den Wald als Ökosystem, in dem abiotische und biotische Prozesse und Gesetzmäßigkeiten ablaufen, die der Waldbewirtschafter zu seinen Gunsten optimal ausnutzt. Das geringere (Betriebs-) Risiko, das mit einer solche Bewirtschaftung einhergehe, begründe deren wirtschaftliche und damit auch ertragsbezogene Orientierung.

Aus ertragsorientierter Perspektive scheint eine zunehmende Nutzung der Buche auf zahlreichen Standorten problematisch. Die geringeren Kultur- und Vermarktungskosten von Nadelholz legen an dafür geeigneten Standorten eine stärkere Nutzung der Douglasie nahe. Eine Bewirtschaftung mit Buche und Birke ließe sich hingegen v.a. aus Naturschutzüberlegungen heraus begründen. Einzelne Experten gehen davon aus, dass das bereits für die Kiefernbestände beschriebene klimawandelbedingt veränderte Gefährdungspotenzial zur Folge habe, dass die anstehenden Waldumbaumaßnahmen nicht nur zu Lasten der Fichten- sondern auch der alten Kieferbestände gehen werden.

Zusätzliche Waldbaumaßnahmen in Form von forstsanitären Maßnahmen und Pflanzungen werden aktuell dann vorgenommen, wenn Bestände durch Schädlinge unmittelbar befallen sind. Es handele sich hierbei aber eher um das Vorziehen als um eine Ausweitung der regulären waldbaulichen Aufgaben. Durch das verstärkte Auftreten von Sturmschäden und Schädlingsbefall komme es jedoch zu Ertragseinbußen. Zur Abwendung dieser Schäden würden geeignete Gegenmaßnahmen getroffen.

Durch die Zunahme von Sturmschäden ist von einer stärkeren Notwendigkeit der Einlagerung von Schadholz auszugehen. Aufwendige Nasslager werden hierfür in Sachsen-Anhalt wahrscheinlich nicht zum Einsatz kommen, weil diese v.a. von großen forstwirtschaftlichen Betrieben angelegt werden. Dennoch müssten auch kleinere Betriebe ihre Lagerkapazitäten aufstocken (vgl. auch 4.5.4 „Einlagerung und Aufarbeitung von Schadholz“).

Für das Management der erhöhten Waldbrandgefahr fühlen sich die Betroffenen gerüstet. Zusätzliche Maßnahmen zu deren Verringerung werden vorrangig im Nationalpark Harz erwogen. Der Klimawandel verschärft dort voraussichtlich die Gefahr der durch Touristen und die Harzer Schmalspurbahn (HSB) verursachten Waldbrände. Es gibt Überlegungen, häufiger Kontrollgänge durchzuführen sowie einen Waldbrandbeobachter auf dem letzten Wagen der HSB mitfahren zu lassen. Darüber hinaus empfiehlt das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) den Landkreisen und Kommunen, den Zustand der bestehenden Löschwasserreservoirs zu überprüfen, um der zunehmenden Waldbrandgefahr ggf. durch Sanierungen oder Erweiterungen der bestehenden Kapazitäten begegnen zu können.

Die bereits heute spürbare Zunahme von Starkniederschlagsereignissen stellt eine Herausforderung für den Wegeerhalt und -ausbau dar. Häufig können die existierenden Durchlässe die anfallende Wassermenge nicht bewältigen. Dies führe zu Kostensteigerungen von etwa 20-30%. Hinzu käme ein durch diese Ereignisse bedingter Anstieg der Bewirtschaftungskosten durch die Zunahme der Stilllegungszeiten für bestehende Maschinenparks. Eine Zunahme der Schädigung des stärker durchfeuchteten

Bodens durch Harvester sei in Sachsen-Anhalt weniger zu erwarten, da oftmals der sandige Untergrund der Befahrbarkeit gewährleiste.

Forschungsprojekte zur Erhöhung der Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel durch Untersuchungen zu dessen Auswirkungen auf den Wald und Möglichkeiten deren Managements, bspw. durch die Auswahl geeigneter Baumsorten, wurden vereinzelt bereits durchgeführt. Eine Fortführung dieser Projekte wird von den Experten dringend empfohlen.

Eine Ausweitung der Monitoring-Aktivitäten sei notwendig, um bspw. Gefährdungen durch Schädlinge früher entgegenwirken zu können. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Aufgabe in Zukunft nicht allein von der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) wahrgenommen werden kann.

Der *Borkenkäferpfad* und *WaldWandelWeg* des Nationalparks Harz leisten einen Beitrag zur Bildungsarbeit zum Klimawandel, indem sie die Touristen über klimabedingte Schäden und deren erwartete Zunahme aufklären. Maßnahmen wie die Anlegung des phänologischen Gartens zielen auf eine Stärkung des Klimafolgen-Monitorings ab.⁶⁷

4.5.4 Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich Forstwirtschaft in Sachsen-Anhalt

Gespräche mit verschiedenen Experten im forstwirtschaftlichen Bereich ergaben, dass in Sachsen-Anhalt vorrangig in den folgenden Bereichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu erwarten sind:

- Forschung zu Auswirkungen des Klimawandels und geeigneten Anpassungsoptionen;
- Kommunikation von Forschungsergebnissen zu den Auswirkungen des Klimawandels;
- Waldumbau (Diversifizierung, Mischwaldbegründung, Ansiedlung nicht-einheimischer Arten);
- Waldbrandschutz;
- Infrastrukturausbau und –erhalt;
- Wald-Monitoring;
- Eindämmung von Schäden durch biotische Schadorganismen;
- Einlagerung und Aufarbeitung von Schadholz;
- Allgemeines Management.

Im Rahmen der Konsultation wurde versucht, Kostenzuschreibungen zu den angesprochenen Maßnahmen in diesen Bereichen zu treffen.

⁶⁷ Vgl. Landesregierung Sachsen-Anhalt (2010: 21)

Forschung

Im Auftrag des Landes wurde von der NW-FVA von August 2008 bis September 2009 das Projekt „Risiken und Anpassungsstrategien für Wälder als Folge der prognostizierten Klimaveränderung in Sachsen-Anhalt“ (Förderkennzeichen: 05/A03) durchgeführt. Das MLU unterstützte die Umsetzung dieses Forschungsvorhabens mit einer Fördersumme von ca. **65.000 €**. Dieses Projekt ist bislang die einzige durch das Land geförderte Untersuchung zu den Anpassungsnotwendigkeiten an den Klimawandel im Forstsektor in Sachsen-Anhalt. In Zukunft werden im Förderrahmen „Forschung und Innovation“ auch weiterhin Mittel, für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen bspw. zu geeigneten Pflege- und Durchforstungsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Derzeit kann jedoch nicht abgeschätzt werden, in welchem Umfang zukünftig vergleichbare Projekte finanzielle Unterstützung erfahren werden.

Die Anpassungsfähigkeit von Waldbesitzern und -bewirtschaftern soll durch die derzeit noch in der Planung befindliche Identifikation klimavulnerabler Waldstandorte und -bestände und die Ausweisung besonders gefährdeter Waldgebiete in Form von regelmäßig durch das Landeszentrum Wald (LZW) aktualisierten Listen und Karten verbessert werden.

Beratung und Verbreitung von Forschungsergebnissen

Eine direkte Verbreitung einschlägiger Forschungsergebnisse an Adressaten, deren Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel durch diese Ergebnisse verbessert werden könnte, wird in den letzten Jahren verstärkt im Rahmen der jährlich erscheinenden allgemeinen Waldzustandsberichte für Sachsen-Anhalt betrieben. Diese werden von der NW-FVA im Auftrag des MLU erstellt und stehen im Internet zum Download bereit. Zukünftig wird dieses Angebot nach Aussagen des LZW um entsprechende Informationsveranstaltungen und Schulungen für Waldbesitzer bzw. Waldbewirtschafter ergänzt. In diesem Zusammenhang soll auch eine allgemeine forstliche Kommunikationsstrategie erstellt werden.⁶⁸

Die Verbreitung der Ergebnisse der durch das Land Sachsen-Anhalt geförderten und u.a. auf den Klimawandel bezogenen Forschungsprojekte wird durch die Maßgabe der Fördermittelbescheide, diese in der Umweltforschungsdatenbank UFORDAT zu dokumentieren und „in geeigneter Weise“ zu publizieren, befördert. Die Bereitstellung relevanter Informationen auf der Homepage der AG Klimawandel

⁶⁸ Eine weitere geplante, kurzfristig umsetzbare Anpassungsmaßnahme ist die Einberufung einer landesweit tätigen Arbeitsgruppe aus Forstexperten, die im Fall von Großschadereignissen den lokalen Waldbesitzern mit Rat und Tat zur Seite stehen kann. Mögliche Unterstützungsleistungen wären bspw. die Bereitstellung von Informationen zur Optimierung der Schadholzverwertung oder zur Organisation von Walderneuerung bzw. Wiederaufforstung.

(<http://www.klimawandel.sachsen-anhalt.de>) und des Landesamts für Umweltschutz unterstützt dies zusätzlich.

Waldumbau

Möglichkeiten der Abschätzung der mit der besonderen Berücksichtigung des Klimawandels im Rahmen des kontinuierlich betriebenen Waldumbaus verbundenen Kosten wurden mit den Forstexperten diskutiert. Ein Teil dieser Kosten sei auf die aus den höheren Schutzbedürfnissen besser angepasster, neuer Baumarten zurückzuführen. Für die Ermittlung der Mehrkosten wäre es nötig – nach Ermittlung desjenigen Teils des Bestandes (Standort, Fläche, Baumarten), der bspw. bis 2030 zu Verjüngung ansteht – die durch die Nutzung besser angepasster Baumarten⁶⁹ sowie durch eine Ausweitung des Mischwaldbestandes anfallenden zusätzlichen Begründungs-, Schutz- und Erntekosten abzuschätzen.

In den Expertengesprächen wurde angemerkt, dass derzeit ein Überhang der 50-60jährigen Bestände bestehe. Der Großteil des aktuellen Bestandes stehe daher nicht im betrachteten Zeitrahmen, sondern erst in ca. 40 Jahren zur Verjüngung an. Die strategische Entwicklung des Bestandes werde bei der Bewirtschaftung des Landeswaldes angestrebt. Der Grad der Umsetzung dieses Ziels hänge jedoch u.a. vom Risiko des Auftretens von Kalamitäten und Witterungsextremen ab. Man gehe davon aus, dass derartige Ereignisse in Zukunft in größerer Fläche und höherer Intensität auftreten.

Der Landesforstbetrieb Sachsen-Anhalt (LFB) begründe im Rahmen von Wiederaufforstungen oder Neubegründungen jährlich ca. 800 ha an Kulturen. Dabei werde im Sinne einer Anpassung des Landeswaldes an den Klimawandel eine Diversifizierungsstrategie verfolgt und die Standortgerechtigkeit der verwendeten Kulturen sowie der Baumartenzusammensetzung berücksichtigt.⁷⁰ Die Begründungs-, Schutz-, und Pflegekosten können baumartspezifisch angegeben werden. Für eine Abschätzung der anpassungsbedingten Zusatzkosten bedarf es konkreter Angaben dazu, auf welchem Teil der begründeten Fläche aus klimawandelbezogenen Überlegungen heraus die Bewirtschaftung an dem jeweiligen Standort von einem weniger anpassungsfähigen auf einen anpassungsfähigeren Bestandstyp verändert wurde. Alternativ könnten ggf. die um die vom Klimawandel unabhängigen Preisentwicklungen bereinigten jährlichen

⁶⁹ Hierbei wäre in Anlehnung an die Clusterstudie Forst und Holz Sachsen-Anhalt hinsichtlich verschiedener Parameter eine differenzierte Betrachtung eines naturnahen und eines stärker ertragsorientierten Szenarios denkbar.

⁷⁰ Das LZW empfiehlt eine Ergänzung und Anpassung der forstlichen Förderrichtlinie des Landes Sachsen-Anhalt, um den klimawandelbezogenen Waldumbau zu unterstützen. So sei es bspw. sinnvoll, dass der Umbau in solchen Gebieten stärker gefördert werden kann, für die eine in Zukunft geringere Grundwasserneubildungsrate erwartet wird. Darüber hinaus könnten Maßnahmen und Projekte als förderungswürdig eingestuft werden, die den Wasserrückhalt in Waldgebieten verbessern.

Kostensteigerungen bei der Begründung, Pflege und Schutz der neuen Bestände als Anpassungskosten an den Klimawandel interpretiert werden.

Vor diesem Hintergrund ließ sich die angestrebte Abschätzung der im Laufe der nächsten 20 Jahre anfallenden klimawandelbezogenen Waldumbaukosten im Rahmen dieser Studie nicht realisieren. Ein stärker oder ausschließlich auf den Forstsektor fokussiertes Forschungsprojekt sollte in enger Abstimmung mit dem LFB, dem MLU, dem Waldbesitzerverband für Sachsen Anhalt e.V. sowie dem Landesbetrieb für Privatwaldbetreuung (inkl. Betreuungsforstämter für Privatwald) eine solche Abschätzung vornehmen können.

Waldbrandschutz

Das LZW plant die Durchführung von zusätzlichen Maßnahmen, die auf eine Vorbeugung von (Groß-)Waldbränden abzielen. Angedacht sind bspw. die Durchführung von Brandübungen und Kontrollen, die sicherstellen, dass die Waldbrandbereitschaftspläne und festgelegte Richtlinien zur Brandvorbeugung angemessen umgesetzt werden.

Die Zuständigkeit für den Waldbrandschutz und die für die Wahrnehmung dieser Aufgabe notwendigen Löschwasserreservoirs liegt bei den Landkreisen und Kommunen. Diese sind angehalten, mittels einer Bestandsaufnahme und Zustandsanalyse der vorhandenen Entnahmestellen einzuschätzen, inwieweit diese den Anforderungen entsprechen bzw. erweitert oder erneuert werden müssen. Eine Kostenabschätzung wäre, unter der Voraussetzung, dass die relevanten Informationen vorliegen, nur über eine Anfrage bei sämtlichen Landkreisen und Kommunen möglich.

Infrastrukturausbau bzw. –erhalt

Die Zunahme des Frost-Tau-Wechsels sowie der Niederschlagsmengen und -intensitäten führen nach Einschätzung der Experten beim Wegeerhalt zu klimawandelbedingten Kostensteigerungen von 20-30%. Die normalen Ausgaben des LFB für den Wegeerhalt belaufen sich auf 0,8-1,0 €/lfm. Die durchschnittliche Wegedichte im Landeswald beträgt ca. 22-24 lfm/ha. Die Fläche des Landeswalds beträgt ca. 147.000 ha. Nutzt man für eine überschlägige Abschätzung jeweils die mittleren Werte für Ausgaben des Wegeerhalts (0,9 €/lfm), Wegedichte (23 lfm/ha) sowie erwartete Kostensteigerungen (25%), so ergeben sich im Landeswald Mehrkosten von **750.000 € p.a.**

Für die Fähigkeit, klimawandelbedingte Störereignisse angemessen schnell zu bewältigen, spielt die Optimierung logistischer Prozesse eine wichtige Rolle. Hierfür ist neben einer weiteren Professionalisierung der Bewirtschaftung des Privatwaldes auch die Verbesserung der Walderschließung durch den Ausbau des Wegenetzes angeraten. Der Privatwald in Sachsen-Anhalt hat hinsichtlich des Wegenetzes eine um ca. 6 lfm/ha geringere Ausstattung

als der Landeswald. Hinzu kommt, dass die Kosten des Wegeneubaus im Privatwald strukturbedingt höher sind. Der angeratene Ausgleich der bestehenden Wededichtelücke würde nach Einschätzung von Forstexperten Investitionskosten von ca. 60 Mio. € verursachen. Die Umsetzung dieser Anpassungsmaßnahme ließe sich trotz bestehender Fördermöglichkeiten nur sukzessive über die nächsten 30 Jahre realisieren. Der Investitionsbedarf zur Schließung der Wededichtelücke zwischen Landes- und Privatwald würde somit für diesen Zeitraum **2.000.000 € p.a.** betragen. Hinzu kämen auch im Privatwald mit **950.000 € p.a.** die zusätzlichen Erhaltungskosten für das aktuell bestehende Wegenetz sowie für den Zeitraum der nächsten 15 Jahre durchschnittliche jährliche Aufwendungen von **450.000 € p.a.** für das neu geschaffene Wegenetz.

Wald-Monitoring

Der Bedarf an zusätzlichen, auf den Klimawandel bezogenen Monitoring-Maßnahmen wie der Beobachtung der Populationsdynamik biotischer Schadorganismen wird von allen konsultierten Experten bestätigt. Die erwartete Übernahme der Level II-Monitoring-Ausgaben nach Auslaufen der EU-Förderung durch das Land Sachsen-Anhalt kann als ein Teil dieser auf Landesebene anfallenden, auf das Monitoring bezogenen Anpassungskosten interpretiert werden. Die zusätzliche Belastung wird voraussichtlich ca. **150.000 € p.a.** betragen.

Allgemeines Management

Der zusätzliche Personalaufwand für klimawandelbezogene Aufgaben würde sich im LFB auf ca. 5 Arbeitskräfte belaufen. Auf dieser Grundlage wäre für den Gesamtwald ein Bedarf von 25 Arbeitskräften abzuleiten. Bei Personalkosten pro Arbeitskraft von 50.000 € p.a. ergeben sich zusätzliche Personalkosten in Höhe von **1,25 Mio. € p.a.**

Eindämmung von Schäden durch biotische Schadorganismen

Maßnahmen zur Eindämmung von durch biotische Schadorganismen verursachte Großschadereignissen wie bspw. Weiterbildungen des Forstpersonals bezüglich neuer Schädlinge oder der Anpassung der Forstschutz-Überwachungssysteme an bisher unbekannte Gefährdungen werden aktuell vom LZW geplant.

Der LFB rechnet im Landeswald mit einem finanziellen Aufwand von ca. **300.000 € p.a.** für die aktive Bekämpfung von biotischen Schadorganismen, mit deren vermehrten Auftreten im Zuge des Klimawandels gerechnet werden kann. Auf den Gesamtwald gerechnet ergäben sich zusätzlich zu den Ausgaben im Landeswald Aufwendungen von ca. **1,2 Mio. € p.a.**

Einlagerung und Aufarbeitung von Schadholz

Infolge der erwarteten Zunahme von Kalamitäten und Witterungsextremen ist eine verstärkte Einlagerung von Schadholz zur Minimierung der hieraus resultierenden finanziellen Schäden (Preisrückgang durch Überangebot) bzw. Folgeschäden (Übergreifen der Schadorganismen auf noch nicht befallenen Bestand) zu erwarten. Eine Möglichkeit wäre, unter Anbahnung entsprechender Verträge mit der holzverarbeitenden Wirtschaft (v.a. Sägewerke) deren Lagerkapazitäten zur Einlagerung zu nutzen. Dies wäre mit vernachlässigbar geringen Kosten verbunden. Der LFB geht davon aus, dass trotz der Nutzung dieser Kapazitäten zusätzliche Lager angelegt werden müssen. Die außerhalb des Waldes anzulegenden Lagerplätze sollten dabei über Bewässerungsmöglichkeiten verfügen. Das MLU schätzt die sich aus Investitions- Transport- und Betreuungskosten zusammensetzenden Aufwendungen für derartige Nasslager auf ca. 8 €/fm. Allein für den Harz verursache diese Form des Risikomanagements unter Annahme eines Schadholzaufkommens von 20% des Hiebsatzes Zusatzkosten von **600.000 € p.a.**

Die Aufarbeitung von Schadholz verursacht gegenüber der normalen Holzernte zusätzliche Kosten in Höhe von 3-5 €/fm. Unter Verwendung von Angaben zum durchschnittlichen jährlichen regulären Einschlag sowie zum Schadholzeinschlag können die durch die Aufarbeitung von Schadholz verursachten Zusatzkosten abgeschätzt werden.⁷¹

Einen Überblick über die für Sachsen-Anhalt ermittelten Anpassungskosten im Forstsektor gibt Tabelle 3. Die Gesamtkosten für die Anpassung an den Klimawandel in diesem Sektor belaufen sich auf ca. **7,65 Mio. € p.a.**

⁷¹ Dies war aus Gründen der Datenverfügbarkeit im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

Tabelle 3: Übersicht der Anpassungskosten an den Klimawandel im Forstsektor

Bereich	Maßnahme	Kosten	
		einmalig	jährlich
Forschung	NW-FVA – Projekt (Förderkennzeichen: 05/A03)	65.000 €	k.a.
Beratung und Verbreitung von Forschungsergebnissen	Sicherstellung der UFORDAT- Dokumentation geförderter Forschungsprojekte	-	-
	Sicherstellung der Publikation der Ergebnisse geförderter Forschungsprojekte	-	-
	Bereitstellung relevanter Informationen über den jährlichen Waldzustandsbericht sowie auf der Homepage des MLU	k.a.	k.a.
	Schulungen, Weiterbildungen	k.a.	k.a.
Bekämpfung von Schadorganismen	Intensivierung der Bekämpfung von Schadorganismen im Landeswald	-	300.000 €
	Intensivierung der Bekämpfung von Schadorganismen im Gesamtwald (exkl. Landeswald)	-	1.200.000 €
Waldbrandschutz	Bestands-, Zustandsanalyse der Entnahmestellen durch Kommunen, Landkreise	k.a.	k.a.
Wegebau	Erhöhung der Wegedichte des Privat- auf Niveau des Landeswaldes	-	2.000.000 €
Wegeerhalt	Intensivierung der Maßnahmen zum Wegeerhalt im Privatwald (bestehendes Netz)	-	950.000 €
	Intensivierung der Maßnahmen zum Wegeerhalt im Privatwald (neues Netz)	-	450.000 €
	Intensivierung der Maßnahmen zum Wegeerhalt im Landeswald (bestehendes Netz)	-	750.000 €
Monitoring	Fortführung des Level-II-Monitorings	-	150.000 €
	Erhöhung des Personalaufwands im Landeswald	-	250.000 €
	Erhöhung des Personalaufwands im Gesamtwald (exkl. Landeswald)	-	1.000.000 €
Waldumbau	Berücksichtigung der standortspezifischen Klimaentwicklung bei Bestandserneuerung	k.a.	k.a.
Einlagerung Schadholz	Ausweitung und Unterhalt der Lagerkapazitäten für Schadholz	-	600.000 €
Aufarbeitung Schadholz	Ausweitung der Aufarbeitung von Schadholz	-	k.a.
Gesamtkosten		65.000 €	7.650.000 €

4.6 Anpassungskosten im Bereich Tourismus im Harz

4.6.1 Tourismus und Klimawandel

Die Beziehung von Klima und Tourismus lässt sich als ein wechselseitiges Abhängigkeitsverhältnis beschreiben. Die klimatischen Verhältnisse stellen einerseits einen wesentlichen Einflussfaktor für Entwicklung, Vorhaltung und jahreszeitliches „Timing“ touristischer Angebote dar. Sie haben langfristig Einfluss auf Beginn, Ende und Länge der jeweiligen Saison sowie auf die in den meisten Fällen durch die natürlichen Bedingungen bestimmte Attraktivität der jeweiligen Tourismusregion. Eine Vielzahl von touristischen Angeboten ist zudem an spezifische Witterungsbedingungen gebunden.

Andererseits wird das Wachstum des Tourismussektors als einer der Treiber der Klimawandels betrachtet. Aktuelle Schätzungen zufolge war der Tourismussektor 2005 für 5-14% der Erderwärmung, die auf anthropogene Treibhausgase zurückgeführt wird, verantwortlich. Den größten Beitrag leisten dabei transportbezogene CO₂-Emissionen.⁷² Die Beförderung per Flugzeug wirkt sich hierbei besonders negativ aus. (Simpson et al. 2008:15; UNWTO, UNEP, WMO 2008:126) Die CO₂-Bilanz des Tourismussektors wird darüber hinaus durch relativ energieintensiv betriebene Infrastrukturen wie Schwimmbecken, Klima- und Beschneiungsanlagen belastet. Auch wenn der Anteil des Tourismusbereichs an den Gesamtemissionen vergleichsweise gering ist, so sind v.a. angesichts des prognostizierten Wachstums des Sektors⁷³ weitere Klimaschutzanstrengungen geboten.

Der Klimawandel wirkt sich in Abhängigkeit von den konkreten geographischen Gegebenheiten und der Fähigkeit vor Ort, sich auf die voraussichtlichen Veränderungen einzustellen, sehr destinationsspezifisch aus. Einige Regionen werden voraussichtlich von der Reduzierung des Kältestresses in der Nebensaison profitieren.⁷⁴ Die Mehrzahl der Destinationen muss vor dem Hintergrund einer erwarteten Zunahme der heißen Tage und des Rückgangs der Niederschläge im Sommerhalbjahr, einer Zunahme der Niederschläge in Form von Regen anstatt von Schnee und einer Abnahme der Frosttage im Winterhalbjahr sowie der ganzjährigen Zunahme extremer Witterungsereignisse mit negativen Beeinträchtigungen rechnen. Die Vulnerabilität, d.h. die spezifische Betroffenheit unter Berücksichtigung der jeweiligen Anpassungsfähigkeit gegenüber diesen klimatischen

⁷² Diese machen drei Viertel der gesamten CO₂-Emissionen des Tourismussektors aus. Allein der Flugverkehr ist für 40% der Gesamtemissionen verantwortlich (UNWTO, UNEP, WMO 2008:9).

⁷³ Vgl. UNWTO, UNEP, WMO (2008:142).

⁷⁴ Vgl. Matzarakis et al (2009:257).

Entwicklungen, von Entwicklungsländern und kleinen Inselstaaten ist besonders groß (Simpson et al. 2008:16)⁷⁵.

Die direkten Auswirkungen des Klimawandels werden Zusatzaufwendungen bspw. für die Deckung des Wasserbedarfs, die verstärkte Nutzung von Klima- und Beschneiungsanlagen oder die Absicherung gegenüber Naturkatastrophen notwendig machen. Nicht nur die Anbieter touristischer Angebote, sondern auch deren Kunden müssen vor dem Hintergrund zunehmender Klimaschutzanstrengungen mit weiteren finanziellen Belastungen rechnen.

Neben diesen Entwicklungen innerhalb der bestehenden Rahmenbedingungen wird der Klimawandel das Gesicht einiger Regionen grundlegend verändern. In diesem Zusammenhang werden die Veränderung des regionalen Artenspektrums, die Verbreitung neuer Infektionskrankheiten und hochallergener Pflanzen oder auch das Verschwinden ganzer Inseln und Küstenabschnitte durch den Anstieg des Meeresspiegels diskutiert.

Insgesamt variieren die erwarteten Veränderungen in Abhängigkeit vom konkreten Marktsegment, von der geographischen Lage und der Fähigkeit, sich ergebende neue Chancen zu nutzen bzw. Schäden abzuwenden, erheblich. So wird der Städtetourismus trotz der Zunahme des sommerlichen Hitzestresses voraussichtlich eher vom Klimawandel profitieren als der Winter- oder Sommertourismus. Die möglichen Gewinner und Verlierer dieser Veränderungen sind jedoch auch deshalb heute noch nicht auszumachen, weil die verschiedenen Destinationen über die Durchführung geeigneter Anpassungsmaßnahmen einen nicht unwesentlichen Einfluss darauf haben, ob sie in der Summe vom Klimawandel profitieren.

4.6.2 Tourismus und Anpassung an den Klimawandel

Der Handlungsdruck, sich auf die klimatischen Veränderungen einzustellen, variiert entsprechend der Exposition gegenüber diesen Entwicklungen und der spezifischen Anpassungskapazitäten der jeweiligen Akteure. Touristen sind hierbei in der komfortabelsten Situation. Sie sind in der Regel hinsichtlich der Wahl ihres Reiseziels sehr anpassungsfähig. Reiseveranstalter, die keine oder im begrenzten Maße ortsgebundene Infrastrukturen besitzen, sind weniger flexibel, können jedoch mindestens mittelfristig auf sich ändernde Kundenwünsche reagieren. Diejenigen Anbieter, deren Geschäftsmodell bspw. durch die Nutzung eigener Immobilien stärker ortsgebunden ist, sind strukturell weniger anpassungsfähig. Der Handlungsdruck ist für diese Akteure am größten. (UNWTO, UNEP, WMO 2008:30)

⁷⁵ Diese besondere Verletzlichkeit ist von besonderer Relevanz, da für 46 der 50 am wenigstens entwickelten Länder der Welt der Tourismus die wichtigste Deviseneinnahmequelle darstellt (Simpson et al. 2008:11).

In Abhängigkeit vom jeweiligen Marktsegment besteht eine Vielzahl von Anpassungsoptionen.

Die künstliche Beschneigung wird als eine der Hauptstrategien gegen Schneeunsicherheit angesehen. Es wird damit gerechnet, dass Wintersport im Zuge der zurückgehenden Schneesicherheit zukünftig in den tieferen Lagen der Alpen nur noch ab einer Höhe von 1500 Metern und in den Mittelgebirgen ab 800 bis 1000 Metern betrieben werden kann. Bei dauerhaft steigenden Temperaturen wäre künstliche Beschneigung in den tieferen Lagen nicht mehr möglich und somit nur als kurz- bis mittelfristige Lösung geeignet. Deshalb wird von einer Konzentration des Skitourismus in höheren Lagen ausgegangen, so dass als langfristige Anpassungsstrategie für die übrigen Gebiete eine verstärkte Ausrichtung auf Alternativen wie Wandern, schneeunabhängige Outdoor-Aktivitäten, Kultur-, Bildungs- und Wellness-Angebote bzw. im Allgemeinen die Stärkung des Ganzjahrestourismus sinnvoll erscheint.

Darüber hinaus wird eine stärkere Zielgruppenorientierung und Fokussierung auf regionale Besonderheiten empfohlen. Auch für den Sommer- und den Städtetourismus sollte eine Diversifizierung des Angebots verfolgt werden, um möglichst flexibel auf Klimaveränderungen reagieren zu können. Die Umsetzung einer Vielzahl technischer und städtebaulicher Maßnahmen zur Senkung des Hitzestresses oder zum Schutz gegenüber extremen Witterungsereignissen ist denkbar. Die Bedürfnisse des Tourismussektors müssen daher im größeren Rahmen der Anpassung an den Klimawandel auf kommunaler Ebene berücksichtigt werden.

4.6.3 Tourismus und Anpassung an den Klimawandel in Sachsen-Anhalt

Der Tourismusbereich ist ein wichtiger Wirtschaftsfaktor in Sachsen-Anhalt. Für 2006 ergab sich ein touristisch induziertes Einkommen von ca. 1,37 Mrd. € bei einer Anzahl von 43.000 Vollarbeitsplätzen.⁷⁶ Zum Bruttoinlandsprodukt Sachsens-Anhalts trug der Tourismussektor 2,78 Mrd. € bei. Dies entsprach einem Anteil von 5,5%. Die größte Bedeutung hatte mit 1,67 Mrd. € der Tagestourismus, der 60% des touristischen Bruttoumsatzes ausmachte. Der Anteil des 'Übernachtungstourismus' betrug 23%. Gemessen an den Übernachtungen sind Harz und Harzvorland die beliebtesten Reisegebiete; neben Natur- und Wanderurlaub ist hier auch die Möglichkeit zum Wintersport von besonderer Relevanz.⁷⁷

Gerade der Wintertourismus ist jedoch in den Mittelgebirgen vom prognostizierten klimawandelbedingten Temperaturanstieg unmittelbar betroffen. In Sachsen-Anhalt wird sich dies v.a. im Harz und hier im Besonderen in Schierke in den Wintermonaten negativ auf den Wintersporttourismus auswirken. Gleichzeitig eröffnet der Klimawandel aber auch neue

⁷⁶ MW (2007:33ff.).

⁷⁷ Der Anteil an allen Übernachtungen betrug 2006 40,5% (2,6 Mio.).

Möglichkeiten. Eine geeignete Anpassungsstrategie vermag daher nicht nur etwaige Schäden zu begrenzen, sondern kann auch neue Tourismus-Konzepte zu befördern.⁷⁸

Die Befragung relevanter Stakeholder ergab,⁷⁹ dass aktuell im Tourismusbereich im Ostharz nur im geringen Maße Anpassungsaktivitäten geplant bzw. durchgeführt werden. Dies ist aus verschiedenen Gründen nachvollziehbar:⁸⁰

- Die Abhängigkeit vom Wetter begründet eine besondere Anpassungskultur des Tourismussektors. So sind Reaktionen auch auf langfristige Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen relativ schnell möglich (kurze „Investitionszyklen“).⁸¹
- Der Wintersport hat im Ostharz bspw. im Vergleich zum Westharz eine eher geringe Bedeutung. Das gilt im Besonderen für alpine Wintersportarten, die auf eine vergleichsweise teure Infrastruktur angewiesen sind. Dadurch spielt die für andere Regionen diskutierte Installation von Beschneiungsanlagen im Ostharz keine Rolle.
- Auch die auf Grundlage der Erfahrungen der letzten kalten Winter aktuell geplanten wintersportbezogenen Investitionen, wie bspw. in Spurmaschinen, scheinen vor dem Hintergrund der vergleichsweise kurzen Abschreibungszeiträume und der für die nächsten 5-10 Jahre erwarteten Entwicklung durchaus rational.

Der Harzer Tourismusverband betrachtet die Einschränkungen des Wintertourismus' im sachsen-anhaltinischen Bereich des Harzes als unproblematisch, da im Ost-Harz intensiver Wintertourismus nur in der Gegend um Schierke möglich ist. In dieser Region werden in den kommenden 5 Jahren ca. 40 Mio. € investiert werden. Nur ein kleiner Teil dieser Summe wird in den Ausbau und Erhalt des vor Ort vorhandenen Loipennetzes verwendet. Vielmehr soll der Ort Schierke in eine verkehrsfreie Zone umgewandelt werden. Hierfür ist als klimaschutzorientierte Maßnahme der Aufbau eines Bus-Shuttlesystems geplant. Darüber hinaus sollen der Kurpark sowie das Angebot im Sport- und Veranstaltungsbereich erweitert werden.

Diese Maßnahmen unterstützen die Stärkung des Konzepts des Ganzjahrestourismus'. Dieses Marktsegment ist im Harz bereits recht gut entwickelt. Am wichtigen Standort Wernigerode gibt es jährlich ca. 1 Mio. Übernachtungen. Dabei sind die bestehenden Kapazitäten – außer im November – bereits gut ausgelastet.

⁷⁸ Matzarakis et al. (2009:253).

⁷⁹ Befragt wurden Vertreter des Harzer Tourismusverbands, der Wernigerode Tourismus GmbH, des Biosphärenreservats Karstlandschaft Südharz, des Nationalparks Harz sowie der Hochschule Harz.

⁸⁰ Dies kann auch für anderen (Mittelgebirgs-)Regionen in Deutschland wie bspw. den Schwarzwald diagnostiziert werden (Matzarakis et al. 2009:259).

⁸¹ In anderen Mittelgebirgsregionen werden aktuell Investitionsprojekte erörtert, die neben der Steigerung der Attraktivität für den Sommertourismus auch einen Ausbau des alpinen Skitourismus zum Ziel haben. Beispiele hierfür sind das Skischaukel-Projekt Goldisthal-Masserberg (ca. 40 Mio. €) sowie der Ausbau der Ski-Arena Silbersattel in Steinach (ca. 10 Mio. €).

In den nächsten Jahren wird es jedoch bedingt durch den demographischen Wandel zu Zielgruppenverschiebungen hin zu einem noch stärker seniorenorientierten Tourismus kommen. Der Wochenend- und Tagestourismus wird weiterhin eine zentrale Rolle spielen, allerdings wird der Übernachtungstourismus durch die sich verändernde Altersstruktur der Besucher weiter zunehmen.

Projekte wie der von der Wernigerode Tourismus GmbH koordinierte „Harzer Kulturwinter“ sollten hierfür weiter ausgebaut werden. Dieses Programm wurde ursprünglich entwickelt, um die Auslastung derjenigen Einrichtungen zu erhöhen, die nicht im ausreichenden Maße vom Wintertourismus profitieren. Aktuell stellt der „Harzer Kulturwinter“ noch eine attraktive Ergänzung des Wintersportangebots dar. Wenn sich die Wintersportbedingungen mittel- bis langfristig entsprechend der Ergebnisse der regionalen Klimasimulationen entwickeln sollten, werden solche Alternativen die entstehende Angebotslücke füllen müssen.

Box 4: Harzer Kulturwinter

Wintertourismus muss nicht gleichbedeutend mit Ski- und Snowboardurlaub sein. Der Harzer Tourismusverband hat mit dem Kulturwinter, der in 2011 bereits zum vierten Mal stattfand, eine schneeunabhängige Erweiterung des Erholungsangebots etabliert. Die an der Veranstaltungskooperation beteiligten 25 Orte bieten für zwei Wochen im Januar/Februar ein breit gefächertes Kulturprogramm, in dessen Rahmen jede Kommune zugleich einen Eindruck des touristischen Jahresprogramms vermitteln kann. Das Angebot reicht von thematischen Sonderführungen in Schlössern und Museen, Führungen zur Stadtgeschichte und zu den regionalen Kulturerbestätten über Besichtigungen von Bergwerken und Brauereien bis hin zu Theatervorstellungen und klassischen Konzerten. Das Programm richtet sich dabei im selben Maße an Kultur- und Geschichtsinteressierte wie an Familien mit Kindern. Eine kommentierte Veranstaltungsübersicht wird im Internet sowie als Broschüre vom Tourismusverband zur Verfügung gestellt. Ziel ist es, die für den Städte- und Kulturtourismus eher ruhigen Monate zu beleben und den Harz auch jenseits seines Wintersportangebots als vielfältige Urlaubsregion zu bewerben.

Klassische Anpassungsmaßnahmen wie die Erweiterung des Wander- und Radfahrwegesystems sind nach Auskunft der Wernigerode Tourismus GmbH aus finanziellen Gründen derzeit nicht geplant. Die Erhaltung und Pflege des existierenden Netzes seien jedoch gewährleistet.

Der zunehmenden Waldbrandgefahr im Harz wird durch eine Untersuchung des Einflusses der Harzer Schmalspurbahn auf das Waldbrandgeschehen begegnet. Ziel ist es, mit verbesserten Filtersystemen und zusätzlichen Vorsorgemaßnahmen während der

anhaltenden Trockenperioden im Sommer die Waldbrandgefahr im Nationalpark Harz zu senken.

Im Masterplan Tourismus Harz 2015, im neuen Entwicklungskonzept für Schierke sowie im aktuellen Leitbild Tourismus spielt der Klimawandel nur eine untergeordnete Rolle. Im derzeit entwickelten Rahmenkonzept des Biosphärenreservats Karstlandschaft Südharz wird dem Klimawandel ein Schwerpunkt gewidmet. Ähnliches ist für das neue Leitbild Tourismus ab 2015 zu erwarten.

4.6.4 Anpassungskosten an den Klimawandel im Bereich Tourismus in Sachsen-Anhalt

Eine Kostenzuschreibung zu den wenigen genannten Einzelmaßnahmen stellte sich trotz der Kooperationsbereitschaft der betroffenen Akteure als sehr schwierig heraus, daher wurde auf eine Abschätzung der Anpassungskosten für diesen Sektor verzichtet.

5. Zusammenfassung und übergreifende Schlussfolgerungen

In den kommenden Jahrzehnten wird der durch den anthropogenen Treibhauseffekt verstärkte Klimawandel voranschreiten. Die eintretenden klimatischen Veränderungen werden auch in Deutschland in den verschiedenen Regionen und Wirtschaftssektoren Auswirkungen haben. Maßnahmen zur Anpassung an diese Effekte sind unabdingbar. Ein Teil dieser Anpassungsmaßnahmen muss durch die öffentliche Hand geplant, umgesetzt und finanziert werden. Dies betrifft alle Ebenen staatlichen Handelns, von der EU über die nationale Ebene und die Ebene der Bundesländer bis hin zur kommunalen Ebene. Entsprechende Vorbereitungen werden zurzeit von den Entscheidungsträgern in Politik und Verwaltung getroffen.

Oft fehlt es dabei jedoch an Informationen, welche Maßnahmen in welchem Ausmaß wo und wann anzustoßen sind. Wenn mehrere Handlungsoptionen bestehen, ist darüber hinaus häufig unklar, welche Maßnahmen prioritär zu verfolgen sind, um angesichts knapper Mittel die Anpassung dort vorzunehmen, wo sie den größten Erfolg verspricht. Zur Überwindung dieses Informationsdefizits wird von ökonomischer Seite eine Nutzen-Kosten-Abwägung vorgeschlagen: Die Nutzen von Maßnahmen sollen ihren Kosten gegenübergestellt werden, um die Alternative mit dem höchsten Nettoertrag – also dem höchsten Überschuss der Nutzen gegenüber den Kosten – auszuwählen. Die Anwendung solcher Nutzen-Kosten-Betrachtungen bei der Auswahl geeigneter Anpassungsmaßnahmen ist in Politik und Verwaltung zurzeit (noch) eher selten zu beobachten.

An dieser Stelle setzte die vorliegende Studie an. Ihr Ziel bestand darin, die Kosten der Anpassung an den Klimawandel unter Verwendung eines Bottom-up-Ansatzes für das Bundesland Sachsen-Anhalt zu ermitteln. Zwei Aspekte sind in diesem Zusammenhang noch einmal zu betonen: Zum einen erfolgte eine Beschränkung auf die Abschätzung der Kosten der Klimaanpassung, d.h. die durch die Anpassungsmaßnahmen gestifteten Nutzen wurden im Rahmen dieser Studie (zunächst) bewusst ausgeklammert, um die Analyse nicht zu überfrachten. Zum anderen wurde mit dem Bottom-up-Verfahren ein spezifischer Ansatz gewählt, der es ermöglichte, in enger Abstimmung mit den jeweiligen Entscheidungsträgern zunächst relevante Anpassungsmaßnahmen zu bestimmen, um dann daran anknüpfend deren Kosten abzuschätzen. Dies steht im Gegensatz zu ansonsten häufig verfolgten Top-down-Ansätzen, die versuchen, diese Kosten unter Verwendung (makro-)ökonomischer Modellansätze abzuleiten.

Die zentralen Ergebnisse dieser Studie sind:

1. Aktuell liegt nur eine überschaubare Anzahl von Studien zur den ökonomischen Kosten des Klimawandels vor. Dies gilt im besonderen Maße für Untersuchungen zu den Kosten von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Bei den vorliegenden Studien stehen entweder Untersuchungen zu den Kosten der Begrenzung des Klimawandels (Mitigation) oder Abschätzungen der Kosten des Nichthandels, also möglicher klimawandelbedingter Schäden im Vordergrund. Wenn explizit Anpassungskosten ermittelt werden sollen, wird entweder ein Fallstudien-Ansatz oder ein Top-down-Verfahren gewählt. Die vorgelegte Studie schließt an dieser Stelle eine Lücke, indem auf die Erfassung von konkreten Anpassungskosten in den besonders vom Klimawandel betroffenen Sektoren in einem Bundesland (Sachsen-Anhalt) abgestellt wird (Kapitel 2).

2. Für die Erfassung klimawandelbedingter Anpassungskosten stellt die Analyse der Verwundbarkeiten einzelner Sektoren oder Regionen eine wichtige Vorüberlegung dar. Mithilfe zweier methodischer Ansätze konnte in der vorliegenden Studie gezeigt werden, welche Sektoren und Regionen in Sachsen-Anhalt besonders anfällig für den Klimawandel sind (Kapitel 3). Dazu wurde zum einen auf eine Studie der Deutschen Bank zurückgegriffen, bei der die „Klimabetroffenheit“ anhand von qualitativen Merkmalen abgeschätzt wurde. Zum anderen wurde das Vorgehen des REGKLAM-Projekts adaptiert, bei dem die Bewertung der sektoralen Verwundbarkeit mit Hilfe statistischer Verfahren zur Erfassung der Energie- und Wasserintensitäten einzelner Branchen vorgenommen wurde. Beide Analysen wurden auf die wirtschaftsstrukturellen und regionalen Bedingungen in Sachsen-Anhalt übertragen. Damit konnte erstmals gezeigt werden, welche Sektoren und welche Regionen (Kreise und kreisfreie Städte) in Sachsen-Anhalt vermutlich im besonderen Maße (d.h. überdurchschnittlich) von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein werden.

3. Im Rahmen der sektorspezifischen Identifikation von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zeigte sich, dass diese unter den gegebenen (zeitlichen) Restriktionen nicht flächendeckend, d.h. für alle Bereiche, die vom Klimawandel betroffen sein werden, ermittelt werden konnten. Daher erfolgte eine Beschränkung auf diejenigen Bereiche, von denen angenommen wurde, dass sie besonders klimasensibel seien. Im Einzelnen waren dies: (i) die Wasserver- und Wasserentsorgung, (ii) der Hochwasserschutz, (iii) die Forstwirtschaft sowie (iv) der Tourismus (Kapitel 4).

Es zeigte sich, dass in diesen vier Sektoren derzeit in sehr unterschiedlichem Maße Anpassungsmaßnahmen geplant bzw. umgesetzt und somit Aufwendungen getätigt werden. Während für den Forstsektor – u.a. bedingt durch den langfristigen Planungshorizont und die sich schon jetzt abzeichnenden klimawandelbedingten Effekte – zahlreiche Anpassungsmaßnahmen identifiziert und nennenswerte Kosten abgeschätzt werden

konnten, wird von den konsultierten Experten für die anderen Bereiche die Umsetzung nur weniger Anpassungsmaßnahmen für die nahe Zukunft erwartet. Darüber hinaus werden die mit diesen Maßnahmen verbundenen Kosten als moderat eingeschätzt.

Im Falle der Wasserver- und Wasserentsorgung sowie des Hochwasserschutzes betrafen diese Kosten vor allem die Bewältigung der Folgen von und der Vorbeugung gegenüber extremen Witterungsereignissen sowie die (weitere) Erforschung der konkreten sektorspezifischen Auswirkungen des Klimawandels. Dies deutet darauf hin, dass angesichts knapper Ressourcen und hoher Unsicherheiten unter Wahrung des Vorsorgegrundsatzes sehr behutsam vorgegangen wird, indem zunächst weitere Beobachtungen abgewartet und Strategien zur Reduzierung von Unsicherheiten angestrebt werden, um dann (evtl. später) auf Grundlage einer verbesserter Wissensbasis handeln zu können.

Im Bereich des Tourismus' konnte keine Planung oder Umsetzung nennenswerter Anpassungsmaßnahmen festgestellt werden. Dies lässt sich mit Blick auf die untersuchte Region, den Ostharz, u.a. mit den Investitionsplanungen begründen, die nicht für die kommenden Jahrzehnte vorgenommen werden und demzufolge die Klimaänderungen (noch) nicht mit einbeziehen.

Es bleibt abschließend anzumerken, dass die hier vorgelegte Studie nur ein erster Schritt in Richtung einer systematischen Erfassung der Anpassungskosten an den Klimawandel auf regional-sektoraler Ebene sein kann. Derzeit bestehen diesbezüglich noch erhebliche methodisch-konzeptionelle und praktisch-empirische Probleme, die es zu lösen gilt. Die hier gewählte Vorgehensweise des Bottom-up-Ansatzes macht aber deutlich, dass viele der vorliegenden modellbasierten Kostenabschätzungen nicht im Einklang stehen mit den empirisch tatsächlich erfassbaren Kostengrößen. Diese abgeleiteten Top-down-Schätzungen sind daher besonders für regionale Entscheidungsträger nur von begrenztem Nutzen.

Für die Zukunft ist klar, dass eine weitere Erforschung der durch Anpassungsmaßnahmen verursachten Kosten und vermiedenen Schäden unabdingbar ist, um die bestehende Wissensbasis zu verbessern und die Verantwortlichen auf den verschiedenen Ebenen so bei deren Entscheidungsfindung zu unterstützen. Neben einer Einbeziehung von Nutzenaspekten, die in dieser Studie ausgeklammert waren, betrifft dies insbesondere die Analyse privater Anpassungsmaßnahmen, die weitgehend unberücksichtigt blieben, sowie die Kosten von Anpassungsmaßnahmen auf anderen staatlichen Ebenen, vor allem der kommunalen Ebene. Methodisch ist alternativ zu den hinsichtlich der Datenverfügbarkeit vergleichsweise voraussetzungsvollen Nutzen-Kosten-Analysen auch die Anwendung multikriterieller Verfahren denkbar, die in der Lage sind, qualitative Bewertungen bestehender Handlungsoptionen im Priorisierungsprozess zu berücksichtigen.

6. Literaturverzeichnis

- Auerswald, H.; Vogt, G. (2010): „Zur Klimasensibilität der Wirtschaft in der Region Dresden“, *ifo Dresden berichtet*, 17, 3, S.15-23.
- Bardt, H. (2009): „Umweltschutz und Konjunkturprogramme - Unterstützung für die grüne Wirtschaft“, *Umweltservice* Nr. 2/2009, Institut der deutschen Wirtschaft Köln.
http://www.iwkoeln.de/Portals/0/PDF/umweltservice_0209.pdf
- Bardt, H. (2009): „Regionale Anpassung aus Sicht der Wirtschaft“, *Vortrag im Rahmen der KLIMZUG-Auftaktveranstaltung*, Bonn, 23.07.2009.
[http://www.klimzug.de/ media/Regionale Anapssung aus Sicht der Wirtschaft \(Bardt\).pdf](http://www.klimzug.de/media/Regionale_Anapssung_aus_Sicht_der_Wirtschaft_(Bardt).pdf)
- Barth, H. (2011): „Nach dem Scheitern von Cancún: Politik zwischen Klimaschutz und Anpassung“, *Ifo-Schnelldienst*, 64, 5, S.3-8.
- Bauindustrieverband Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (2008): *Die Bauwirtschaft in Sachsen und Sachsen-Anhalt, Positionspapier*, 05.08.2009.
<http://www.bauindustrie-sachsen.de/viewpdf.php?file=DruckfassungBauwirtschaftSachsenSachsenAnhalt2009.pdf>
- Bayerische Staatsregierung (2009): *voraus denken – elementar versichern*.
<http://www.elementar-versichern.bayern.de>
- Berrang-Ford, L.; Ford, J. D.; Paterson, J. (2011): „Are we adapting to climate change?“, *Global Environmental Change*, 21, 1, S.25-33.
- Biebeler, H.; Mahammadzadeh, M.; Selke, J.-F. (2008): „Globaler Wandel aus Sicht der Wirtschaft, Chancen und Risiken, Forschungsbedarf und Innovationshemmnisse“, *Forschungsbericht Nr. 36*, Institut der deutschen Wirtschaft Köln.
- Brang, P.; Bugmann, H.; Bürgi, A.; Mühlethaler, U.; Rigling, A.; Schwitter, R. (2008): „Klimawandel als waldbauliche Herausforderung“, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 159, S.362-373.
- Buchholz, W., Rübbelke, D. (2011): „Vermeidungs- vs. Anpassungsstrategien in der zukünftigen Klimapolitik: Der Versuch einer realistischen Einschätzung“, *Ifo-Schnelldienst*, 64, 5, S.11-16.
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser - LAWa (2010): *Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“. Bestandaufnahme und Handlungsempfehlungen*, Dresden.

- Bundesagentur für Arbeit (2009): „Arbeitsmarkt 2008“, *Amtliche Nachrichten der Bundesagentur für Arbeit*, 57. Jahrgang, Sondernummer 2, Nürnberg.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde - BfG (2010): *Pressemitteilung: Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflüsse des Rheins. Forschungsprojekt „RheinBlick2050“ präsentiert Ergebnisse*, 13.10.2010.
- Chmielewski, F.-M. (2007): „Folgen des Klimawandels für die Land- und Forstwirtschaft“, In: Endlicher, W.; Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.): *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*, Potsdam, S. 75-85.
- Deutsche Bundesregierung (2008): *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel*, Berlin.
- Deutscher Wetterdienst - DWD (2002): *Starkniederschläge in Sachsen im August 2002. Eine meteorologisch-synoptische und klimatologische Beschreibung des Augusthochwassers im Elbegebiet*, Offenbach.
- Emmel, W. (2008): *Die Revision der Wirtschaftszweigklassifikation 2008*, Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, 2, S.20 -26.
- Formayer, H., Kromp-Kolb, H. (2009): *Hochwasser und Klimawandel. Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Österreich*, Wien.
- Görgen, K.; Beersma, J.; Buiteveld, H.; Brahmer, G.; Carambia, M.; Keizer, O. de; Krahe, P.; Nilson, E.; Lammersen, R.; Perrin, C.; Volken, D. (2010): *Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 project*, Lelystad.
- http://www.chr-khr.org/files/CHR_I-23.pdf
- Greulich, M. (2009): „Revidierte Wirtschaftszweig- und Güterklassifikationen fertiggestellt“, Statistisches Bundesamt, *Wirtschaft und Statistik*, 1, S.36-46.
- Hanusch, H. (2008): *Nutzen-Kosten-Analyse*, WiSo-Kurzlehrbücher, Wiesbaden.
- 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.
- Hennegriff, W.; Reich, J. (2007): „Auswirkungen des Klimawandels auf den Hochwasserschutz in Baden-Württemberg“, *Baden-Württembergische Gemeindezeitung*, 2, S.65-69.
- Heymann, E. (2007): „Klimawandel und Branchen: Manche mögen's heiß!“, Deutsche Bank Research, *Aktuelle Themen* 388, 04.06.2007.

http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_DE-ROD/PROD0000000000211107.pdf

Heymann, E. (2008): „Welche Branchen sind besonders vom Klimawandel betroffen?“, *Umweltwirtschaftsforum*, 16, 2, S.65-70.

Hölting, B. (1996): *Hydrogeologie*, Stuttgart.

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

Kemfert, C. (2007): „Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden“, *DIW Wochenbericht*, 11, S.165-170.

Kemfert, C. (2008): „Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten“, *DIW Wochenbericht*, 12-13, S.137-142.

KLIWA (2005a): „Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050“, *KLIWA Kurzberichte Klimawandel*.

<http://www.kliwa.de/download/kliwazukunftsberby.pdf>

KLIWA (2005b): „Der Klimawandel in Baden-Württemberg“, *KLIWA Kurzberichte Klimawandel*.

<http://www.kliwa.de/download/kliwazukunftsberbw.pdf>

Kohfahl, C.; Massmann, G.; Pekdeger, A. (2005): „Fossiles und neues Grundwasser als Teil des Gesamtwassers“, In: Lózan, J.; Graßl, H.; Hupfer, P.; Menzel, L.; Schönwiese, C. D. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?*, Hamburg, S.68-73.

Kropp, J.; Roithmeier, O.; Hattermann, F.; Rachimow, C.; Lüttger, A.; Wechsung, F.; Lasch, P.; Christiansen, E.S.; Reyer, C.; Suckow, F.; Gutsch, M.; Holsten, A.; Kartschall, T.; Wodinski, M.; Hauf, Y.; Conradt, T.; Österle, H.; Walther, C.; Lissner, T.; Lux, N.; Tekken, V.; Ritchie, S.; Kossak, J.; Klaus, M.; Costa, L.; Vetter, T.; Klose, M. (2009): *Klimawandel in Sachsen-Anhalt. Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels*, Endbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) im Auftrag des MLU Sachsen-Anhalt.

Kunstmann, H. (2007): „Regionale Auswirkung der Klimaänderung auf die Wasserverfügbarkeit in klimasensitiven Gebieten“, In: Endlicher, W; Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg.): *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*, S.67-74.

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt - LAU (2010): *Bericht zur öffentlichen Wasserversorgung in Sachsen-Anhalt für das Jahr 2008*, Halle.

- Landesregierung Sachsen-Anhalt (2007): *Das Energiekonzept der Landesregierung von Sachsen-Anhalt für den Zeitraum zwischen 2007 und 2020*, Magdeburg.
- Landesregierung Sachsen-Anhalt (2008): *Klimaschutzprogramm 2020 des Landes Sachsen-Anhalt*, Magdeburg.
- Landesregierung Sachsen-Anhalt (2010): *Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel und dazu gehörender Aktionsplan. Teil I Strategie*, Magdeburg.
- Lózan, J.; Graßl, H.; Hupfer, P.; Menzel, L.; Raschke, E.; Schönwiese, C. D. (2005): „Das Wasserproblem der Erde: Vom Wasserkreislauf über das Klima bis zum Menschenrecht auf Wasser“, In: Lózan, J.; Graßl, H.; Hupfer, P.; Menzel, L.; Schönwiese, C. D. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?*, Hamburg, S.11-18.
- Mahammadzadeh, M. (2009): „Anpassungsstrategien im Kontext des Klimawandels“, *Vortrag, Arbeitstreffen des Deutschen Global Compact Netzwerks (DGCN)*, Berlin, 03.09.2009.
- Mahammadzadeh, M. (2010a): „Anpassung an den Klimawandel in der deutschen Wirtschaft – Ergebnisse aus Expertenbefragungen“, *Zeitschrift für Umweltrecht und Umweltpolitik*, 3/2010, S. 309-340.
- Mahammadzadeh, M. (2010b): Klimawandel ein Thema mit strategischer Bedeutung für die Unternehmen, *Umweltwirtschaftsforum*, 18, 1, S.45-51.
- Matzarakis, A.; Möller, A.; Kreilkamp, E.; Carstensen, I.; Bartels, C.; Burandt, S.; Endler, Ch. (2009): „Anpassungsstrategien zum Klimawandel touristischer Pilotdestinationen in Küsten- und Mittelgebirgsregionen“, In: Mahammadzadeh, M.; Biebeler, H.; Bardt, H. (Hrsg.): *Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen. Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele*, Köln, S.253-270.
- Meier, F.; Engesser, R.; Forster, B.; Odermatt, O. (1999): *Forstschutz-Überblick 1998*, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- Michael, A. (2009): *Abschlussbericht: Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser*, FuE-Vorhaben Nr. 070732, TU Bergakademie Freiberg.
- Michalik, P.; Standfuß, M. (2009): Die demografische Entwicklung und ihre Folgen für die Wasserversorgung“, *Energie Wasser-Praxis*, 9, S.96-101.
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt - MLU (2010a): *Hochwasserschutzkonzeption des Landes Sachsen-Anhalt bis 2020*, Magdeburg.

- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt - MLU (2010b): *Erneuerbare Energien und Energiestrukturen in Sachsen-Anhalt*, Stand: 18.11.2010, Magdeburg.
- Ministerium für Wirtschaft und Arbeit des Landes Sachsen-Anhalt - MW (2007): „Wirtschaftsfaktor Tourismus in Sachsen-Anhalt. Daten, Fakten, Zahlen“, *Tourismus-Studien Sachsen-Anhalt*, Nr. 8, Magdeburg.
- Ministerium für Wirtschaft und Arbeit des Landes Sachsen-Anhalt - MW (2010): *Jahreswirtschaftsbericht 2010 -Zahlen und Fakten-*, Stand: November 2010, Magdeburg.
- PESETA Research Project (2009): *Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA-Agriculture study*, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24107 EN - 2009.
- Pethig, R. (2011): „Emissionsvermeidung oder Anpassung an den Klimawandel: Klimapolitischer Handlungsbedarf und strategisches Handeln“, *Ifo-Schnelldienst*, 64, 5, S.20-23.
- Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (2009): *Klimawandel in Sachsen-Anhalt Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels, Endbericht*, November 2009.
- Prinzler, D. (2010): Vortrag: „Anpassung an den Klimawandel als Element der Unternehmensplanung“, *Konferenz "Klimapolitik ist Zukunftspolitik"*, 06.12.2010, Magdeburg.
http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/fileadmin/Elementbibliothek/Master-Bibliothek/Landwirtschaft_und_Umwelt/K/Klimaschutz/Klimawandel/Veranstaltung_06_12_2010/Vortrag_Prinzler_neu.PDF
- Rüther, B.; Hansen, J.; Spellmann, H.; Nagel, J.; Möhring, B.; Schmidt-Walter, P.; Dieter, M. (2008): *Clusterstudie Forst und Holz Sachsen-Anhalt*, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.
- Schmidt, C.; Wagner, M.; Schwarze, R.; Burek, P.; Rademacher, S. (2009): „Modelluntersuchungen zur Veränderung von Hochwasserscheitelabflüssen im deutschen Elbelauf unter dem Einfluss möglicher Klimaänderungen“, *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 53, 3, S.185-193.
- Schönwiese, Ch.-D. (2007): "Wird das Klima extremer? – Eine statistische Perspektive", In: Endlicher, W.; Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.): *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*, Potsdam, S.60-66.

- Simpson, M.C.; Gössling, S.; Scott D.; Hall, C. M.; Gladin, E. (2008): *Climate Change Adaption and Mitigation in the Tourism Sector: Frameworks, Tools and Practices*, UNEP, University of Oxford, UNWTO, WMO, Paris.
- Staatskanzlei (2010): *Pressemitteilung Nr.: 215/10*, 27.04.2010, Magdeburg.
- Statistisches Bundesamt (2008): *Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen*, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2011): *GENESIS-Online Datenbank, Verbraucherpreisstatistik*, Wiesbaden, Abfrage 30.01.2011.
https://www.genesis.destatis.de/genesis/online.jsessionid=83E64AE449AFE0A5EF8F7F63D87B5607.tomcat_GO_2_1?operation=begriffsRecherche&suchanweisung=Verbraucherpreis&suchanweisung_language=de&x=6&y=6
- Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (2009): „Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Erwerbstätige nach Arbeitsort nach Kreisen“, *Statistische Berichte Sachsen-Anhalt, Jahresdurchschnittsberechnungen*, 8, Halle (Saale).
- Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (2009): „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Bruttoinlandsprodukt und Bruttowertschöpfung in den kreisfreien Städten und Landkreisen“, *Statistische Berichte Sachsen-Anhalt, Jahresdurchschnittsberechnungen*, 6, Halle (Saale).
- Stern, N. (2007a): *Die wirtschaftlichen Aspekte des Klimawandels, Zusammenfassung*, Cambridge (UK).
<http://ukingermany.fco.gov.uk/resources/de/pdf/5580203/5580209/stern-review-deutsch>
- Stern, N. (2007b): *The Economics of Climate Change - The Stern Review*, Cambridge (UK).
- Trimis, D.; Thum, M.; Günther, E. (2010): „Klimaabhängige Produktionsbedingungen“, *Vortrag auf dem 2. REGKLAM-Regionalforum*, Regionales Klimaanpassungsprogramm Modellregion Dresden, 25.02.2010.
http://www.regklam.de/fileadmin/Daten_Redaktion/Praesentationen/7_Trimis_2.REGKLAM-Regionalforum.pdf
- UNFCCC (2007): *Investment and Financial Flows. To Address Climate Change*, Bonn.
- UNWTO, UNEP, WMO (2008): *Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges*, Madrid, Paris.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen - WBGU (1997): *Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser. Jahresbericht 1997*, Berlin.

7. Anhang

7.1 Übersicht der ausgewerteten Studien zur Abschätzung klimawandelbezogener Kosten

- 1 Agrawala, S.; Crick, F., Jetté-Nantel, S.; Tepes, A. (2008): "Empirical Estimates of Adaption Costs and Benefits: A Critical Assessment", In: Agrawala, S.; Fankhauser, S. (Hrsg.): *Economic Aspects of Adaption to Climate Change. Costs, Benefits and Policy Instruments*, OECD, S. 29-84.
- 2 Bräuer, I.; Umpfenbach, K.; Blobel, D.; Grünig, M.; Best, A.; Peter, M.; Lückge, H. (2009): *Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen? Endbericht*, Ecologic Institute, Berlin.
- 3 Dlugolecki, A. (2007): "The Cost of Extreme Events in 2030", *A Report for United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- 4 Hahn, F. (2004): „Künstliche Beschneidung im Alpenraum - Ein Hintergrundbericht“, *alpMedia Hintergrundbericht*, Dezember 2004, Schaan.
- 5 Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2005): *Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen, INKLIM 2012 Projektbaustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen, Abschlussbericht*.
- 6 International Monetary Fund (2008): *The Fiscal Implications of Climate Change*, Fiscal Affairs Department IMF, Washington
- 7 Kemfert, C. (2007): „Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden“, *DIW Wochenbericht* 11/2007, S. 165-169.

Kemfert, C. (2008): „Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten“, *DIW Wochenbericht* 12-13/2008, S. 137-142.
- 8 Kirshen, P. (2007), "Adaptation Options and Cost in Water Supply", *A Report to UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division*.
- 9 McCarl, B. A. (2007): "Adaptation Options for Agriculture, Forestry and Fisheries", *A Report to UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division*.

- 10 Osberghaus, D.; Reif, C. (2010): "Total Costs and Budgetary Effects of Adaptation to Climate Change: An Assessment for the European Union", *ZEW Discussion Paper* 10-046.
- 11 Oxfam (2007): "Adapting to Climate Change: What's Needed in Poor countries, and Who Should Pay", *Oxfam Briefing Paper*, 104.
- 12 Parry, M.; Arnell, N.; Berry, P.; Dodman, D.; Fankhauser, S.; Hope, C.; Kovats, S.; Nicholls, R.; Satterthwaite, D.; Tiffin, R.; Wheeler, T. (2009): *Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change. A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*, International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London.
- 13 PESETA Research Project (2009): *Climate Change Impacts in Europe, Final report of the PESETA Research Project*, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24093 EN - 2009.
- Iglesias, A., Garrote, L., Quiroga, S., Moneo M. (2009): "Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA - Agriculture study", *JRC Scientific and Technical Reports*, EUR 24107 EN - 2009.
- Amelung, B., Moreno A. (2009): "Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA - Tourism study", *JRC Scientific and Technical Reports*, EUR 24114 EN - 2009.
- 14 Swart, R.J.; Biesbroek, G.R.; Binnerup, S.; Carter T.R.; Cowan, C.; Henrichs, T.; Loquen, S.; Mela, H.; Morecroft, M.D.; Reese, M.; Rey, D. (2009): *Europe Adapts to Climate Change: Comparing National Adaptation Strategies, No. 01/2009*, Partnership for European Environmental Research (PEER), Helsinki.
- 15 UNFCCC (2007): *Investment and Financial Flows. To Address Climate Change*, Bonn.
- 16 World Bank Group (2006): *Clean Energy and Development: Towards an Investment Framework, Version April 2006 und Version September 2006*, Washington.
- 17 World Bank Group (2010): *Economics of Adaptation to Climatic Change. A Synthesis Report, Final Consultation Draft, Version August 2010*, Washington.

7.2 Steckbriefe der ausgewerteten Studien zur Abschätzung klimawandelbezogener Kosten

Agrawala, S.; Crick, F., Jetté-Nantel, S.; Tepes, A. (2008): "Empirical Estimates of Adaption Costs and Benefits: A Critical Assessment", In: Agrawala, S.; Fankhauser, S. (Hrsg.): <i>Economic Aspects of Adaption to Climate Change. Costs, Benefits and Policy Instruments</i>, OECD, S.29-84.
Zielstellung
Im Fokus der Studie steht eine Abschätzung der Kosten und des Nutzens von Anpassungsmaßnahmen auf sektoraler Ebene. Ziel dieser Ermittlung ist: (1) diese Informationen Entscheidungsträgern bei der Priorisierung und des Timings von Anpassungsmaßnahmen auf Projektebene zur Verfügung zu stellen und (2) eine monetäre Bewertung der allgemeine Anpassungserfordernisse auf internationaler Ebene vorzulegen.
Annahmen
Die Autoren nehmen an, dass der Klimawandel wesentliche und umfassende Auswirkungen auf die betrachteten Sektoren haben wird. Dabei beziehen sie sich in den Grundannahmen auf die Aussagen des 4. Sachstandsberichts des IPCC (2007). Die betrachteten Studien legen unterschiedliche Klimaszenarien und Zeiträume zu Grunde. Für ausgewählte Studien werden die verwendeten Szenarien tabellarisch dargestellt.
Vorgehen
Die OECD-Studie ist als eine Meta-Analyse angelegt. Sie fasst die Ergebnisse zu Kosten und Nutzenabschätzungen von Anpassungsmaßnahmen sektoraler Studien sowie die Schätzungen aus Studien mit multi-sektorialem und globalem Bezug, darunter Schätzungen von Weltbank, Oxfam, UNFCCC und UNDP, zusammen. Zudem werden, wo verfügbar, auf Länderebene und sektorübergreifend die Kostenabschätzungen für vorrangige Anpassungsaktivitäten ausgewertet, die im Rahmen der „National Adaptation Programmes of Action“ (NAPAs) der „Least Developed Countries“ (LDCs) identifiziert wurden. Die sektorspezifischen Schätzungen beziehen sich auf die Bereiche Landwirtschaft, Küstenzonen, Wasser, Energienachfrage, Infrastruktur, öffentliche Gesundheit und Tourismus.
Ergebnisse
<i>Anpassung im landwirtschaftlichen Bereich</i> Im landwirtschaftlichen Bereich werden Anpassungsmaßnahmen auf Ebene des landwirtschaftlichen Betriebs und auf staatlicher Ebene unterschieden. Zentrale Anpassungsstrategien auf betrieblicher Ebene sind Versicherung gegen Ernteschäden (crop and farm income insurance), Diversifizierung der Produktion, Migration, Produktivitätssteigerung (z.B. durch Düngung oder Bewässerung), Anwendung neuer Produktionstechniken (nachhaltiger Ackerbau). Auf staatlicher Ebene besteht die Möglichkeit, folgende Maßnahmen anzustoßen: Investitionen in Forschung und Entwicklung (z.B. Entwicklung hitzebeständiger Sorten), Werben für die Anwendung neuer Techniken und den effizienten Einsatz vorhandener Ressourcen sowie die Unterstützung bei der Verbreitung von Informationen über die Auswirkungen des Klimawandels und bestehende Anpassungsoptionen. Darüber hinaus kann sichergestellt werden, dass regionale Versorgungsengpässe durch die Einbindung in den internationalen Agrarhandel überbrückbar sind. In der zentralen Studie schätzt McCarl (2007), dass die Kosten für zusätzliche Investitionen in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei bis zum Jahr 2030 ca. 14,23 Mrd. \$ (Anm.: Angabe findet sich nicht in der Originalstudie, vgl. Steckbrief 9) betragen werden. McCarl betrachtet drei Ausgabentypen näher: Investitionen in die (1) klimawandelbezogene landwirtschaftliche Forschung, in die (2) Verbreitung der Forschungsergebnisse und in (3) physisches Kapital (z.B. Bewässerungsanlagen) (für nähere Informationen zur vorgenommenen Berechnung vgl. Steckbrief 9). Die OECD-Autoren bemängeln die mangelnde Fundierung, Erläuterung und Begründung der im Rahmen der Berechnungen getroffenen Annahmen. <i>Anpassung im (Winter)-Tourismusbereich</i> Als Anpassungsmaßnahmen werden in diesem Bereich vor allem künstliche Beschneigung sowie die Ausdehnung oder Verlagerung von Skigebieten in höhere Lagen betrachtet. Bei der Auswertung der vorliegenden Studien wird auf Mathis et al. (2003) verwiesen, die in ihrer Studie zur Entwicklung der Schweizer Skigebiete zu dem Ergebnis kommen, dass eine Ausdehnung in höhere, schneesichere Lagen 25-30 Mio. € kosten würde. Darüber hinaus wird auf die Studie von Hahn (2004) eingegangen, die im Steckbrief 6 vorgestellt wird. <i>Anpassung im öffentlichen Gesundheitssektor</i> Es wird festgestellt, dass nur wenige Informationen zu den zu erwartenden Zusatzkosten in diesem Bereich verfügbar sind. Lediglich eine Studie befasst sich mit den direkten Kosten auf globaler Ebene. Ebi (2007) ermittelt über einen Bottom-up-Ansatz die Behandlungskosten von zusätzlichen (klimawandelbezogenen) Erkrankungen (Durchfall, Mangelernährung, Malaria). Weltweit betragen dies Zusatzkosten bis 2030 demnach 4-5 Mrd. \$. Diese fallen vorwiegend in den Entwicklungsländern an. Die maximalen Kosten werden auf 11-12 Mrd. \$ beziffert.

Anpassung in den Küstenzonen

Es gibt verschiedene Anpassungsstrategien, darunter *geplanter Rückzug* (planned retreat), *Küstenschutz*, *Strandvorspülung* (beach nourishment), *Überflutungs-/Hochwasserschutz* (floodproofing), *Sachversicherungen* sowie *Strategiewechsel in der Wasserbewirtschaftung und Aqua- und Agrarkultur*. Grundsätzlich lassen sich drei Strategietypen unterscheiden:

Schutz: Ziel ist, das Land mittels Errichtung beständiger Strukturen oder Maßnahmen wie Strandvorspülungen vor dem Meer zu schützen.

Anpassung: Angestrebt wird, die gesellschaftliche Anpassungsfähigkeit an ein klimabedingte Extremereignis zu steigern und die Bedingungen so zu gestalten, dass die jeweilige Küstenregion weiterhin bewohnbar und kultivierbar bleibt. Dies kann bspw. erreicht werden durch höher gelegene Bauflächen oder den Anbau von Getreidesorten, die Überschwemmungen mit salzhaltigem Wasser tolerieren.

Rückzug: Im Extremfall wird hierbei der gesamte Küstenbereich aufgegeben. Die potenziellen Auswirkungen einer Überschwemmung o.ä. werden eingegrenzt und somit das mit dem Extremereignis verbundene Risiko reduziert.

Die Autoren weisen auf Einschränkungen der Ergebnissen der Studien hin (vgl. Tabelle) und betonen, dass diese, obwohl die annualisierten Schätzungen der Anpassungskosten für den Küstenschutz für die jeweilige Küstenregion vergleichsweise hoch sind, häufig weniger als 0,1 % des nationalen BIP betragen. Darüber hinaus existieren große regionale Unterschiede. Der relative Anteil der Schutzkosten am BIP ist für kleine Inselstaaten am höchsten.

Anpassungskosten für Küstenschutz - Auswahl für die Regionen Welt und Europa/ehem. Sowjetunion (SU)

Regionen/Länder		Quelle	Erwarteter Meeresspiegelanstieg	Schutzgrad Anteil des geschützten Küstenbereichs	Schutzkosten pro Jahr	Anteil des BIP resp. BSP
Welt	global	Nicholls (2007) (1)	8,9-9,1 cm (bis 2030)	k.a.	4-10,6 Mrd. \$	k.a.
		Tol (2002)	1 m	89% (7)	10,55 Mrd. \$	k.a.
		Tol et al. (1998)	1 m	88% (2)	k.a.	0,056% BSP (5)
Europa/ ehem. SU	OECD Europa	Nicholls (2007) (1)	8,9-9,1 cm (bis 2030) max. 44,4-52,7 cm (bis 2080)	k.a.	0,62-1,79 Mrd. \$	k.a.
	Europa	EC (2007)	geringer Anstieg (B2) hoher Anstieg (A2) Szenarien für 2020 und 2080	k.a.	1,3-4,0 Mrd. € für 2020 1,3-9,3 Mrd. € für 2080	k.a.
	OECD Europa EWG ehem. SU	Tol (2002)	1 m	86% 93%	1,36 Mrd. \$ 0,53 Mrd. \$	k.a.
	Westeuropa	Deke et al. (2001)	1 m	Gesamt	1,6 Mrd. \$	0,02% BIP (4)
	Nord- und Westeuropa	Tol et al. (1998)	1 m	0 (2)	k.a.	0,02% BIP (5)
	Baltische Staaten			0 (2)		0,08% BIP (5)
	Nördlicher Mittelmeerraum Ehem. Sowjetunion			16% (2) 0 (2)		0,02% BIP (5) 0,02% BIP (5)
	Niederlande Polen	Tol et al. (1998)	1 m	95% (2)	k.a.	0,05% BIP (5) 0,02% BIP (5)

(1) Die Studie zeigt die Schutzkosten für einen durchschnittlichen Anstieg des Meeresspiegels im Jahr 2030 und den maximalen Anstieg im Jahr 2080 unter den Szenarien A1B und B1. Die hier dargestellten Kosten zeigen das Minimum und Maximum unter beiden Szenarien und Zeithorizonten. (2) Abnahme in Prozent der Anzahl der „gefährdeten Menschen“ (Bevölkerung in der Risikozone multipliziert mit der Hochwasserwahrscheinlichkeit pro Jahr). (3) Die Zahl der „gefährdeten Menschen“ nimmt zu, weil die Anpassungsmaßnahmen es ermöglichen, dass die Menschen in den Gebieten verbleiben, die sonst nicht mehr besiedelt werden könnten. (4) Anteil am BIP von 1990, der für jedes Jahr zwischen 1990 und 2100 als konstant angenommen wird. (5) Jährlicher, undiskontierter Anteil bei einer Lebensdauer von 100 Jahren. (6) Schutzkosten als Anteil des aktuellen BIP unter den vier SRES-Szenarien A1FI, A2, B1, B2 für 2080.

Anpassung im Wassersektor

In den berücksichtigten Studien wurden Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen untersucht, die darauf abzielen, den Auswirkungen des Klimawandels auf Sicherstellung der Wasserverfügbarkeit, der Versorgungssicherheit und Wasserqualität zu begegnen. Die Studie von Kirshen et al. (2007) untersucht die Kosten zur Gewährleistung der Wasserqualität des Flusses Assabet nahe Boston. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass unter spezifischen Annahmen hinsichtlich des Ausmaßes des Klimawandels und des Bevölkerungswachstums für die Wasseraufbereitung zusätzliche Kapitalinvestitionen von 30-39 Mio. \$ notwendig sind. Hinzu kommt eine Steigerung der jährliche Betriebskosten von 300.000-600.000 \$. Eine weitere Studie (Muller 2007) schätzt die Kosten die Anpassung der städtischen Wasserinfrastruktur in Subsahara-Afrika auf jährlich 2-5 Mrd. \$.

Anpassung im Energiesektor

In der für den Energiesektor vorliegenden Studie von Morrison, Mendelsohn (1999) werden mit einem Top-down-Ansatz unterteilt nach Sektoren und Kraftstoff-/Energieart die Auswirkungen des Klimawandels auf die Energienachfrage in den USA abgeschätzt. Danach ergeben sich bis 2060 zusätzliche Nettoausgaben bspw. durch den steigenden Energiebedarf von 1,93-12,79 Mrd. \$. Bei der Abschätzung der Entwicklung der Energienachfrage wird auch die künftige Entwicklung des Gebäudebestands berücksichtigt indem Szenarien mit und ohne Veränderungen der klimarelevanten Gebäudeeigenschaften. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass, insbesondere auf Grund der Tatsache dass künftige Häuser leistungsstärkere Kühlungssysteme haben werden, die Kosten für die Anpassung steigen. Sie schätzen, dass die Veränderungen im Bereich Bausubstanz und Gebäudeeigenschaften bis 2060 eine Erhöhung der Kosten für die Anpassung um einen Betrag von 2,98-8,57 Mrd. \$ (je nach zu Grunde gelegtem Szenario) zur Folge haben werden.

Eine weitere ausgewertete Studie (Mansur et al. 2005) prognostiziert eine Zunahme des Stromverbrauchs auf Grund der verstärkten Verwendung von Kühlungssystemen. Dies wird nach Schätzung der Studie in Abhängigkeit vom Ausmaß des Klimawandels einen Nettoanstieg der Energieausgaben der USA von 4-9 Mrd. \$ bis 2050 und 16-39,8 Mrd. \$ bis 2100 zur Folge haben.

Zusammenfassend schließt die OECD-Studie aus der vorhandenen Literatur in dem Bereich, dass 1) die Anpassungskosten für die verstärkte Kühlung den Nutzen aus dem abnehmenden Heizbedarf übersteigen werden (zumindest für die USA); 2) die bisherigen Studien eine systematische Untersuchung zu den Effekten der Veränderungen in der Klimavariabilität sowie dazu, ob und wie mögliche Verlagerungen in der Energienachfrage durch Marktkräfte (z.B. über Preise) abgemildert werden könnten, schuldig bleiben; und 3) sich der Trade-off zwischen zunehmender Kühlung vs. verringerter Heizung je nach Land und Region unterschiedlich darstellen wird.

National Adaptation Programmes of Action (NAPAs)

In der Studie wurden die NAPAs von 22 der am wenigsten entwickelten Länder der Welt (LDCs) berücksichtigt. Die veranschlagten Anpassungskosten wurden den folgenden Bereichen zugeordnet: Landwirtschaft, Wasser, Extremereignisse, Küstenregionen, Gesundheit, Infrastruktur, Ökosystem, sektorübergreifende Themen,.

Die Gesamtkosten der in den 22 NAPAs spezifizierten Prioritätsprojekte belaufen sich korrigiert auf ca. 472 Mio. \$. In der Mehrzahl der NAPAs werden die Kosten für prioritäre Anpassungsprojekte von 5-20 Mio. \$ angegeben. Die höchsten Anpassungskosten werden in den NAPAs für Kambodscha (128,9 Mio. \$), Bangladesch (77,4 Mio. \$) und Senegal (77,2 Mio. \$) genannt.

Eine sektorale Auswertung ergibt, dass die höchsten Aufwendungen für Anpassungsmaßnahmen im Landwirtschaftssektor erwartet werden. Für 14 der 22 Länder betragen diese Kosten mind. 30% der Gesamtkosten. Ähnlich relevant ist der Wassersektor. Auf diese beiden Bereiche entfallen ca. 60% der notwendigen Gesamtausgaben. Einige Länder (v.a. Malawi, Samoa) rechnen mit hohen Kosten für die Bewältigung von Extremereignissen. Auf Ebene der individuellen Anpassung reichen die Kostenangaben von 32.500 \$ für ein Projekt zur Wiederherstellung von Siedlungsgebieten an der Küste von Madagaskar bis zu 45 Mio. \$ für ein Projekt zur Verbesserung der Ernährungssicherheit durch Erhöhung der Wasserverfügbarkeit und Verringerung des Risikos von Missernten in Kambodscha.

Anmerkungen

- Grundlage dieser Meta-Analyse sind Studien zu verschiedenen klimawandelbezogenen Kostenaspekten.
- Es wird eine sektoral gegliederte Auswertung der vorliegenden Studien zu Anpassungsoptionen und mit diesen verbundenen Kostenabschätzungen vorgenommen.
- Die Schätzungen beziehen sich auf einzelne Regionen, Länder und Ländergruppen.
- Für die Gruppe der am wenigsten entwickelten Länder wird eine Auswertung der in den vorliegenden NAPAs als prioritär gekennzeichneten Anpassungsprojekte vorgenommen.

Bräuer, I.; Umpfenbach, K.; Blobel, D.; Grünig, M.; Best, A.; Peter, M.; Lückge, H. (2009): <i>Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen?</i> Ecologic, Berlin.
Zielstellung
Abschätzung der langfristigen Auswirkungen des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen in Deutschland.
Annahmen
In dem Teil der Studie, der versucht Anpassungskosten zu quantifizieren, wird angenommen, dass die erwartete Zunahme der Starkregenereignisse eine Anpassung der Entwässerungssysteme notwendig macht. Für die Berechnung des zusätzlichen Investitionsbedarfs wurden aktuelle Schätzungen des Deutschen Instituts für Urbanistik (difu) hinsichtlich der im Zeitraum 2006-2020 in diesem Bereich zu erwartenden Investitionen als Grundlage verwendet. Die Annahmen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Klimas basieren auf dem 4. Sachstandsbericht des IPCC.
Vorgehen
Die Ergebnisse der Klimamodellierungen der Modelle WETTREG und REMO wurden für Deutschland ausgewertet und sektorspezifisch auf ihre Konsequenzen für die öffentlichen Finanzen hin untersucht. Vorgehen bei der Schätzung der Anpassungskosten im Wassersektor: Ausgehend von den Überlegungen des difu bezüglich der im Bereich der Abwasserentsorgung für den Zeitraum 2006-2020 zu erwartenden Investitionen von 58,2 Mrd. € wurde zunächst der durchschnittliche jährliche Investitionsbedarf von 3,9 Mrd. € bestimmt. Dann wurde über eine Zuschlagsrechnung ein minimaler Zusatzaufwand von 1% und ein maximaler zusätzlicher jährlicher Investitionsbedarf von 20% ermittelt.
Ergebnisse
Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass der Klimawandel bis 2100 Zusatzkosten und Mindereinnahmen für die öffentliche Hand von 27-120 Mrd. €, d.h. 0,6-2,5% des BIP verursachen wird. Die Auswirkungen bis 2050 seien nicht eindeutig zu bestimmen. Es könne zu einer Belastung von bis zu 0,25% des BIP oder auch – durch mögliche positive Effekte des Klimawandels – zu einer Nettoentlastung kommen. Ergebnisse der Kostenschätzung im Wassersektor: Bei der Abschätzung der durch die Anpassung an den klimawandelbedingten Mehrausgaben im Bereich der Abwasserentsorgung wird als untere Grenze ca. 40 Mio. € (1% der geplanten Investitionen) und als obere Schätzung ca. 780 Mio. € (20% der geplanten Investitionen) ermittelt. Unter der Voraussetzung, dass etwa 75% dieser Mehrinvestitionen über Gebühren finanziert werden können, ergäbe sich eine direkte Belastung der öffentlichen Haushalte von 10-190 Mio. € jährlich.
Anmerkungen
• Die Studie beschäftigt sich u.a. mit den zu erwartenden Anpassungskosten an den Klimawandel. • Die Kostenabschätzung wird für einen sehr speziellen Bereich (Abwasserentsorgung) des Wassersektors auf gesamtdeutscher Ebene vorgenommen. • Es wird darauf verzichtet, konkrete Anpassungsnotwendigkeiten mittels eines Bottom-up-Verfahrens zu ermitteln. • Stattdessen werden die Anpassungskosten ähnlich wie bei McCarl (2007) (vgl. Steckbrief 9) über Klimazuschläge auf prognostizierte Investitionsvolumina bestimmt.

Dlugolecki, A. (2007): "The Cost of Extreme Events in 2030", A Report for United Nations Framework Convention on Climate Change.

Zielstellung

Die Studie prognostiziert die ökonomischen Schäden, die weltweit bis zum Jahr 2030 auf klimabedingte Katastrophen und Extremereignisse zurückzuführen sind.

Annahmen

Im Zuge des Klimawandels kommt es zu einer Zunahme von extremen Witterungsereignissen, die Schäden verursachen. Diese können ökonomisch bewertet werden. Es wird anerkannt, dass Anpassungsmaßnahmen diese Schäden verringern, jedoch nicht gänzlich verhindern können.

Vorgehen

Für die Kostenabschätzungen für die Extremereignisse bis 2030 wertet Dlugolecki Versicherungsschadenswerte aus folgenden fünf Quellen aus: Association of British Insurers (ABI), Münchner Rück, Risk Management Solutions (RMS), Swiss RE, Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)

Die Definition von Extremereignissen bleibt unspezifisch. So ergeben sich bspw. die Kostenobergrenzen der Schätzung aus sämtlichen klimabedingten Schadensereignissen. Diese lassen sich von Extremereignissen aufgrund der Häufigkeit und Schadensstärke unterscheiden (Anpassungsfaktor: 2,45). Betrachtet werden nur die direkten ökonomischen Schäden. Aufgrund der unterschiedlichen Datenbasis werden die Kostenschätzungen anhand von 3 verschiedenen Ansätzen durchgeführt. Es werden 3 Projektionsmethoden für die Berechnung der zukünftigen Schäden verwendet: der implizite Ansatz (implicit approach), der durch Projektionen fundierte Ansatz (explicit basis projections) und der Verbund-Ansatz (composite method).

Der implizite Ansatz liefert auf Datenbasis der Münchner Rück eine ungefähre Trendschätzung, ohne vollständige Berücksichtigung der regionalen und kausalen Faktoren oder Veränderungen klimatischer Muster (6% Kostensteigerung pro Jahr). Dabei ist eine hohe Variabilität der effektiven Schäden zu beobachten. In einem von drei Jahren werden die Kosten um 50% bzw. seit 1990 in einem Fünftel der Fälle um mehr als das Doppelte überschritten (vgl. Tabelle).

Auf der Grundlage der Annahme von RMS, dass die Schadenssumme klimabedingt jedes Jahr um 2% wachsen wird, werden beim Verbund-Ansatz verschiedene Anpassungsfaktoren berechnet und so die reale Belastung bis 2030 extrapoliert.

Diese beiden Vorgehen nutzen Extrapolationen (Trendanalysen) auf Basis bestehender Schadensereignis-Datensätze und lediglich implizit Klimamodelle.

Der durch Projektionen fundierte Ansatz berücksichtigt die Schadensentwicklung aufgrund von modellierten klimabedingten Schadensereignisse (SRES A1 und B1). Dabei wird die Wirkung von Klimaänderungen auf Schadenstypen und Regionen durch Klimamodelle abgebildet und mit der ökonomischen Entwicklung in Form des BIP verbunden. Auf diese Weise werden die Schadenskosten oft unterschätzt, da globale Klimamodelle nicht für die Abschätzung der Folgen von Extremereignissen entwickelt wurden.

Ergebnisse

Aufgrund der drei unterschiedlichen Vorgehen, kommt Dlugolecki zu einer Spanne von erwarteten Schadenskosten. Diese beziehen sich auf das Jahr 2030 (Basisjahr 2006).

Ansatz	Szenario	Schäden auf Grund von Extremereignissen in Mrd. \$ (2030)	Schäden auf Grund von Extrem- und Basisereignissen in Mrd. \$ (2030)	Prognose BIP in Mrd. \$ (2030)
Impliziter Ansatz mit Berücksichtigung von zeitlichen Schwankungen	ähnlich SRES A1	390	955	90.721 (A1)
		500 (Wahrscheinlichkeit 1:3) 600 (Wahrscheinlichkeit 1:5)		
Verbund-Ansatz	SRES A1	431	1056	90.721
	SRES B1	349	856	76.440
durch Projektionen fundierte Ansatz	SRES A1	305	747	90.721
	SRES B1	251	616	76.440

Die Schadensereignisse treten zeitlich „geclustert“ auf, d.h. in Abhängigkeit von den für die Schätzung verwendeten Daten verringern (weniger Schäden in den 1980er Jahren) bzw. erhöhen sich (mehr Schäden in den 1990er Jahren) die prognostizierten Kosten.

Dlugolecki nimmt an, dass durch das zunehmende Auftreten von Schäden nach 2015 v.a. im nicht-infrastrukturellen Bereich Investitionen in Anpassungsmaßnahmen getätigt werden. Er geht daher davon aus, dass dieser „partiellen Anpassungsansatz“ bis 2030 die erwarteten Schäden um 25% reduzieren wird.

Vor diesem Hintergrund schätzt er jeweils unter Beachtung der Schadensreduktion durch Anpassungsmaßnahmen die durch Extremereignisse im Jahr 2030 verursachten Schäden auf 260-540 Mrd. \$. Die klimawandelbezogenen Schäden für das Jahr 2030 werden auf 640-1.000 Mrd. \$ geschätzt.

Die Versicherungskosten gegen Extremereignisse bzw. gegen Extrem- und Basisereignissen schätzt Dlugolecki auf 100 resp. 450 Mrd. \$. Eine Absicherung gegen derartige Extremereignisse bedarf einer engen Kooperation von öffentlicher Hand und privaten Versicherern. Die hierfür zu ergreifenden Maßnahmen sollten sich nicht nur an klassischen Versicherungsinstrumenten orientieren, da die Gefahr eines Marktversagens in diesem Bereich sehr groß ist.

Anmerkungen

- Die Studie schätzt die Schäden, die durch klimawandelbedingte Extremereignisse global verursacht werden.
- Dabei wird ein Top-down-Verfahren verwendet.
- Als Datengrundlage dienen Versicherungsschadenswerte.
- Anpassung an den Klimawandel wird lediglich über deren schadenmindernden Effekt in Form eines 25-prozentigen Abschlags von den erwarteten Schäden berücksichtigt.

European Environmental Agency (2007): "Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation", <i>EEA Technical Report 13/2007</i> , Copenhagen.
Zielstellung
Der Bericht diskutiert die ökonomischen Kosten des Klimawandels, um eine informierte Diskussion geeigneter klimapolitischer Entscheidungen und Programme zu ermöglichen und Forschungslücken aufzudecken; besondere Berücksichtigung finden dabei methodische Aspekte. Der Fokus liegt auf Europa bzw. europäischer Klimapolitik.
Annahmen
Es wird von den bereits sichtbaren und entsprechend des 4. Sachstandsberichts des IPCC für die Zukunft erwarteten Klimaveränderungen ausgegangen. Die Auswirkungen dieser Veränderungen verursachen in den verschiedenen Sektoren und Regionen ökonomische Kosten. Neben den Kosten des Nicht-Handelns sind dabei auch durch Anpassungsmaßnahmen verursachte Kosten zu berücksichtigen. Diese sind vor dem Hintergrund des bereits fortgeschrittenen Stadiums des Klimawandels trotz erfolgreicher Mitigationsmaßnahmen unabdingbar.
Vorgehen
Der EEA-Bericht ist eine Meta-Studie. Es werden die ökonomischen Kosten des Klimawandels auf europäischer Ebene entlang der betroffenen Sektoren auf der Grundlage vorhandener Ergebnisse aus Studien, Fachliteratur, politischen Programmen und Maßnahmen und Versicherungsstudien erfasst. Ferner wird ein systematischer (und tabellarischer) Überblick über die Schwerpunkte und die Foki der untersuchten Studien gegeben. Die Auswertung deren methodischen Vorgehens und der verwendeten Konzepte der Kostenabschätzung sind von zentraler Bedeutung. Anhand von 3 (2) Fallbeispielen wird eine anpassungsbezogene Kostenabschätzung dokumentiert.
Ergebnisse
Als Ergebnis der Auswertung der Studien kommt der EEA-Bericht zum Schluss, dass bei der Ermittlung der Anpassungskosten folgende Aspekte zu beachten sind: <i>Typen der Anpassung: autonom vs. geplant</i> Während ein wesentlicher Teil der Anpassung privat und autonom, d.h. über Markt vermittelt, geleistet werden wird, muss der Staat die Umsetzung von Maßnahmen gewährleisten, die den Charakter eines öffentlichen Guts tragen (geplante Anpassung); dazu zählen sowohl Anpassungsmaßnahmen im engeren Sinne, wie Infrastrukturanpassungen, als auch eine die privaten Anpassungsprozesse fördernde Ausgestaltung („facilitating adaptation“) des rechtlichen und normativen Rahmens. <i>Arten der Anpassungskosten</i> Unterschieden werden drei Arten: • Direkte Kosten, die bei der Implementierung einer bestimmten Maßnahme zur Anpassung entstehen. • Kosten zur Beförderung der allgemeinen Anpassungsfähigkeit. • Kosten des Übergangs, die im Verlauf des Anpassungsprozesses anfallen. <i>Grad und Zeitpunkt der Anpassung</i> Bei der Wahl zwischen reaktiver und antizipierender Anpassung, d.h. Handeln bevor oder nachdem bestimmte Klimafolgen eingetreten sind, ist zu berücksichtigen, ob die Anpassung an eine graduelle Veränderung des Klimas oder an wenig wahrscheinliche bzw. unvorhersehbare Extremereignisse erfolgen soll. Grundsätzlich spielen hierbei die Machbarkeit sowie die Kosten der Anpassungshandlung eine Rolle. Die Festlegung des Grades, zu dem angepasst werden soll, muss auf einer Abwägung von Kosten und Nutzen beruhen, wobei nicht nur ökonomische Kosten und Nutzen Berücksichtigung finden sollten. Die Entscheidung wird allerdings dadurch erschwert, dass aufgrund der großen prognostischen Unsicherheit belastbare Aussagen bezüglich der zukünftigen klimatischen Entwicklung nur bedingt möglich sind. Leichter zu begründen sind hingegen sogenannten No-Regret-Maßnahmen, deren Durchführung entweder wegen ihrer Kostenfreiheit oder durch ihre klimawandelunabhängigen vorteilhaften Auswirkungen auch dann nicht bereut werden muss, wenn die aktuell erwarteten klimatischen Veränderungen so nicht eintreten sollten. Die Wahl des Zeitpunkts der Durchführung der Anpassungsmaßnahme orientiert sich (in Anlehnung an Fankhauser 2006) an drei Prinzipien: 1) In Anbetracht der Kosten von Anpassungsmaßnahmen ist im Allgemeinen späteres Handeln frühzeitigen Aktionen vorzuziehen. 2) Frühes Handeln kann gerechtfertigt werden, wenn die Anpassungsmaßnahmen einen unmittelbaren, schon kurzfristig eintretenden Nutzen bzw. wichtige Nebeneffekte haben.

- 3) Frühzeitig durchgeführte Anpassungsmaßnahmen können darüber hinaus gerechtfertigt werden, wenn diese langfristig und dauerhaft (positive) Effekte sicherstellen, wie z.B. die Vermeidung von nachhaltigen, nicht wiedergutmachbaren Schädigungen von Ökosystemen.

Neben dem Aspekt der zeitlichen Wirksamkeit (nachhaltig vs. kurzzeitig wirksam) kann auch die räumliche Reichweite (lokal begrenzt oder weitreichend) als weiterer Aspekt in eine Kosten-Nutzen-Analyse eingehen.

Günstige Nebeneffekte der Anpassung

Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel haben häufig günstige Nebeneffekte; z.B. verringern viele Maßnahmen auch die Vulnerabilität gegenüber aktuellen Klimaschwankungen.

Fragen der Verteilung

Während Mitigation allen Sektoren und Regionen zu Gute kommen (und ein öffentliches Gut darstellt), sind Effekte von öffentlichen und privaten Maßnahmen zur Anpassung i.d.R. lokal oder regional begrenzt. Gleichzeitig existiert ein Ungleichgewicht: arme Regionen, die besonders klimavulnerabel sind, haben weniger Ressourcen zur Verfügung, um Anpassungsmaßnahmen aus eigener Kraft durchzuführen. Ein Zusammenhang zwischen der wirtschaftlichen Entwicklung und dem Anpassungsvermögen eines Landes an klimatischen Änderungen ist daher plausibel. Entsprechend müssen Fragen der Verteilungsgerechtigkeit bzw. des finanziellen Ausgleichs geklärt werden.

In der sektoralen Auswertung der untersuchten Studien werden die ökonomischen Kosten überwiegend als Ganzes ausgewiesen. Anpassung spielt in der Kostenschätzung dahingehend eine Rolle, als dass sie die Kosten des Nicht-Handelns reduziert. In zwei der vorgestellten Fallstudien werden allerdings genauere Angaben zu Anpassungskosten gemacht:

Anpassung an zunehmende Hochwassergefahr in den Niederlanden

Die Studie widmet sich dem neuen Ansatz in der Hochwasserpolitik der Niederlande, die langfristige klimawandelbezogene Entwicklungen und Risiken nun stärker berücksichtigt. Über die Fokussierung auf traditionelle Hochwasserschutzmaßnahmen, wie Deichverstärkungen, hinaus werden nun verstärkt mögliche räumliche Anpassungen in Betracht gezogen. Die Studie berechnet die Anpassungskosten für Hochwasserschutz entlang des Rheins. Ergebnis ist, dass ein optimaler Hochwasserschutz die Flutschäden über den Verlauf des 21. Jahrhunderts hinweg von 39,9 Mrd. € auf 1,1 Mrd. € reduzieren würde. Die Kosten hierfür würden ca. 1,5 Mrd. € betragen.

Anpassung an Meeresspiegelanstieg in der Fondi Ebene, Italien

Die Fallstudie analysiert, welches die effizienteste Maßnahme für die Anpassung an den erwarteten Anstieg des Meeresspiegels in der Fondi Ebene wäre, indem sie zwei Alternativen – den Ausbau des existierenden Drainagesystems und den Wiederaufbau einer Düne entlang der Küste – der „No-Intervention“-Option entgegenstellt. Ergebnis ist, dass der Ausbau des Drainagesystems mit 50–100 Mio. € am effizientesten wäre; die No-Intervention-Option würde hingegen Kosten von 130–270 Mio. € verursachen.

Anpassung im landwirtschaftlichen Sektor in der Slowakischen Republik

Finanzielle Restriktionen wurden als Haupthindernis für langfristige Anpassungsplanungen landwirtschaftlicher Produzenten ermittelt.

Anmerkungen

- Die Meta-Studie behandelt konzeptionelle Fragen der ökonomischen Anpassungsforschung.
- Sie stellt anhand von 3 ausgewählten empirischen Beispielen dar, wie eine Abschätzung von Anpassungskosten praktisch durchgeführt werden kann.

Hahn, F. (2004): „Künstliche Beschneigung im Alpenraum - Ein Hintergrundbericht“, <i>alpMedia Hintergrundbericht</i> , Dezember 2004, Schaan.
Zielstellung
Die Studie betrachtet ökologische und ökonomische Aspekte der künstlichen Beschneigung im Alpenraum. In diesem Zusammenhang werden deren Ressourcenverbrauch und die damit verbundenen Kosten analysiert sowie die Auswirkungen der künstlichen Beschneigung auf die Umwelt diskutiert.
Annahmen
In den Alpen wird heute ca. ein Viertel der gesamten Pistenfläche mit stark zunehmender Tendenz beschneit. Im Zuge des Klimawandels ist mit einer Ausweitung des Anteils der beschneibaren Pisten an den Gesamtpisten zu rechnen. Beschneiungsanlagen werden in immer größeren Höhen, z.T. sogar auf Gletschern, installiert. Dadurch werden die ökonomischen Aufwendungen hierfür zunehmen und die negativen ökologischen Auswirkungen immer gravierender. Die Schneesicherheit nimmt im gesamten Alpenraum ab.
Vorgehen
Die Studie gibt u.a. einen Überblick über die Investitions- und Unterhaltungskosten von Beschneiungsanlagen. Hierfür werden Daten aus der Schweiz, Österreich und Frankreich ausgewertet und Kostenangaben für konkrete Skigebiete ermittelt. Auf Grundlage dieser Angaben sind Extrapolationen bspw. der Aufwendungen für die künstliche Beschneigung in den deutschen Alpen möglich.
Ergebnisse
Die Investitionskosten für eine beschneibare Piste betragen 136.000-144.000 €/ha. Die Betriebskosten belaufen sich inkl. Abschreibungen, Energieaufwendungen und Personalkosten auf 3-5 €/m ³ Kunstschnee (Stand 2004). <i>Fallbeispiel Schweiz:</i> Etwa 10% der insgesamt in den Alpen beschneibaren Pisten liegen in der Schweiz. Die Investitionskosten betragen ca. 650.000 €/km und die Betriebskosten bspw. im Kanton Wallis durchschnittlich 33.000 €/km p.a. Bis 2004 wurden rund 330 Mio. € in Beschneiungsanlagen investiert, womit 2.300 ha Skipiste beschneit werden können. Daraus folgt, dass in der Schweiz je Hektar beschneibare Piste durchschnittlich 143.000 € in Beschneiungsanlagen investiert wurden. <i>Fallbeispiel Österreich:</i> Etwa 38% der insgesamt in den Alpen beschneibaren Pisten liegen in Österreich. Die Fläche der beschneibaren Pisten wird auf 9.200 ha geschätzt. In der Saison 2002/03 wurden 128 Mio. € und in der Saison 2003/04 176 Mio. € in Beschneiungsanlagen investiert. Das Investitionsvolumen von 1995 bis 2003 betrug ca. 800 Mio. €. <i>Fallbeispiel Frankreich:</i> Etwa 11% der beschneibaren Pisten in den Alpen, d.h. ca. 2.650 ha, liegen in Frankreich. Zwischen 1990 bis 2004 wurde insgesamt ca. 500 Mio. € in Beschneiungsanlagen investiert. Allein 2004 waren es 60,5 Mio. €. <i>Fazit für den gesamten Alpenraum:</i> Die in den Alpen für die geschätzten 23.840 ha beschneibare Pisten installierten Beschneiungsanlagen haben ein Investitionsvolumen von über 3 Mrd. €. Die Investitionskosten wurden bislang zum Großteil von Seilbahnunternehmen getragen, diese fordern aber eine verstärkte Beteiligung der öffentlichen Hand und der gesamten Tourismusbranche. <i>Übertragung auf Deutschland:</i> Etwa 2% der insgesamt in den Alpen beschneibaren Pisten liegen in Deutschland (Bayern). An Anteil von 10% der Gesamtpistenfläche, d.h. 380 ha sind beschneibar. Unter Verwendung der Investitionsangaben aus den übrigen Alpenländern kommt man zu dem Schluss, dass in Deutschland zwischen 51,5 und 55 Mio. € in Beschneiungsanlagen investiert wurden.

Anmerkungen
• Die Abschätzung von Anpassungskosten an den Klimawandel wird bezogen auf eine Einzelmaßnahme im Tourismusbereich implizit behandelt. Sie steht nicht ausdrücklich im Fokus der Studie. • Die Investitionskosten der Beschneiungsanlagen in den deutschen Alpen lassen sich durch Übertragung der Kostenangaben aus den übrigen Alpenländern, die in einem Bottom-up-Verfahren ermittelt wurden, abschätzen.

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2005): *Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen, INKLIM 2012 Projektbaustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen, Abschlussbericht.*

Zielstellung

Ziel des Integrierten Klimaschutzprogramms Hessen 2012 (INKLIM 2012) ist die Bereitstellung von Basisinformationen zum Klimaschutz bis 2012 sowie die Untersuchung des regionalen Klimawandels und seiner Folgen für Hessen. In diesem Rahmen sollen entsprechende Instrumente und Maßnahmen für den regionalen Klimaschutz entwickelt sowie in Abhängigkeit von verschiedenen Szenarien die damit verbundenen Kosten abgeschätzt werden.

Annahmen

Für die Klimaentwicklung in Hessen bis 2100 wird das SRES-Szenario B2 zugrunde gelegt. Bereits beobachtbare Folgen des Klimawandels sind z.B. die Zunahme der Hochwassergefahr im Winter und extreme Niedrigwasserstände im Sommer mit negativen Auswirkungen für die Schifffahrt, den Betrieb von Großkraftwerken und die Einleitung aus Kläranlagen. Während einerseits mit der Zunahme der Grundwasserneubildungsraten und Grundwasserstände gerechnet wird, werden andererseits für die Landwirtschaft sowohl eine stärkere Variabilität der Erträge als auch sinkende Gesamterträge erwartet. Eine Zunahme der Trocken- und Hitzeperioden im Sommer stellt zudem die Forstwirtschaft vor neue Herausforderungen; besonders flach wurzelnde Bäume wie die Fichte werden als gefährdet betrachtet.

Vorgehen

INKLIM 2012 besteht aus 3 Bausteinen:

Baustein I: Grundlagen und technisch-wirtschaftliche Szenarien 2005/2012

Baustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen

Baustein III: Instrumente, Kosten und Maßnahmen

Im Rahmen von Baustein II werden Folgen, Maßnahmen und Kosten des Klimawandels für den Obstbau in Hessen ermittelt. Die Diskussion möglicher Anpassungsmaßnahmen wird unter Berücksichtigung von Schätzungen der mit diesen verbundenen Kosten geführt. Als Referenz für die zukünftige Entwicklung der Erderwärmung werden Datenreihen ab 1900 ausgewertet. Für die Erstellung einer Klimamodellierung für Hessen bis zum Jahr 2100 wird das SRES-Szenario B2 und die Ergebnisse des Klimamodells ECHAM4/OPYC3 mit einem wetterlagenbasierten statistischen Regionalisierungsverfahren genutzt. In die integrierte Szenarioanalyse gehen neben den politischen Rahmenbedingungen auch ökonomische, demographische und technologische Entwicklungen ein. Die betrachteten klimatischen Parameter sind Temperatur, Niederschläge, Extremereignisse und Transwetterlagen.

Die Abschätzung der im Obstbau in Hessen zu erwartenden Anpassungskosten nutzt ein Bottom-up-Verfahren, das eine Bewertung von als relevant erachteten Einzelmaßnahmen vornimmt und diese Kosten aggregiert.

Ergebnisse

Maßnahmen zum Frostschutz

Die praxisübliche Frostschutzberechnung kann mit einer Vegetationsberechnung kombiniert werden. Auf diese Weise kann dem Risikofaktor Trockenheit begegnet werden. Die jährlichen Kosten für den Aufbau und den Betrieb von Bewässerungsanlagen belaufen sich auf 550-5.500 € pro Hektar. Für die gesamte hessische Baumobst- und Erdbeeranbaufläche ist ein jährlicher Aufwand von 0,5-5,9 Mio. € zu veranschlagen.

Maßnahmen zum Schutz vor Hagel

Die negativen Auswirkungen einer möglichen Zunahme extremer Niederschlagsereignisse in Form von Hagel können durch die Anbringung von Hagelschutznetzen verhindert oder verringert werden. Der Schutz eines Hektars verursacht bei einer Laufzeit von 15 Jahren Kosten von 1.100-1.300 € p.a. Für den Schutz der gesamten hessischen Stein- und Kernobstfläche von ca. 540 ha belaufen sich die jährlichen Kosten auf 0,6-0,7 Mio. €.

Maßnahmen zum Schutz vor Regen

Die zu erwartenden Veränderungen der Niederschlagsentwicklung sind für den Obstbau eher negativ zu bewerten; starke Niederschläge im Zeitraum der Ernte können bei Beerenobst und Kirschen zu starken Beschädigungen führen. Die Anschaffung von Regenschutzkappen ist mit hohen Investitionskosten verbunden; für einen Hektar liegt die jährlichen Kosten bei einer Laufzeit von 15 Jahren bei etwa 4.400 € (ohne Berücksichtigung von Zinseffekten).

Für die Ausstattung der hessischen Steinobstfläche von 194 ha mit Regenschutzkappen wären somit jährliche Aufwendungen von etwa 850.000 € notwendig. Hinzu kämen noch Kosten für den Schutz der mit Strauchbeerenobst bewirtschafteten Flächen.

Maßnahmen zum Schutz vor Wind

Windschutzhecken werden als geeignete Anpassungsmaßnahme betrachtet. Die Kosten für deren Anlage können allerdings nicht exakt beziffert werden.

Maßnahmen zum Schutz vor Sonnenbrand

Die steigenden Temperaturen und die zunehmende Sonneneinstrahlung erhöhen das Sonnenbrandrisiko. Durch den Einsatz von Bewässerungsanlagen und/oder Hagelschutznetzen würden bereits indirekte Maßnahmen zur Schattierung und Kühlung umgesetzt. Unter dieser Voraussetzung würden keine zusätzlichen Kosten entstehen.

Schutz aller Anbauflächen gegen alle Risiken

Müssten alle hessischen Obstbauflächen gegen alle Risiken durch Witterungseinflüsse geschützt werden, wären jährliche Kosten von etwa 7,5 Mio. € zu erwarten.

Anmerkungen

- Die Studie analysiert unter Nutzung eines Bottom-up-Verfahrens die durch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel verursachten Kosten für den Obstbau in Hessen.

International Monetary Fund (2008): <i>The Fiscal Implications of Climate Change</i> , Fiscal Affairs Department IMF, Washington
Zielstellung
Der IWF-Bericht betrachtet die fiskalischen Implikationen des Klimawandels und damit einhergehend die potenzielle Rolle des Internationalen Währungsfonds. Der Fokus liegt dabei auf Entwicklungsländern bzw. den Kosten, die den Industrieländern entstehen, wenn diese die einkommensschwachen aber stark betroffenen Länder im Rahmen der Entwicklungshilfe bei der Anpassung unterstützen. Der Bericht stellt die seiner Ansicht nach zentralen Aspekte der fiskalischen Implikationen von Anpassung vor und beleuchtet die Rolle des Staates im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel.
Annahmen
Der IWF geht davon aus, dass die Länder, die am härtesten getroffen werden, zugleich die geringste Kapazität zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels haben. Der Klimawandel wird sowohl Einfluss auf das Steueraufkommen als auch auf die zu tätigen öffentlichen Investitionen haben. Diese fiskalischen Auswirkungen werden in verschiedenen IWF-Mitgliedsstaaten unterschiedlich ausfallen. Die Internalisierung der negativen externen Effekte setzt aus Sicht des IWF ein Mindestmaß an internationaler Kooperation im fiskalischen Bereich voraus. Die erfolgreiche Koordination politischer Handlungen wird durch die spezifischen Merkmale des Klimawandels zusätzlich erschwert; dazu gehören intertemporale Diskrepanz zwischen frühzeitig auftretenden Kosten von Maßnahmen und deren zeitlich nachgelagerten Nutzen, große Unsicherheiten und Irreversibilitäten (einschließlich dem Risiko von Katastrophen) sowie Asymmetrien in der Vulnerabilität zwischen den verschiedenen Ländern.
Vorgehen
Die Autoren verschaffen sich einen Überblick über die bereits vorliegenden Studien sowie die in diesen ermittelten Anpassungskosten. Aus den Ergebnissen der UNFCCC-Studie (2007) leiten die Autoren für vier Sektoren – Agrarsektor mit Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei, Wasserversorgung, Gesundheit und Küstenschutz – die Kostenverteilung zwischen öffentlichem und privatem Sektor ab. Während der Agrarsektor vorwiegend in privater Hand ist und hier der Anteil für öffentliche Investitionen am geringsten ausfällt (ca. 14,5%), müssen die Anpassungskosten beim Küstenschutz ausschließlich von der öffentlichen Hand getragen werden. Im Bereich der Wasserversorgung entfällt der größte Teil der Anpassungskosten auf den Staat (ca. 77%). Bei der Gesundheitsversorgung übernehmen beide Seiten etwa die Hälfte der anfallenden Kosten. Der Bericht diskutiert darüber hinaus die Rolle des Staates im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel.
Ergebnisse
Die Auswertung der vorliegenden Studien ergibt, dass die Datenlage zu den erwarteten Aufwendungen für Anpassungsmaßnahmen und den durch die öffentliche Hand zu tragenden Kostenanteil insbesondere im Fall der einkommensschwachen Länder unzureichend ist. Eine der wenigen vorliegenden Studien legt für die 15 am stärksten betroffenen Länder eine Kostenabschätzung für Küstenschutzmaßnahmen gegen den Anstieg des Meeresspiegels vor (Nicholls, Tol 2006). Die Kosten werden als Anteile des BIP angegeben. Eine Differenzierung zwischen öffentlichen und privaten Kosten wird hierbei nicht vorgenommen. Eine Studie der Weltbank (2006) zu den Kosten für das „Climate-proofing“ von Investitionen in den Entwicklungsländern rechnet hierfür mit einem Betrag von 10-40 Mrd. \$ pro Jahr. Die UNFCCC-Studie (2007) schätzt die zusätzlichen jährlichen Investitionen in den Bereichen Landwirtschaft, Gesundheit, Wasser- und Küstenschutz bis 2030 auf ca. 40 Mrd. \$. Unter der Annahme, dass etwa die Hälfte der Anpassungskosten im öffentlichen Sektor anfallen werden, ergibt dies eine Summe von ca. 20 Mrd. US \$ p.a. Hinsichtlich der Rolle des Staates im Anpassungsprozess wird betont, dass eine effiziente Anpassung im Privatsektor bestimmter staatlicher Interventionen zur Sicherstellung und Förderung der autonomen Anpassung über den Markt bedarf. Das gilt im Besonderen für die Bereitstellung grundlegender öffentlicher Güter, wie Informationen hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels oder der Unterhaltung elementarer Infrastrukturen. Angeregt wird, den Abbau von Hindernissen der privaten Anpassung bspw. durch Förderung privater Versicherungen voranzutreiben. Die Studie resümiert, dass Anpassung zu einem entscheidenden Teil autonom durch Privatpersonen erfolgen wird und der Staat diesen Prozess in vielerlei Hinsicht befördern kann.
Anmerkungen
• Meta-Studie, die aus den Ergebnissen vorliegender Studien zu den Anpassungskosten an den Klimawandel die Kostenverteilung zwischen privatem und öffentlichem Sektor ableitet. • Betrachtet werden diverse Sektoren in einkommensschwachen Entwicklungsländern.

Kemfert, C. (2008): „Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten“, *DIW Wochenbericht* 12-13/2008, S. 137-142.

Kemfert, C. (2007): „Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden“, *DIW Wochenbericht* 11/2007, S. 165-169.

Zielstellung

Die Studien des DIW schätzen die durch den Klimawandel verursachten ökonomischen Kosten bis zum Jahr 2050 für Gesamtdeutschland sowie für die einzelnen Sektoren und Bundesländer.

Annahmen

Grundannahme ist, dass bei einer weiteren Zunahme der CO₂-Emissionen die Temperaturerhöhung die kritische Marke von 2°C übersteigen wird und es infolgedessen zu einer Zunahme der weltweiten Extremwetterereignisse (Stürme, starke Niederschläge, Überflutungen, heiße Sommer) kommen wird. Ausgangspunkt für die Simulationen ist ein Anstieg der Erdoberflächentemperatur von 2°C bis 4,5°C.

Vorgehen

Die DIW-Studien basieren zum überwiegenden Teil auf dem globalen Simulationsmodell WIAGEM, das ein dynamisches Handelsmodell mit einem vereinfachten Klimamodell und Ökosystemmodell koppelt. Das Modell simuliert so die volkswirtschaftlichen Auswirkungen bis zum Jahre 2100 unter dem Einfluss von Klimaveränderungen. WIAGEM basiert auf 25 Weltregionen, die in 11 Handelsregionen mit je 14 Sektoren zusammengefasst werden. Die Handelsverflechtungen werden auf der Grundlage eines intertemporalen allgemeinen Gleichgewichtsmodells repräsentiert und beinhalten die internationalen Märkte für Öl, Kohle und Gas. Im Modell berücksichtigt sind alle klimarelevanten Treibhausgase, Meeresspiegelveränderungen sowie die geschätzten zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels. Mögliche Anpassungskosten werden auf Basis von „Gefährdungsindikatoren“ sektorspezifisch geschätzt.

Ergebnisse

Auf der Basis des WIAGEM Modells belaufen sich die prognostizierten Kosten des Klimawandels für Deutschland bis zum Jahr 2050 im Falle einer Klimaerwärmung um 4,5°C auf ca. 800 Mrd. €. Diese Bewertung der Kosten des Klimawandels decke sich der Autorin zufolge mit Schätzungen verschiedener Studien des Umweltbundesamtes.

Die Kosten des Klimawandels bis 2050 für die deutsche Volkswirtschaft lassen sich wie folgt aufschlüsseln:

Kosten in Mrd. € zu konstanten Preisen	bis 2015	2016-2025	2026-2050	Summe
Energiekosten	38,4	110,3	147,2	259,9
davon				
• Private Haushalte	18,2	45,6	3,9	
• Bergbau	2,5	6,3	8,8	
• Verarbeitendes Gewerbe	4,8	12,0	16,8	
• Land- und Forstwirtschaft	1,9	3,1	3,9	
• Handel Gewerbe und Verkehr	4,4	8,4	19,7	
• Finanzierung, Unternehmensdienstleistungen	5,3	29,5	26,6	
• Gesundheit	1,2	5,4	7,5	
• Baugewerbe	0,00	0,01	0,01	
Kosten der Schäden durch Klimawandel	47,7	121,5	162,3	331,5
davon				
• Private Haushalte	11,8	15,4	20,7	
• Bergbau	1,3	2,2	3,2	
• Verarbeitendes Gewerbe	10,5	31,4	41,9	
• Land- und Forstwirtschaft	0,4	1,1	1,4	
• Handel Gewerbe und Verkehr	7,3	21,9	29,2	
• Finanzierung, Unternehmensdienstleistungen	11,8	35,4	47,2	
• Gesundheit	4,7	14,0	18,7	
• Baugewerbe	0,0	0,0	0,0	
Kosten der Anpassung	10,3	58,0	96,8	165,1
davon				
• Private Haushalte	1,8	9,9	15,3	
• Bergbau	0,9	5,8	11,5	
• Verarbeitendes Gewerbe	1,9	10,4	17,3	
• Land- und Forstwirtschaft	0,5	2,3	2,9	
• Handel Gewerbe und Verkehr	2,0	11,0	18,2	
• Finanzierung, Unternehmensdienstleistungen	1,8	9,9	17,3	
• Gesundheit	1,5	8,4	13,8	
• Baugewerbe	0,1	0,3	0,5	
Summe	96,4	289,8	406,3	792,5

Daraus leitet die Studie folgende Feststellungen für die deutsche Volkswirtschaft ab:

- Der Klimawandel hat signifikante ökonomische Auswirkungen.
- Alle Sektoren Deutschlands sind durch den Klimawandel betroffen.
- Private Haushalte sowie energieintensive Industriezweige sind von steigenden Energiekosten besonders betroffen.
- Der Gesundheitssektor und die Finanzwirtschaft haben hohe Kosten durch den Klimawandel zu tragen.

Anhand verschiedener Studien des Umweltbundesamtes und Berechnungen des DIW wird der Versuch unternommen, die durch das WIAGEM-Modell mit 800 Mrd. € prognostizierten Gesamtkosten der Klimaveränderung in Deutschland regional zuzuordnen. Ergebnis ist folgende Verteilung:

Bundesland	Kosten durch Klimaschäden in Mrd. € kumuliert bis 2050	Bundesland	Kosten durch Klimaschäden in Mrd. € kumuliert bis 2050
Baden-Württemberg	ca. 129	Niedersachsen	ca. 89
Bayern	ca. 113	Nordrhein-Westfalen	ca. 78
Berlin	ca. 11	Rheinland-Pfalz	ca. 81
Brandenburg	ca. 42	Saarland	ca. 17
Bremen	ca. 18	Sachsen	ca. 33
Hamburg	ca. 29	Sachsen-Anhalt	ca. 42
Hessen	ca. 33	Schleswig-Holstein	ca. 42
Mecklenburg-Vorpommern	ca. 11	Thüringen	ca. 33

In absoluten Werten gemessen, sind große, wirtschaftsstarke Bundesländer im höheren Maße von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Gemessen an der jeweiligen Wirtschaftskraft des Bundeslandes zeigt sich folgende Aufschlüsselung:

Bundesland	Kosten durch Klimaschäden in % der jeweiligen Bruttowertschöpfung	Bundesland	Kosten durch Klimaschäden in % der jeweiligen Bruttowertschöpfung
Baden-Württemberg	ca. 1,2	Niedersachsen	ca. 1,6
Bayern	ca. 0,9	Nordrhein-Westfalen	ca. 0,5
Berlin	ca. 0,4	Rheinland-Pfalz	ca. 2,6
Brandenburg	ca. 2,2	Saarland	ca. 2,0
Bremen	ca. 2,3	Sachsen	ca. 1,2
Hamburg	ca. 1,0	Sachsen-Anhalt	ca. 2,7
Hessen	ca. 0,5	Schleswig-Holstein	ca. 1,9
Mecklenburg-Vorpommern	ca. 1,0	Thüringen	ca. 2,4

Vor dem Hintergrund der Verteilung der erwarteten klimawandelbedingten Kosten auf die einzelnen Bundesländer kommt die Studie zu folgenden Feststellungen:

- Die deutschen Bundesländer sind durch den Klimawandel in unterschiedlicher Art und Weise betroffen.
- Die klimawandelbedingten ökonomischen Schäden werden in allen Bundesländern zunehmen.
- Bevölkerungsreiche und wirtschaftsstarke Bundesländer (Bayern, Baden-Württemberg) haben zwar einen hohen Anteil an den Gesamtkosten durch die Klimaschäden; gemessen an der Wirtschaftskraft werden wirtschaftsschwache Bundesländer (Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz) deutlich stärker belastet.
- Eine Verringerung dieser ungleichen Belastung könne über eine entsprechende Ausrichtung der künftigen Wirtschaftspolitik sowie einen Finanzausgleich ermöglicht werden.

Anmerkungen

- Die Studien analysieren die volkswirtschaftlichen Kosten des Klimawandels bis 2050 für Gesamtdeutschland, die Bundesländer und einzelne Wirtschaftssektoren.
- Für die Schadensabschätzung wird durch die Anwendung des globalen Simulationsmodells WIAGEM ein Top-down-Verfahren genutzt.
- Anpassungskosten werden auf Basis spezifischer „Gefährdungsindikatoren“ berechnet, die für die einzelnen Sektoren abgeschätzt wurden. Nähere Informationen zum Vorgehen werden nicht gegeben.

Kirshen, P. (2007), "Adaptation Options and Cost in Water Supply", *A Report to UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division*.

Zielstellung

Ziel der Studie ist es, die global durch den Klimawandel anfallenden ökonomischen Kosten im Wassersektor abzuschätzen.

Annahmen

In der Studie wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel, der demographische Wandel, die Globalisierung sowie die wirtschaftliche Entwicklung wesentliche Auswirkungen auf den weltweiten Wasserhaushalt haben werden. Es wird angenommen, dass der Klimawandel in den meisten Regionen v.a. negative Auswirkungen auf die Ressource Wasser haben wird. Die Modellierung wird für die SRES-Emissionsszenarien A1B und B1 vorgenommen.

Die Studie beschränkt sich auf Kostenfaktoren der Wasserbereitstellung auf nationaler Ebene. Die Entwicklungen der Angebots- bzw. Nachfrageseite werden modelliert, um die Kosten für die Anpassung der Wasserinfrastruktur bis ins Jahr 2030 abzuschätzen.

Vorgehen

Die erwarteten Veränderungen werden für den klimabedingten mittleren Abfluss MQ (Dargebot) und für die durch die demographische und ökonomische Entwicklung bedingte Wasserentnahme (Nachfrage) bis 2050 mittels der angesprochenen Klimaszenarien modelliert. Die Kostenangaben beziehen sich auf den Zeitraum bis 2030, da im Wassersektor Horizonte von 20 Jahren für Investitionsplanungen üblich sind. Aus der Modellierung ergeben sich die notwendigen Kapazitätsanforderungen, welche als Zielwerte für die zu erbringende Anpassungsleistung in der Wasserbereitstellung dienen. Auf der Angebotsseite beschränkt sich Kirshen auf die Wassergewinnung (Oberflächenwasserspeicher, Brunnen, Entsalzungs- und Wiederaufbereitungsanlagen). Auf der Nachfrageseite werden Trinkwasser, Wasser für Gewerbe bzw. Industrie sowie die Bewässerung berücksichtigt. Verschiedene Qualitätsanforderungen führen dabei zu einem spezifischen Nachfragemuster für Grund- bzw. Oberflächenwasser. Zudem wird von einer Rangfolge (Trinkwasser - Gewerbe - Industrie - Bewässerung) ausgegangen, in der die Nachfrage befriedigt werden soll, was die Nutzung bzw. Ausweitung der Kapazitäten in der Bereitstellungsinfrastruktur beeinflusst.

Ergebnisse

Die anfallenden Kosten in den vier Produktionsbereichen lassen sich regional differenzieren:

Region / Produktionsbereich	Speicher (Mio. \$/km ³)	Grundwasserbrunnen (Mio. \$/km ³ p.a.)	Entsalzung (Mio. \$/km ³ p.a.)	Wasserwieder- aufbereitung (Mio. \$/km ³ p.a.)
Afrika	308	188	1.120	619
Lateinamerika	357	217	1.300	717
Asien	315	192	1.150	633
Europa/ Nordamerika	450	274	1.640	904

Für die beiden Szenarien ergeben sich weltweit bis zum Jahr 2030 Kosten von 425-531 Mrd. \$. Die jeweiligen Kostenauswirkungen unterscheiden sich aber regional relativ stark.

Region / Szenario-Kosten	Kosten unter B1 in Mrd. \$	Kosten unter A1B in Mrd. \$
Afrika	131	137,5
Asien	240	287,5
Lateinamerika	17	20
Europa/ Nordamerika	37	85,5
Australien	< 0,5	0,5
Total	425	531

Hinsichtlich der Finanzierung merkt Kirshen an, dass die Entwicklungshilfeszahlungen verdoppelt werden müssten, um den zusätzlichen Finanzierungsbedarf zu decken.

Anmerkungen

- Studie analysiert unter Verwendung eines Top-down-Verfahrens die infrastrukturbezogenen Anpassungskosten im Wassersektor auf globaler Ebene bis ins Jahr 2030.
- Die Kostenabschätzung wird regional differenziert vorgenommen. Die größten Aufwendungen werden für Afrika und Asien erwartet.

McCarl, B. A. (2007): "Adaptation Options for Agriculture, Forestry and Fisheries", *A Report to UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division*.

Zielstellung

In der Studie sollen die Anpassungsoptionen von Land-, Forstwirtschaft und Fischerei an den Klimawandel diskutiert und die im Jahr 2030 zu erwartenden Anpassungskosten abgeschätzt werden.

Annahmen

Die Analyse nutzt die SRES-Emissionsszenarien A1B und B1.

Das SRES A1B Szenario geht für das Jahr 2030 von einem Anstieg des weltweiten durchschnittlichen Pro-Kopf-Einkommen auf 15.000 \$/Jahr aus. Die CO₂-Konzentration im Jahr 2050 wird mit 540 ppm und der Temperaturanstieg mit 1,6° C angenommen.

Das SRES B1 Szenario berücksichtigt Klimaschutzmaßnahmen. Daher wird eine CO₂-Konzentration von 490 ppm und ein Temperaturanstieg um 1,4° C bis ins Jahr 2050 angenommen. Das durchschnittliche Pro-Kopf-Einkommen ist mit 12.000 \$/Jahr im Jahr 2030 geringer als jenes im A1B-Szenario.

Vorgehen

Die Anpassungskosten an den Klimawandel werden für die Bereiche Forschung, Beratung und Kapitalinvestitionen abgeschätzt.

Durch die *Forschung* soll neues Wissen generiert und Technologien entwickelt werden, die für die Bewältigung der klimawandelbedingten Herausforderungen genutzt werden können. Die *Beratung* übernimmt die Vermittlungsrolle, indem die gewonnenen Erkenntnisse an die Akteure (Produzenten) weitergegeben werden. Die klimatische Veränderungen und neuen Praktiken und machen entsprechende Anpassungen in der Produktion nötig. Dies führt zu zusätzlichen *Kapitalinvestitionen*.

Das SRES A1B wird als „business-as-usual“-Szenario angenommen. In einem ersten Schritt werden die Kosten für das entsprechende Szenario *ohne Klimawandel* abgeschätzt. In einer weiteren Berechnung wird der Klimawandel berücksichtigt, was zu einer Erhöhung der Ausgaben um 10% in den Bereichen Forschung und Beratung bzw. um 2% bei den Kapitalinvestitionen führt.

Wird das Klimaschutzszenario SRES B1 betrachtet, verringern sich diese Kosten im Verhältnis 1,4:1,6. Aufgrund der aktuell getätigten Investitionen (Basisjahr 2000) wird die Verteilung zwischen öffentlicher und privater Finanzierung bestimmt. Dabei wird nach Entwicklungsländern und Industrieländern unterschieden.

Ergebnisse

Die gesamten Klimaanpassungskosten werden über alle drei Anpassungsbereiche für das Jahr 2030 auf 12,8 Mrd. \$ beziffert. Der größte Teil davon (ca. 75%) sind Kapitalinvestitionen. Auf die Forschung entfallen rund 3 Mrd. \$. Die Beratung wird nur in den Entwicklungsländer als Klimapassungsmaßnahme von Bedeutung sein (0,06 Mrd. \$). Das Klimaschutzszenario verringert die Klimaanpassungskosten auf 11,2 Mrd. \$.

Anpassungsbereiche / Kosten	Ausgaben 2000 in Mrd. \$	Ausgaben in 2030 ohne Berücksichtigung des Klimawandels in Mrd. \$	Zusätzliche klimawandelbedingte Ausgaben in 2030 in Mrd. \$	Zusätzliche klimawandelbedingte Ausgaben unter Berücksichtigung von Klimaschutzmaßnahmen in Mrd. \$
Forschung DC ^A	13,60	25,70	1,20	1,10
Forschung HIC ^B	22,30	40,60	1,80	1,60
Beratung DC ^A	2,70	3,30	0,06	0,05
Beratung HIC ^B	3,70	3,70	-	-
Bruttoanlageinvestitionen DC ^A	172,70	437,10	5,30	4,60
Bruttoanlageinvestitionen HIC ^B	321,60	546,90	4,50	3,90
Gesamt	536,60	1057,30	12,86	11,25

^A developing countries/"Entwicklungsländer", ^B high income countries/"Industrieländer"

Die Gesamtkosten verteilen sich wie folgt (Basisjahr 2000) auf die einzelnen Sektoren:

Bereiche / Sektoren	Landwirtschaft	Forstwirtschaft	Fischerei
Forschung / Entwicklung	84,0%	12,0%	4,0%
Bruttoanlageinvestitionen DC ^A	69,6%	26,9%	3,5%
Bruttoanlageinvestitionen HIC ^B	59,0%	39,4%	1,6%

Die folgende Aufteilung der Finanzierung der Klimaanpassungsmaßnahmen wird erwartet:

Bereiche	Finanzierung			
	DC ^A (privat)	DC ^A (öffentlich)	HIC ^B (privat)	HIC ^B (öffentlich)
Forschung DC ^A	1,5%	48,5%		50% (als ODA ^C)
Forschung HIC ^B			54%	46%
Beratung DC ^A		50%		50% (als ODA ^C)
Beratung HIC ^B			ausreichend	ausreichend
Bruttoanlageinvestitionen DC ^A	50%		45%	5% (als ODA ^C)
Bruttoanlageinvestitionen HIC ^B			100%	

^C official development assistance/“offizielle Entwicklungshilfe“

Anmerkungen

- Die Abschätzung der Klimaanpassungskosten für die Sektoren Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei für das Jahr 2030 erfolgt unter Verwendung eines Top-down-Verfahrens.
- Die Kosten werden ländergruppenbezogen für die Anpassungsbereiche Forschung, Beratung und Kapitalinvestitionen ermittelt.

Osberghaus, D.; Reif, C. (2010): "Total Costs and Budgetary Effects of Adaptation to Climate Change: An Assessment for the European Union", *ZEW Discussion Paper* 10-046.

Zielstellung

Die Autoren wollen auf Basis der Kostenschätzungen ausgewählter Studien die Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen auf die öffentlichen Haushalte in Europa darstellen. Es sollen theorie-, literatur- und datengeleiteten Einschätzungen für den staatlichen Anteil an den gesamten Anpassungskosten in den am stärksten betroffenen Wirtschaftssektoren gegeben werden, um so die Größenordnung der in den nächsten Jahrzehnten in Europa für die Anpassung an den Klimawandel notwendigen öffentlichen Ausgaben zu bestimmen.

Annahmen

Anpassung wird in Ergänzung zum Klimaschutz als Möglichkeit, auf den Klimawandel zu reagieren, betrachtet. Die Bestimmung einer Maßnahme als Klimaanpassungsmaßnahme ist schwierig, da oftmals nicht klar ist, ob sie ausschließlich oder zumindest hauptsächlich durch den Klimawandel motiviert ist. Für solche Maßnahmen können auch strukturelle Veränderungen, wirtschaftliche Entwicklung, veränderte Risikowahrnehmung oder weitere nicht klimawandelbezogene Auslöser eine Rolle spielen. Die Autoren nehmen an, dass dieses Definitionsproblem der Hauptgrund für den Mangel an quantitativen Daten zu Anpassungsmaßnahmen und deren Kosten ist. Die bestehende Informationslücke hinsichtlich der für die europäischen Staaten zu erwartenden Anpassungskosten sowie des Anteils der von der öffentlichen Hand zu tragen sein wird, könne durch eine Meta-Analyse der vorliegenden Studien verringert werden.

Vorgehen

Die Autoren folgen dem Vorgehen des IWF (2008) indem sie den sektorspezifischen Anteil der durch die öffentliche Hand zu tragenden Anpassungskosten auf Grundlage von Gesamtkostenabschätzungen für die betrachteten Bereich ermitteln. Die Meta-Analyse ist als ein zweistufiges Verfahren angelegt.

Zunächst werden die absoluten Anpassungskosten für die verschiedenen Sektoren ermittelt. Hierfür werden die Schätzungen des UNFCCC (2007) verwendet. Diese Datenbasis wird um Angaben aus zusätzlichen Bereichen, in denen Anpassungsmaßnahmen zu erwarten sind, erweitert. Hierfür werden alle für europäische Länder verfügbaren Studien, in denen Abschätzung von Anpassungskosten vorgenommen wurden, ausgewertet, die Daten standardisiert und auf sektoraler Ebene aggregiert. Die berücksichtigten Studien kommen dabei auf Grund unterschiedlicher Annahmen, Modellierungen und Zeithorizonten zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen.

In einem zweiten Schritt werden durch Auswertung der existierenden Literatur und weitere theoriegeleitete Überlegungen Einschätzungen des staatlichen Anteils an gesamten Anpassungskosten in den betroffenen Sektoren vorgenommen.

In einem dritten Schritt werden die ermittelten Anteile mit den Ergebnissen der Kostenabschätzung für die einzelnen Sektoren gekoppelt. Auf diese Weise können, den Autoren zufolge, zumindest teilweise die öffentlichen Ausgaben für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in Europa für die nächsten Jahrzehnte abgeschätzt werden.

Die erwarteten minimalen bzw. maximalen Aufwendungen werden aufgeschlüsselt nach öffentlichen und privaten Kosten als Säulendiagramm und die detaillierten Annahmen, Methoden und Ergebnisse der berücksichtigten Studien werden in einer Matrix dargestellt.

Ergebnisse

Der geschätzte *staatliche* Anteil an den Anpassungskosten ist in Klammern vermerkt:

Landwirtschaft (15%):

Anpassungskosten (v.a. Bewässerungskosten) in Westeuropa in 2030: 161-966 Mio. € p.a. (25-145 Mio. € p.a.)

Anpassungskosten (v.a. Bewässerungskosten) in Westeuropa in 2060ern: 6,274 Mrd. € p.a. (940 Mio. € p.a.)

Forstwirtschaft (45%):

Es konnten keine Daten zu Anpassungskosten für den forstwirtschaftlichen Bereich ermittelt werden.

Küstenschutz (98%):

Anpassungskosten in der EU in 2050: 281 Mio. € p.a. (275 Mio. € p.a.)

Anpassungskosten in Westeuropa in 2060ern: 4,022 Mrd. € p.a. (3,95 Mrd. € p.a.)

Wasserversorgung (25%):

Anpassungskosten in europäischen OECD-Staaten in 2030: 251-875 Mio. € p.a. (60-220 Mio. € p.a.)

Anpassungskosten in Westeuropa in 2060ern: 2,655 Mrd. € p.a. (665 Mio. € p.a.)

Gesundheitssektor (80%):

Anpassungskosten in Westeuropa in 2060ern: 563 Mio. € p.a. (450 Mio. € p.a.)

Energieversorgung (5%):

Anpassungskosten in EU27, Norwegen, Schweiz: 1 Mrd. € p.a. (50 Mio. € p.a.)

Anpassungskosten in Westeuropa in 2060ern: 563 Mio. € p.a. (28 Mio. € p.a.)

Transportsektor (95%):

Anpassungskosten in EU27, Norwegen, Schweiz: 3-6 Mrd. € p.a. (2,9-5,7 Mrd. € p.a.)

Fazit der Studie:

Die Ergebnisse sollen einen groben Überblick über die fiskalischen Auswirkungen der Anpassung an den Klimawandel auf europäischer Ebene geben. Aufgrund der mangelhaften Datenlage wurden die indirekten Budget-Effekte in der Analyse nicht berücksichtigt und nur wenige Sektoren betrachtet. Wegen großer Unsicherheiten hinsichtlich der Effektivität von Anpassungsmaßnahmen und dem Problem des zeitlich versetzten Auftretens von Kosten und Nutzen wurden zudem die Nutzeneffekte der Anpassungsmaßnahmen auf das Budget nicht berücksichtigt.

Die höchsten Anpassungskosten an den Klimawandel fallen für die öffentliche Hand in den Sektoren Küstenschutz und Verkehr an. Die Untersuchung ergab insgesamt einen hohen Forschungsbedarf im Bereich der Abschätzung der Kosten von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und eine enorme Relevanz des Themas für die öffentlichen Haushalte in Europa.

Anmerkungen

- In der Metastudie werden auf Basis sektorspezifischer Schätzungen der Anpassungskosten an den Klimawandel zahlreicher Studien die für die öffentlichen Haushalte in Europa zu erwartenden Ausgaben abgeleitet.

Oxfam (2007): "Adapting to Climate Change: What's Needed in Poor countries, and Who Should Pay", <i>Oxfam Briefing Paper</i> 104.	
Zielstellung	
Die Studie zielt darauf ab, unter Berücksichtigung von in vergleichbaren Studien nicht beachteten Kostenaspekten eine realistische Einschätzung der Größenordnung der Anpassungskosten an den Klimawandel, die für die Entwicklungsländer erwartet werden können, vorzulegen.	
Annahmen	
Die Autoren gehen davon aus, dass durch die starke Fokussierung der vorliegenden Studien auf die im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel notwendigen Infrastrukturausgaben eine Vielzahl weiterer, relevanter Kostenpositionen nicht erfasst wird. So würden zumeist zahlreiche lokale oder haushaltsbezogene Maßnahmen unberücksichtigt bleiben.	
Vorgehen	
Im Rahmen der Studie wird ein Bottom-up-Ansatz angewendet. Konkrete Kosten werden aus Fallstudien bzw. auf Akteursebene zusammengetragen und dann auf die Gesamtheit der Entwicklungsländer extrapoliert. So werden in einem ersten Schritt auf Grundlage eines kleinen Samples von NGO-vor-Ort-Projekten, die auf eine Verringerung klimawandelbezogener Risiken abzielen, Anpassungskosten aggregiert. Die Überführung in Pro-Kopf-Kosten hinsichtlich der durch die Anpassungsprojekte betreuten Bedürftigen ergibt einen Betrag von 20 \$. Unter Annahme einer durchschnittlichen Projektlaufzeit von 3 Jahren betragen diese jährlich knapp 7 \$. Geht man davon aus, dass 2,8 Mrd. Menschen unterhalb der 2 \$/Tag-Armutsgrenze leben und ca. 40% von diesen sich nicht ohne Unterstützung an die Auswirkungen des Klimawandels anpassen können, so ergibt sich, gemäß den Autoren der Studie, ein Finanzierungsbedarf von 7,5 Mrd. \$. In einem zweiten Vorgehen werden alle Projektkosten der 13 vorliegenden NAPAs aggregiert (330 Mio. \$) und unter Zuhilfenahme der Variablen Bevölkerungsgröße, wirtschaftliche Leistung und Landnutzung für menschliche Aktivitäten auf die am wenigsten entwickelten Länder (LDC) und sämtliche Entwicklungsländer extrapoliert.	
Ergebnisse	
Auf Grundlage der ersten Extrapolation (NGO-vor-Ort-Projekten) werden die in den Entwicklungsländern auf der lokalen bzw. Haushaltsebene anfallenden Anpassungskosten auf 7,5 Mrd. \$ pro Jahr geschätzt. Die Übertragung der Kosten aus den 13 NAPAs ergibt je nach verwendeter Extrapolationsvariablen insgesamt für die am wenigsten entwickelten Länder jährliche Aufwendungen von 1-2 Mrd. \$ bzw. für alle Entwicklungsländer Klimaanpassungskosten von 7,7-33,1 Mrd. \$ p.a. Der Großteil dieser Kosten würde in gängigen, an Investitionen orientierten Berechnungen, wie bspw. der Weltbank, nicht berücksichtigt. Die Autoren betrachten die von ihnen ermittelten Aufwendungen als „versteckte Kosten“. Sie folgern, dass die vorliegenden Schätzungen, bspw. der Weltbank (2006), um mindestens ein Drittel erhöht werden müssten. Dies würde zu Anpassungskosten von 20-70 Mrd. \$ p.a. führen. Oxfam geht insgesamt von jährlichen Anpassungskosten von mindestens 50 Mrd. \$ aus.	
Anmerkungen	
• Die Studie versucht, unter Verwendung eines Bottom-up-Verfahrens (vermeintlich) in anderen Analysen vernachlässigte Anpassungskosten auf lokaler Ebene zu bestimmen. • Sie fokussiert dabei speziell auf Entwicklungsländer.	

Parry, M.; Arnell, N.; Berry, P.; Dodman, D.; Fankhauser, S.; Hope, C.; Kovats, S.; Nicholls, R.; Satterthwaite, D.; Tiffin, R.; Wheeler, T. (2009): <i>Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change. A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates</i>, International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London.
Zielstellung Die Studie hat zum Ziel, die Ergebnisse der vorliegenden Analysen ökonomischer Anpassungskosten, v.a. der UNFCCC-Studie (2007), zu überprüfen. Die Defizite dieser Studien sollen transparent und systematisch aufgezeigt werden.
Annahmen Die Autoren gehen davon aus, dass die Kostenschätzungen der vorliegenden Studien zu gering sind. Als Hauptgründe für diese Unterschätzung der Anpassungskosten werden angenommen: (1) einige Sektoren werden nicht in die Kostenschätzung einbezogen; (2) die berücksichtigten Sektoren werden nicht vollständig erfasst; (3) die mit „Klima-Aufschlägen“ operierenden Analysen gehen von zu niedrigen Investitionsquoten aus.
Vorgehen Die Studie des IIED evaluiert die Anpassungskostenabschätzungen des UNFCCC (2007) und folgender Studien: Stern (2006), Weltbank (2006), Oxfam (2007), UNDP (2007). Die Ergebnisse der Kostenabschätzungen werden hierzu ländergruppenspezifisch (Entwicklungsländer, Industrieländer), sektorbezogen (Landwirtschaft, Wasser, Gesundheit, Küstengebiete, Infrastruktur) sowie als Gesamtkosten vorgestellt. Darüber hinaus werden die zu Grunde liegenden Berechnungsmethoden und Hintergrundannahmen aufgezeigt.
Ergebnisse <i>Problem der mangelhaften Datenlage:</i> Viele Sektoren werden in den untersuchten Top-down-Studien entweder nur teilweise oder gar nicht erfasst. Der Grund hierfür ist, dass für einige Bereiche, wie den Gesundheitssektor, keine oder nur wenige Daten für eine Kostenabschätzung zur Verfügung stehen. Eines der Hauptprobleme ist das Fehlen von Fallstudien, um das jeweils verwendete methodische Vorgehen zu überprüfen. Derartige Bottom-up-Untersuchungen würden es erleichtern, die Kostenabschätzungen der Top-down-Studie auf den regionalen Kontext zu übertragen. <i>Problem der Bemessung des Investitionsbedarfs mittels Klimazuschlag:</i> In den meisten Fällen wurden die UNFCCC-Schätzungen zum Finanzierungsbedarf nur anhand eines angenommenen Kostenanstiegs in klimasensiblen Investitionsbereichen ermittelt. Es bedarf jedoch zunächst weiterer, in den Studien nicht berücksichtigter Investitionen, um das „Anpassungsdefizit“ zahlreicher Entwicklungsländer auszugleichen; ohne den Ausgleich dieses „Anpassungsdefizits“ werden zusätzliche Klimaanpassungsinvestitionen ihre volle Wirkung nicht entfalten können. <i>Grad der Unterschätzung der Anpassungskosten:</i> Aufgrund der kritisierten Punkte gehen die Autoren von einer Unterschätzung des notwendigen Investitionsvolumens um den Faktor 2 bis 3 allein für die im Bericht betrachteten Sektoren aus. <i>Ergebnisse im Detail für in eine Auswahl der in der Studie betrachteten Sektoren:</i> <i>Agrar-, Forstwirtschaft und Fischerei</i> Die UNFCCC-Studie schätzt die Anpassungskosten in diesem Sektor auf 11,3-12,6 Mrd. \$ im Jahr 2030. Ausgangspunkt ist die Annahme eines Klimazuschlags (climate mark-up) von 10% für die Bereiche Forschung und Beratung sowie 2% im Bereich Infrastruktur (vgl. McCarl 2007, Steckbrief 19). Die wenigen Fallstudien zu den Anpassungskosten in diesem Sektor kommen auf unwesentlich größere Zahlen. Daher schlussfolgern die Autoren, dass die UNFCCC-Schätzungen in diesem Bereich als realistisch betrachtet werden können. Der IIED-Bericht kritisiert v.a. die auf die wenig fundierten Zuschläge zurückzuführende große Unsicherheit der Schätzung. Zudem muss von großen Investitionsdefiziten in den Entwicklungsländern ausgegangen werden. Der IIED erwartet, dass mit einer Zunahme der Erstellung detaillierterer Studien, die prognostizierten Anpassungskosten gegenüber den Abschätzungen des UNFCCC ansteigen werden. <i>Wasserversorgung</i> Formal wird bei der Analyse des UNFCCC ein perfekter Wasser-Binnentransfer vorausgesetzt. Dies ist jedoch eher eine realistische Annahme für kleine als für große Staaten. Diese sind oftmals durch interne Disparitäten gekennzeichnet. Darüber hinaus werden in der UNFCCC-Studie nur Kosten der Wasserbereitstellung in die Schätzung einbezogen, viele weitere Kostenaspekte aus anderen Teilbereichen des Wassersektors, wie der Abwasserentsorgung, werden nicht berücksichtigt. Insgesamt werden die Betriebskosten der Wasserversorgung gegenüber einmaligen Investitionskosten vernachlässigt. Der verwendete Klimazuschlag von 25% wird nicht ausreichend begründet.

Infrastruktur

Die Autoren der IIED-Studie verweisen auf die enormen Infrastrukturdefizite und die große klimawandelbedingte Vulnerabilität von Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen. Zusätzlichen Kosten der Infrastrukturbereitstellung bzw. deren Unterhalts gehen nicht in die Kostenrechnung ein. Bemängelt wird auch, die ungenaue Definition des Begriffs Infrastruktur in der UNFCCC-Studie.

Anmerkungen

- Diese Meta-Studie diskutiert die Methoden und Ergebnisse der vorliegenden Studien zur Abschätzung von Anpassungskosten, v.a. UNFCCC 2007, kritisch und deckt deren Defizite auf.
- Die Kritik wird dabei bezogen auf das Vorgehen für einzelne Sektoren vorgenommen.

PESETA Research Project (2009): *Climate Change Impacts in Europe, Final report of the PESETA Research Project*, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24093 EN - 2009.

Iglesias, A., Garrote, L., Quiroga, S., Moneo M. (2009): "Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA - Agriculture study", *JRC Scientific and Technical Reports*, EUR 24107 EN - 2009.

Amelung, B., Moreno A. (2009): "Impacts of climate change in tourism in Europe. PESETA - Tourism study", *JRC Scientific and Technical Reports*, EUR 24114 EN - 2009.

Zielstellung

Die PESETA Studie gibt einen ersten regionalen Überblick über die (ökonomischen) Auswirkungen der Klimaveränderungen innerhalb Europas anhand einer Betrachtung von 5 ausgewählten klimavulnerablen Sektoren. Ziel der PESETA Studie ist die Ermittlung von Regionen in Europa, die voraussichtlich am stärksten von den Folgen des Klimawandels betroffen sein werden. Die PESETA Studie hat das Ziel, für Stakeholder und politische Entscheidungsträger eine Informationsgrundlage hinsichtlich der Prioritäten bestehender Handlungsoptionen zu schaffen.

Annahmen

Die PESETA Studie geht davon aus, dass der Klimawandel in den einzelnen europäischen Volkswirtschaften unterschiedliche ökonomische Kosten verursachen wird.

Für die Analyse werden zwei unterschiedliche Zeithorizonte betrachtet: Zum einen wird die prognostizierte klimatische Entwicklung der 2020er Jahre und zum anderen die der 2080er Jahre, die noch durch eine Reduktion der heutigen und zukünftigen Treibhausgasemissionen beeinflusst werden kann, analysiert. Hierzu werden für die 2080er Jahre 4 mögliche Alternativszenarien, die durch Temperaturerhöhungen von 2,5°C; 3,9°C; 4,1°C bzw. 5,4°C gekennzeichnet sind, verwendet.

Vorgehen

Die PESETA Studie fokussiert auf die 5 Sektoren Landwirtschaft, Hochwasser, Küstenregionen, Tourismus und Gesundheit, die im Besonderen vom klimatischen Wandel betroffen sein werden.

Die Europäische Union wird in der Studie unter Verwendung der Kriterien geografische Lage und ökonomische Größe in 5 Regionen unterteilt, die Ergebnisse können daher nach Regionen differenziert werden. Die Regionen sind im Einzelnen:

Südeuropa: Portugal, Spanien, Italien, Griechenland, Bulgarien

Südliches Mitteleuropa: Frankreich, Österreich, Tschechische Republik, Slowakei, Ungarn, Rumänien, Slowenien

Nördliches Mitteleuropa: Belgien, Niederlande, Deutschland, Polen

Britische Inseln: Großbritannien, Irland

Nordeuropa: Schweden, Finnland, Estland, Lettland, Litauen

Für die Analysen werden die beiden SRES-Szenarien A2 und B2 verwendet. Für die 2020er Jahre wird ausschließlich mit dem A2-RCA3 Regionalmodell, unter Berücksichtigung der Restriktionen des ECHAM4 Globalmodells gearbeitet. In der sektoralen Analyse findet dieses Vorgehen nur Anwendung für die Landwirtschaft, die Küstenregionen und das Gesundheitssystem.

Für die 2080er Jahre werden vier Modellierungen durchgeführt (vgl. Tabelle). Diese finden alle Verwendung in den sektoralen Analysen hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels. Die wichtigsten Ergebnisgrößen der Modellierungen sind die Veränderungen der Temperatur, des Meeresspiegels und des Niederschlags.

Eckdaten der vier Modellierungen

Szenarien	SRES-B2	SRES-A2	SRES-B2	SRES-A2
Globalmodell	HadAM3H/HadCM3	HadAM3H/HadCM3	ECHAM4/OPYC3	ECHAM4/OPYC3
Regionalmodell	HIRHAM	HIRHAM	RCAO	RCAO
CO ² -Konzentration (ppm)	561	709	561	709
Weltbevölkerung (2100 in Mrd.)	10,4	15,1	10,4	15,1
Welt-BIP	235	243	235	243
Temperatur	2,5°C	3,9°C	4,1°C	5,4°C
Meeresspiegel (cm)	49	56	51	509
Niederschlag (%)	1	-2	2	-6

Konkrete Anpassungskosten werden nur für den Bereich „Küstenregionen“ ermittelt. Dabei werden die Anpassungsmaßnahmen Deichbau und Strandaufschüttungen berücksichtigt. Für die anderen Bereiche können aufgrund von Datenlücken und inkonsistenten Datensätzen keine Anpassungskosten berechnet werden.

Sektor	Modell		Output
Landwirtschaft	DSSAT	prozessbasiert	Anbaufläche: +/- in %
Küsten	DIVA	prozessbasiert	Personen betroffen vom Meeresspiegelanstieg
Hochwasser	LISFLOOD	prozessbasiert	betroffene Personen
Tourismus	TCI-Index/Übernachtungen	korrelativ	innereuropäische Tourismusströme: +/- in %
Gesundheit	nicht integriert	nicht integriert	nicht integriert

Sektorale Betrachtung:

In einem ersten Schritt werden für jeden Sektor unter Berücksichtigung der verschiedenen Klimaszenarien einzeln Abschätzungen der Veränderung der Zielvariablen vorgenommen. Die sektoralen Betrachtungen unterscheiden sich dahingehend, dass in manchen Bereichen (Landwirtschaft, Hochwasser, Tourismus) nur die klimatischen Veränderungen berücksichtigt werden. Für die Analyse der klimabedingten Veränderungen in den Küstenregionen und im Gesundheitssystem werden zusätzlich sozioökonomische Prognosen integriert. Die generelle Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen ökonomischen Entwicklung und damit Fragen der Diskontierung werden durch die Annahme konstanter Rahmenbedingungen umgangen. Die sektoralen Auswirkungen des Klimawandels werden durch Partial-Gleichgewichts-Analysen ermittelt. D.h. alle ermittelten Effekte betreffen „direkt“ nur den jeweils analysierten Sektor. Wechselwirkungen mit anderen Sektoren werden nicht betrachtet.

Im Bereich des Hochwasserschutzes werden die Schäden durch Hochwasser an der Bausubstanz und Verminderung der ökonomischen Aktivität geschätzt. Für den Küstensektor werden Landverluste und Migrationskosten im Sinne der Übersiedlung ins Binnenland berücksichtigt. Für den Tourismusbereich wird die Entwicklung der Anzahl der Übernachtungen analysiert. Im Gesundheitssektor wird die Veränderung der klimabedingte Mortalität betrachtet.

Gesamtbetrachtung:

Trotz der Beschränkung auf die direkten Effekte können Wechselwirkungen mit anderen Sektoren nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund wird abschließend ein allgemeines Gleichgewichtsmodell (CGE), GEM-E3 Modell, genutzt, um *unter Vernachlässigung von Anpassungsmaßnahmen* die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels auf Wohlfahrt und BIP zu ermitteln. Als Baseline wird das Jahr 2010 verwendet. Der Gesundheitssektor wird nicht in diese Schlussbetrachtung einbezogen. Als Inputvariablen dienen die in den sektoralen Modellen ermittelten Outputgrößen. Auf Grundlage dieser Veränderungen schätzt das Modell für die jeweiligen Regionen für die 2080er Jahre die Entwicklung von BIP und Wohlfahrt der Haushalte. Die Wohlfahrt wird im Modell als durch Haushaltsnachfrage und Freizeit bestimmter Nutzen abgeleitet. Gesamtschätzungen für die 2020er Jahre werden nicht durchgeführt.

Ergebnisse

Die PESETA Studie kommt für die 5 Sektoren zu folgenden Ergebnissen:

Landwirtschaft: Von vereinzelt lokalen Ausnahmen abgesehen, kommt es in der EU in den 2020er Jahren zu durchschnittlichen Ertragssteigerungen von bis zu 15%.

In den 2080er Jahren kann für die Szenarien mit einem geringeren Temperaturanstieg (2,5°C-4,1°C) von ähnlichen Ertragssteigerungen ausgegangen werden. Erst für das extreme Szenario mit einer Erwärmung um 5,4°C käme es, v.a. in der Region Südeuropa, zu einem Sinken der Erträge um 10%.

Hochwasser: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Temperaturanstieg und Hochwasserschäden.

Während in Nordeuropa weniger Schäden zu verzeichnen sein werden, kommt es für die 2020er und 2080er Szenarien im südlichen Mitteleuropa und auf den Britischen Inseln zu einem signifikanten Anstieg der Hochwasserschäden.

Küstenregionen: In allen Klimaszenarien (2,5°C-5,4°C) kommt es zu einem signifikanten Anstieg der Personen, die durch Küstenüberflutung betroffen sein werden. Die Spanne liegt zwischen 750.000 und 5,5 Mio. Personen. Verstärkte Migrationsbewegungen ins Binnenland werden erwartet. Würden in diesem Bereich Anpassungsmaßnahmen durchgeführt, könnte die Anzahl der betroffenen Personen drastisch reduziert werden.

Tourismus: In den Szenarien für die 2020er Jahre kommt es, v.a. für die mediterranen Regionen, zu einem Anstieg des Outdoor-Tourismus' im Frühling, Sommer und Herbst. In den 2080er Szenarien zeigen hingegen alle Klima-Tourismus-Modelle eine verstärkte Bewegung der Touristenströme in die nördlichen Regionen.

Gesundheit: Für die 2020er Jahren werden ca. 25.000 zusätzliche Hitze-Todesfällen pro Jahr erwartet. Die Sterblichkeit kann jedoch durch geeignete Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen um den Faktor 5-10 reduziert werden. Für die 2080er Szenarien liegt die Hitze-Mortalität zwischen 60.000-165.000. Bei geeigneten Anpassungsmaßnahmen kann die Sterblichkeit erneut um den Faktor 5-10 reduziert werden.

Ergebnisse des Berechnungen mit dem CGE GEM-E3 Modell

Prognostizierte jährliche Wohlfahrtsveränderungen für die 2080er Klimaszenarien über alle Regionen, im Vergleich zum Baseline-Szenario 2010:

Szenario	Südeuropa		Südliches		Nördliches		Britische Inseln		Nordeuropa		EU	
	WF	BIP	WF	BIP	WF	BIP	WF	BIP	WF	BIP	WF	BIP
Landwirtschaft												
2,5°C	-0,05	-0,13	0,06	0,11	0,01	-0,02	-0,09	-0,10	0,58	0,81	0,01	0,02
3,9°C	-0,37	-0,52	0,02	0,06	-0,05	-0,06	-0,11	-0,11	0,59	0,85	-0,10	-0,09
4,1°C	-0,15	-0,22	-0,01	-0,00	0,04	0,05	0,09	0,12	0,56	0,76	0,02	0,04
5,4°C	-1,00	-1,26	-0,27	-0,28	-0,19	-0,17	0,06	0,16	0,72	1,09	-0,32	-0,29
Hochwasser												
2,5°C	-0,13	-0,1	-0,16	-0,01	-0,04	-0,00	-0,06	0,00	0,09	0,00	-0,08	-0,01
3,9°C	-0,11	-0,1	-0,25	-0,01	-0,09	-0,01	-0,21	-0,01	0,01	0,00	-0,14	-0,01
4,1°C	-0,09	-0,00	-0,15	-0,01	-0,13	-0,01	-0,20	-0,01	0,07	0,00	-0,13	-0,01
5,4°C	-0,14	0,00	-0,31	-0,01	-0,24	-0,02	-0,37	-0,02	0,10	0,00	-0,24	-0,01
Küstenregionen												
2,5°C	-0,07	-0,05	-0,06	-0,05	-0,27	-0,38	-0,17	-0,23	-0,13	-0,11	-0,16	-0,19
3,9°C	-0,11	-0,05	-0,08	-0,05	-0,29	-0,41	-0,19	-0,24	-0,14	-0,12	-0,18	-0,20
4,1°C	-0,09	-0,05	-0,06	-0,05	-0,28	-0,39	-0,18	-0,23	-0,14	-0,11	-0,17	-0,20
5,4°C	-0,10	-0,05	-0,09	-0,05	-0,30	-0,42	-0,20	-0,25	-0,15	-0,13	-0,18	-0,21
Tourismus												
2,5°C	-0,02	-0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
3,9°C	-0,03	-0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00
4,1°C	-0,08	-0,03	-0,11	-0,03	0,03	0,00	0,05	0,01	0,07	0,02	-0,02	-0,01
5,4°C	-0,12	-0,05	0,18	0,03	0,04	0,01	0,06	0,01	0,08	0,02	0,04	0,01

Die PESETA-Studie kommt unter Berücksichtigung der vorgestellten Ergebnisse zu folgenden Schlüssen:

Beim Ausbleiben von Anpassungsmaßnahmen werden die klimawandelbedingten Schäden in der EU zwischen 20 Mrd. € (2,5°C-Szenario) und 65 Mrd. € (5,4°C-Szenario) betragen.

Die Regionen mit den stärksten Temperaturveränderungen werden auch die höchsten Wohlfahrtseinbußen erleiden (südliches und nördliches Mitteleuropa).

Die Region mit den höchsten Wohlfahrtsverlusten (0,3%-1,36%) ist Südeuropa, da alle untersuchten Sektoren durch Klimaveränderungen negativ beeinträchtigt werden.

Die Wohlfahrtsverluste für das südliche Mitteleuropa liegen zwischen 0,1% und 0,48%. Diese sind v.a. auf die erwartete Zunahme von Hochwasserschäden zurückzuführen.

Die Wohlfahrtsverluste für das nördliche Mitteleuropa betragen 0,3%-0,7% und für die Britischen Inseln 0,3%-0,44%. In beiden Regionen werden diese v.a. durch Hochwasserereignisse und Schäden in den Küstenregionen verursacht.

Nordeuropa ist die einzige Region, die Wohlfahrtszugewinne (0,55%-0,75%) in allen Sektoren verzeichnen kann. Der Hauptgrund hierfür sind positive Effekte in der Landwirtschaft und Zuwächse im Tourismussektor. Mögliche Schäden in den Küstenregionen könnten sich aber auch hier in Zukunft negativ auswirken.

Mögliche Effekte der Anpassung an den Klimawandel konnten aufgrund von Datenlücken und methodischen Restriktionen nur für den Bereich der Küstenregionen geschätzt werden. Ausgaben für Anpassungsmaßnahmen haben jedoch in allen Szenarien für die Küstenregionen einen signifikant positiven Effekt und reduzieren die negativen Auswirkungen der Klimaschäden auf Wohlfahrt und BIP.

Anmerkungen

- Studie zu den (ökonomischen) Auswirkungen des Klimawandels auf die Sektoren Landwirtschaft, Hochwasserschutz, Küstenregionen, Tourismus und Gesundheit in 5 Großregionen in Europa.
- Es wird ein Top-down-Verfahren verwendet.
- Berücksichtigung der Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen lediglich im Sektor „Küstenregionen“. Es werden keine Schätzungen von Anpassungskosten vorgenommen.

Swart, R.J.; Biesbroek, G.R.; Binnerup, S.; Carter T.R.; Cowan, C.; Henrichs, T.; Loquen, S.; Mela, H.; Morecroft, M.D.; Reese, M.; Rey, D. (2009): <i>Europe Adapts to Climate Change: Comparing National Adaptation Strategies</i> , No. 01/2009, Partnership for European Environmental Research (PEER), Helsinki.
Zielstellung
Die Auswertung der nationalen Anpassungsstrategien zielt darauf ab, politikrelevante Ergebnisse zu identifizieren und Empfehlungen für die weitere Forschung zu formulieren.
Annahmen
Es wird davon ausgegangen, dass bereits klimatische Veränderungen wahrnehmbar sind, die dem anthropogenen Klimawandel zugeschrieben werden können. Auch wenn die Bemühungen um eine Verringerung der Treibhausemissionen in den nächsten Jahrzehnten auf globaler Ebene erfolgreich sein sollten, so ist ein Teil des Klimawandels nicht mehr abzuwenden. Aus diesem Grund arbeiten zahlreiche europäische Länder an der Entwicklung und Implementierung von Anpassungsstrategien.
Vorgehen
Im Rahmen der Studie werden die nationalen Anpassungsstrategien von 14 europäischen Staaten vergleichend ausgewertet. Berücksichtigt werden dabei für jedes Land Initiativen, die auf nationaler Ebene angestoßen werden, aber auch Maßnahmen, die auf lokaler oder sektoraler Ebene ihre Umsetzung finden.
Ergebnisse
<i>Dänemark</i> Die dänische Regierung hat 2008 die "Danish strategy for adaptation to a changing climate" vorgestellt, deren Umsetzung in den folgenden zehn Jahren geschehen soll. Ziel ist eine frühzeitige und so weit wie möglich autonome Anpassung von Behörden, Unternehmen und Einzelakteure an die Folgen des Klimawandels. In den Bereichen, in denen diese Form der Anpassung nicht die beste Lösung darstellt, wird die Umsetzung staatlich geplanter Maßnahmen angestrebt. In der Vergleichskategorie „Forschung-Politik-Interaktion“ werden für Dänemark für strategische anpassungsbezogene Forschungsprogramme folgende Kosten ermittelt: • Bereich Meeresumwelt: 20 Mio. DKK • Bereich Umwelttechnologie: 31 Mio. DKK • Bereich Ressource Wasser: 52 Mio. DKK • Bereich Ernährung: 32 Mio. DKK <i>Deutschland</i> Die nationale Anpassungsstrategie an den Klimawandel wurde in Deutschland 2008 verabschiedet. In der Vergleichskategorie „Forschung-Politik-Interaktion“ werden für Deutschland folgende Kosten ermittelt: • BMBF-Forschungsprogramm DEKLIM 2001-2006: 37 Mio. € • BMBF-Forschungsprogramm "Klimazwei": ca. 15 Mio. € • BMBF-Forschungsprogramm KLIMZUG 2008-2013: 75 Mio. € <i>Schweden</i> In Schweden wurde bis zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie noch keine nationale Anpassungsstrategie verabschiedet dafür aber 2007 der Bericht „Sweden facing climate change – threats and opportunities“ veröffentlicht. In der Vergleichskategorie „Forschung-Politik-Interaktion“ werden für Schweden folgende Kosten ermittelt: • Es besteht die Absicht, ein neues Institut mit einem Fokus auf Klimaforschung und Klimaanpassung einzurichten; vorsorglich wurde das Budget für Klimaforschung erhöht, um einem solchen Institut einen Etat von 15 Mio. € pro Jahr zusichern zu können. • Vom „Informationsportal für Klimawissenschaft und Politikforschung“ (www.sweclipp.se), das eine Kooperation von schwedischer Umweltschutzbehörde, Energiebehörde und der Foundation for Strategic Environmental Research (MISTRA) ist, werden etwa 5 Mio. € p.a. für Forschungsaktivitäten bereitgestellt. • CLIMATOOLS Programm: 2006 gestartetes, 5-jähriges multidisziplinäres Forschungsprogramm mit dem Ziel, Richtlinien und Instrumente für Entscheidungsträger zu entwickeln, um Klimafolgen und Anpassung an den Klimawandel besser bewältigen zu können. Das Gesamtbudget beträgt 25 Mio. SEK. • MISTRA's SWECIA Programm, Start 2008, Forschungsprogramm zum Klimawandel (inkl. dessen Folgen und der Klimaanpassung); das Gesamtbudget beträgt 40 Mio. SEK.

Niederlande

In der Vergleichskategorie „Forschung-Politik-Interaktion“ werden für die Niederlande folgende Kosten ermittelt:

- Nationales Forschungsprogramm „Climate changes Spatial Planning“, 2004-2011: 100 Mio. €
- Nationales Forschungsprogramm „Knowledge for Climate“ 2008-2014: 100 Mio. €

Vereinigtes Königreich

Die erste nationale Anpassungsstrategie „Adapting to climate change: A Framework for Action“ wurde 2008 veröffentlicht.

In der Vergleichskategorie „Forschung-Politik-Interaktion“ werden für das Vereinigte Königreich folgende Kosten ermittelt:

- Um den Einfluss des Klimawandels auf verschiedene Sektoren abzuschätzen, hat die DEFRA ein Programm für Regionen übergreifende Forschungsvorhaben zu den Folgen des Klimawandels und zur Klimaanpassung mit einem Budget von 400,000 £ aufgelegt.
- Das Programm “Living with Environmental Change” (LWEC) wurde 2008 als Gemeinschaftsinitiative von wichtigen Geldgebern der Umweltforschung im Vereinigten Königreich (20 Partner, darunter auch DEFRA und NERC) gestartet. Ziel ist es, Menschen beim Umgang mit Umweltveränderungen (inkl. Klimawandel) zu unterstützen. Das Budget beträgt 1 Mrd. £ über 5 Jahre.

Anmerkungen

- Die Studie gibt u.a. einen Überblick über die Kosten der in den nationalen Anpassungsstrategien von 14 europäischen Staaten genannten Projekte, die sich mit der Anpassung an den Klimawandel beschäftigen.
- Diese Kostenangaben beziehen sich auf die jeweilige nationale Ebene und betreffen vorrangig Maßnahmen im Forschungsbereich.

UNFCCC (2007): <i>Investment and Financial Flows. To Address Climate Change</i> , Bonn.
Zielstellung
Das Sekretariat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) trägt seit 2007 Kostenabschätzungen für laufende und zukünftige Aktivitäten zur Anpassung an den Klimawandel zusammen. Dabei stehen besonders die Entwicklungsländer im Fokus des Interesses.
Annahmen
Der UNFCCC nimmt an, dass in Folge des Klimawandels in den verschiedenen betrachteten Sektoren Anpassungsmaßnahmen durchgeführt werden. Ferner wird davon ausgegangen, dass in den Entwicklungsländern angesichts der bereits bestehenden Klimavulnerabilitäten im besonderen Maße zusätzliche Anstrengungen hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel unternommen werden müssen.
Vorgehen
Die Auswirkungen des Klimawandels sowie die notwendigen Anpassungen werden sektorbezogen betrachtet. Neben den hier dargestellten Bereichen werden auch das Gesundheitssystem und die Küstenzonen in der Studie berücksichtigt. Im Rahmen der Untersuchung werden die notwendigen Ausgaben für verschiedene Investitionskategorien für das Jahr 2030 ermittelt und dann durch Verwendung eines Klimazuschlags die notwendigen Aufwendungen für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel bestimmt. <i>Agrar-, Forstwirtschaft und Fischerei</i> Für diesen Sektor werden die Kostenvariablen Forschung, Beratung und physische Kapitalbildung betrachtet (vgl. McCarl 2007, Steckbrief 9). Für die Abschätzung der Ausgaben für das Jahr 2030 wird eine allgemeine Wachstumsrate von 2% p.a. angenommen. Unter Anwendung eines 10%-prozentigen Klimazuschlags auf die für die Kategorien Forschung und Beratung erwarteten Ausgaben werden die notwendigen Anpassungskosten für diese Bereiche im Jahr 2030 bestimmt. Die Klimazuschläge basieren auf Überlegungen der Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) und McCarl (2007). Die Beratung wird nur in Entwicklungsländern als notwendige Anpassungsmaßnahme erachtet (vgl. McCarl 2007). Die Abschätzung der Kapitalinvestitionen im Jahr 2030 erfolgt unter Verwendung des OECD ENV-Linkage-Modells. Der Klimazuschlag von 2% auf diese Investitionsausgaben orientiert sich ebenfalls an McCarl (2007). <i>Wasserversorgung</i> Die Anpassungskosten im Wassersektor werden in Anlehnung an Kirshen (2007) ermittelt (für nähere Informationen vgl. Steckbrief 8). <i>Infrastruktur</i> Die Abschätzung beschränkt sich auf die direkten Anpassungskosten an die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels. Dafür wird ein zweistufiges Konzept der Kostenermittlung verwendet (vgl. Dlugolecki 2007, Weltbank 2006). 1. Schritt: • Der Anteil der „klimasensiblen“ Bereiche der Infrastruktur wird bestimmt. • Unter Verwendung der Versicherungsdaten der Münchener Rück und der Association of British Insurers (ABI) werden die durch a) klimabezogene Extremereignisse und b) sämtliche klimabezogenen Ursachen entstandenen Infrastrukturschäden (Versicherungszahlungen) für einen bestimmten Zeitraum ermittelt und annualisiert. • Dann werden die durchschnittlichen jährlichen Gesamtinvestitionen für den Bereich Infrastruktur über denselben Zeitraum erfasst. • Der Anteil, den die Schäden an den Gesamtinvestitionen ausmachen, ist der „klimasensible“ Bereich der Infrastruktur. Auf Grundlage der Daten der Münchener Rück ergibt sich ein Anteil von 0,7% der entsprechende Wert für die ABI-Daten ist 2,9%. Zum Vergleich: die Weltbank (2006) stuft 2-10% der Infrastrukturinvestitionen als „klimasensibel“ ein. 2. Schritt: • Mit Hilfe des OECD ENV-Linkage-Modell wird das gesamte Investitionsvolumen für 2030 berechnet. • Für die Bestimmung der Anpassungskosten werden wie bei der Weltbank (2006) 5-20% auf die „klimasensiblen“ Investitionen für Maßnahmen zur Reduzierung der Klimavulnerabilität aufgeschlagen.

Ergebnisse						
Die Studie schätzt die Anpassungskosten an den Klimawandel im Jahr 2030 auf 49-171 Mrd. \$. Die sektoralen Anteile divergieren dabei relativ sehr stark. Die wichtigsten Kernzahlen für die einzelnen Bereiche sind:						
ausgewählte Sektoren	Klimaanpassungskosten, gesamt, in 2030 in Mrd. \$		Klimaanpassungskosten in 2030, Industrieländer, in Mrd. \$		Klimaanpassungskosten in 2030, Entwicklungsländer, in Mrd. \$	
A) Agrar-, Forstwirtschaft/Fischerei	14		7		7	
B) Wasserversorgung	11		2		9	
C) Infrastruktur	8-130		6-88		2-41	
Gesamtkosten über alle (inkl. u.a. A, B, C) Sektoren	49-171		22-105		27-66	
Agrar-, Forstwirtschaft und Fischerei						
Für diesen Bereich ergeben die Berechnungen der Studie folgende Klimaanpassungskosten:						
Kosten	aktuelle Investitionen (2000/2005) in Mrd. \$ p.a.		zusätzlich notwendige Investitionen in 2030 in Mrd. \$		notwendige Ausgaben für Klimaanpassungskosten in 2030 in Mrd. \$	
Physische Kapitalbildung	544		539		11	
Beratung	7		0,6		0,06	
Forschung	40		34		3	
Gesamt	591		574		14	
Die heutigen Kapitalinvestitionen werden zum größten Teil von Privaten, wie den Produzenten, der weiterverarbeitenden Industrie oder internationalen Saatgut-, Chemie- und Maschinenbaukonzernen getätigt. Im Vergleich dazu sind 2/3 der Forschungsausgaben öffentlich finanziert. Der entsprechende staatliche Anteil an den Ausgaben für Beratungsleistungen in den Entwicklungsländern beträgt 90%.						
Wie aus der Tabelle hervorgeht, wird für das Jahr 2030 selbst ohne Berücksichtigung der Anpassungskosten eine Verdopplung der jährlichen Investitionen in diesem Bereich von heute 591 auf 1.165 Mrd. \$ erwartet. Der größte Teil dieser Ausgaben wird von der Privatwirtschaft zu tragen sein. Die öffentliche Hand kann die Investitionen der Privaten durch die Bereitstellung der für die Anpassung notwendigen Informationen und durch die investitionsfreundliche Gestaltung des gesetzlichen Rahmens befördern.						
Wasserversorgung						
Die Anpassungskosten in diesem Sektor setzen sich aus den Aufwendungen für die Erweiterung der bestehenden Infrastruktur, wie Wasserspeichern, Grundwasserbrunnen, Entsalzungs- und Wiederaufbereitungs-systemen zusammen. Je nach verwendetem Emissionsszenario werden Gesamtinvestitionen von 898 Mrd. \$ (A1B) bzw. 720 Mrd. \$ (B1) zu tätigen sein. Die Differenz von 20% ist v.a. auf die zwischen den Szenarien divergierenden Wachstumsraten zurückzuführen. Die Klimaanpassungskosten (25%) belaufen sich auf 225 Mrd. \$ resp. 180 Mrd. \$. Bei einer Investitionslaufzeit von 20 Jahren ergeben sich jährliche Kosten von 9-11 Mrd. \$. Etwa 85% der Investitionen werden in „Nicht-Annex-1“ Länder, d.h. in Entwicklungsländern, getätigt werden müssen. Das entspricht ca. dem UN-Millenniumsziel für den Wassersektor (Investitionen von 10 Mrd. \$ p.a. bis 2015). Es wird erwartet, dass 90% der Anpassungskosten im Wassersektor öffentlich, d. h. über die Entwicklungshilfe v.a. durch die Industrieländer finanziert werden (Briscone 1999). Um dies zu gewährleisten, müsste die offizielle Entwicklungshilfe (ODA) gegenüber 2005 verdoppelt werden.						
Infrastruktur						
Für den Infrastrukturbereich ergeben sich folgende Kostenabschätzungen:						
Investitionen in 2030 in Mrd. \$	Anteil der „klimasensiblen“ Investitionen in Mrd. \$		Münchener Rück, Anpassungskosten in Mrd. \$		ABI, Anpassungskosten in Mrd. \$	
	Münchener Rück	ABI	5%	20%	5%	20%
22.300	153	650	8	31	33	130
Die für das Jahr 2030 zu erwartenden Kosten für die Anpassung der neu zu errichtenden Infrastrukturen betragen 8-130 Mrd. \$. Das entspricht ca. 0,5% der weltweiten Gesamtinvestitionen.						
Anmerkungen						
• Diese Studie schätzt für eine Vielzahl von Bereichen die zu erwartenden Anpassungskosten für 2030. • Dabei werden einige Top-down-Verfahren aus vorliegenden sektorspezifischen Studien verwendet. • Die spezifische Situation der Entwicklungsländer wird eingehend analysiert.						

World Bank Group (2006): *Clean Energy and Development: Towards an Investment Framework. Version April 2006 und Version September 2006*, Washington.

Zielstellung

Die Studie zielt darauf ab, auf Grundlage der zu erwartenden Veränderungen der Hauptinvestitionsflüsse der Entwicklungsfinanzierung die Anpassungskosten an den Klimawandel abzuschätzen. Die Schätzung muss v.a. als Diskussionsgrundlage für die Erweiterung des *Finanzierungsmechanismus* der Globalen Umweltfazilität betrachtet werden.

Annahmen

Die Weltbank geht davon aus, dass die Bewertung und Berücksichtigung von Klimarisiken ein essenzieller Teil der zukünftigen Entwicklungsplanung sein werden. Die sich verändernden klimatische Rahmenbedingungen haben einen Einfluss auf einige der Kernbereiche der Entwicklungsfinanzierung, wie die Sektoren Infrastruktur, Landwirtschaft, natürliche Ressourcen und Gesundheit. Für diese werden zusätzliche Kosten erwartet, die je nach Finanzierungsinstrument unterschiedlich ins Gewicht fallen.

Vorgehen

In einem ersten Schritt werden unterschieden nach den wesentlichen Typen klimasensible Investitionen ermittelt. Dabei fällt auf, dass die offiziellen Entwicklungshilfezahlungen (ODA) im Vergleich zu den ausländischen Direktinvestitionen (FDI) und den Bruttoinlandinvestitionen (GDI) die höchste Klimasensibilität aufweisen. Dies kann auf die generell höheren Risiken in Projekten zur Armutsbekämpfung als in rein profitorientierten Investitionsprojekten zurückgeführt werden. Diese Projekte sind daher auch sensibler in Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels. Die Einstufung von 40% der Projekte als klimasensibel ist auf eine Projekt-Portfolio-Berechnung von Weltbank und OECD zurückzuführen. Im Jahr 2006 berücksichtigten jedoch lediglich 2% der laufenden Projekte der Weltbank die Risiken des Klimawandels.

Im zweiten Schritt werden die tatsächlichen zusätzlichen Anpassungskosten als 10-20-prozentiger Anteil des klimasensiblen Teils der jeweiligen Investitionen ermittelt. Die anteilige Berücksichtigung wird damit begründet, dass nur durch einen Teil der klimasensiblen Investitionen in den einzelnen Projekten auch real Kosten entstehen. Die Schätzung von 10-20% wird nicht näher begründet.

Ergebnisse

Die Weltbank schätzt den auf den Klimawandel zurückzuführenden zusätzlichen Investitionsbedarf auf 9-41 Mrd. \$ pro Jahr. Diese Zusatzausgaben verteilen sich wie folgt auf die verschiedenen Investitionstypen (Basisjahr 2000):

Investitionstyp	Investitionen in Mrd. \$ p.a.	„klimasensibler“ Anteil der Investitionen in %	Anteil der Anpassungskosten am „klimasensiblen“ Anteil der Investitionen in %	Anpassungskosten an den Klimawandel in Mrd. \$ p.a.
ODA ^A	100	40	10-20	4-8
FDI ^B	160	10	10-20	2-3
GDI ^C	1.500	2-10	10-20	3-30
<i>Gesamt</i>				9-41

^A development assistance/„offizielle Entwicklungshilfe“, ^B foreign direct investment/„ausländische Direktinvestitionen“, ^C gross domestic investment/„Bruttoinlandinvestitionen“

Anmerkungen

- Die Studie schätzt unter Verwendung eines Top-down-Ansatzes die Mehrinvestitionen zur Minderung klimawandelbedingter Risiken für unterschiedliche Investitionstypen ab. Diese werden als Anpassungskosten an den Klimawandel bezeichnet.
- Die Bestimmung der zur Berechnung verwendeten Anteile wird nicht näher erläutert.

World Bank Group (2010): <i>Economics of Adaptation to Climatic Change. A Synthesis Report, Final Consultation Draft, Version August 2010</i> , Washington.
Zielstellung
Die Studie hat zum Ziel, politische Entscheidungsträger in Entwicklungsländern dabei zu unterstützen, mögliche Risiken durch den Klimawandel besser einschätzen zu können. Die Studie soll dazu beitragen, die Entwicklung von nationalen Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Entwicklungsländer zu befördern.
Annahmen
Es wird festgestellt, dass die vorliegenden Studien, die die weltweiten Anpassungskosten an den Klimawandel abzuschätzen versuchen, oftmals nur eine sehr große Kostenspanne - die Studie beziffert sie auf 4-109 Mrd. \$ - angeben. Dies macht es politischen Entscheidungsträgern nicht leicht, konkrete Handlungsoptionen für Entwicklungsländer abzuleiten. Anpassungskosten werden im Rahmen der Studie definiert als: <i>Die Kosten, die anfallen, um das Gemeinwohl-Niveau ohne den Klimawandel (wieder-)herzustellen.</i>
Vorgehen
Es wird ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Mit dem <i>globalen Ansatz</i> werden wirtschaftliche und soziale Effekte modelliert und ökonomisch bewertet. Mit den <i>7 Fallstudien</i> werden diese zum genaueren Verständnis von Anpassungsprozessen und zur Beschreibung von direkten Handlungsmöglichkeiten auf Länderebene differenziert analysiert. Globaler Ansatz Durch diesen Ansatz werden die Ergebnisse globaler Untersuchungen zusammengetragen. Dabei liegt der Fokus auf 5 klimavulnerablen Sektoren: Landwirtschaft, Wasser, Öffentlichkeit und Soziales, Küsten- und Infrastruktur. In den jeweiligen sektoralen Studien dienen aggregierte nationale Daten als <i>Gemeinwohl-Proxy</i> (Infrastrukturanlagen, Nahrungsversorgung, Wasserversorgung und -verfügbarkeit). Für die Klimasimulation werden zwei globale Modelle verwendet, jenes des <i>National Center for Atmospheric Research</i> (NCAR) sowie das der <i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization</i> (CSIRO). Der Zeitraum bis 2050 bildet unterteilt in 4 10-jährige Intervalle den zeitlichen Horizont der Untersuchung. Die Ergebnisse der beiden Modelle unterscheiden sich nicht wesentlich bezüglich des Temperaturanstiegs (ca. 2°C), aber hinsichtlich der Niederschlagsentwicklung: das NCAR gilt als feuchtestes bzw. das CSIRO als trockenstes Modellszenario. Die Klimaanpassungskosten werden als Abweichung vom Baseline-Szenario (ohne Klimawandel) ermittelt. Die Baseline-Szenarios unterscheiden sich sektoral, gehen aber alle von einem jährlichen Wachstums des BIP/Kopf von 2,1% aus. Beim Küstenschutz werden Klimamodellierungen bis 2100 verwendet, da der Investitions- und Planungshorizont in diesem Sektor ca. 50 Jahre beträgt. Fallstudien Neben dem globalen Ansatz untersucht die Studie für dieselben Sektoren mögliche Anpassungsoptionen an den Klimawandel am Beispiel von 7 Entwicklungsländern: Mosambik, Äthiopien, Ghana, Bangladesch, Vietnam, Samoa, Bolivien. Dabei werden jeweils zwischen 3 und 5 Sektoren betrachtet. In einem ersten Schritt werden makroökonomische Modelle der Volkswirtschaften verwendet, um sektorenspezifische Entwicklung bzw. gesamtwirtschaftliche Effekte abzuschätzen. Klimaeinflüsse und -anpassungen werden dabei berücksichtigt. Im Fokus stehen jedoch nicht so sehr die Schlussfolgerungen auf sektoraler, sondern vielmehr die Ergebnisse auf nationaler Ebene, die entsprechende Entscheidungsfindungsprozesse unterstützen können. Im zweiten Schritt steht die soziale Komponente im Zentrum der Betrachtung, indem verschiedene Akteursgruppen hinsichtlich ihrer Vulnerabilität und Anpassungsfähigkeit an die erwarteten ökonomischen und klimatischen Veränderungen untersucht werden. Dabei fließen auch Ausgaben für Raumplanung, Informationsvermittlung und Kompetenzbildung in die Berechnungen mit ein.
Ergebnisse
Die EACC Studie kommt zu 7 Schlussfolgerungen, die zwischen 2010 und 2050 die Klimaanpassungspolitik in den Entwicklungsländern bestimmen sollen: Die Klimaanpassungskosten werden im Zeitraum 2010-2050 preisbereinigt und standardisiert zwischen 70 und 100 Mrd. \$ p.a. liegen. Die Kosten divergieren z.T. regional sehr stark. Afrikanische Staaten werden bspw. stärker betroffen sein als asiatische Entwicklungsländer.

- Es besteht eine grundlegende Verbindung zwischen ökonomischer Entwicklung und der Anpassung an den Klimawandel. Eine starke ökonomische Entwicklung verbessert die Rahmenbedingungen für die Anpassung an den Klimawandel.
- Investitionen in Humankapital und Bildung (bspw. Bewusstseinsbildung) müssen weiter vorangetrieben werden, um die Anpassungsfähigkeit großer Teile der Bevölkerung zu verbessern. Der Bekämpfung der Armut kommt dabei eine zentrale Rolle zu.
- Da immer noch große Unsicherheit und Forschungsbedarf hinsichtlich der tatsächlichen klimatischen Veränderungen besteht, wird empfohlen, „reine“ Klimaanpassungsmaßnahmen aufzuschieben bis belastbarere Klimaprognosen vorliegen. Die Entwicklungsländer sollten sich zunächst auf „low-regret“ Maßnahmen, wie Investitionen in regionale Entwicklung, Straßenbefestigung, effizientere Verteilung von Wasserressourcen oder Diversifikation im Nahrungsmittelanbau konzentrieren, die heute schon positive Auswirkungen unter möglichst vielen der Klimaszenarien versprechen.
- Da sich langfristige Klimaänderungen oftmals hinter kurzfristigen Klimaschwankungen verbergen, sollten schon heute Frühwarnsysteme an die Klimaschwankungen angepasst werden. So wird durch die kontinuierliche Anpassung an die immer stärkeren Klimaschwankungen langfristig Vorsorge für die Änderung des Klimas betrieben.
- Die fortschreitende Urbanisierung in Küstenregionen wird mit zunehmender Besorgnis betrachtet. Es wird empfohlen, Bauvorhaben zukünftig v.a. in weniger vom Klimawandel betroffene Regionen durchzuführen.
- Investitionsbasierte und institutionelle Ansätze zur Klimaanpassung werden in ihrer Bedeutung als gleichrangig angesehen. Beide Ansätze müssen mit derselben Zielstrebigkeit umgesetzt werden, um maximale Effizienz zu erzielen.

Anmerkungen

- Die Studie führt eine Abschätzung der jährlichen Anpassungskosten in den Entwicklungsländern für den Zeitraum 2010-2050 durch.
- Dabei werden ein globaler und ein Fallstudien basierter Ansatz verfolgt.
- Es werden nur Maßnahmen der öffentlichen Hand und keine privaten Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt. Investive Maßnahmen werden dabei gegenüber weichen Optionen bevorzugt.
- Die Ergebnisse der sektoralen Analysen werden zur Abschätzung der Gesamtkosten aggregiert.