

Mahammad Mahammadzadeh / Hendrik Biebeler

Anpassung an den Klimawandel

Analysen

Forschungsberichte
aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln

Mahammad Mahammadzadeh / Hendrik Biebeler

Anpassung an den Klimawandel

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek.

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-602-14848-6 (Druckausgabe)

ISBN 978-3-602-45463-1 (E-Book|PDF)

Diese Analyse wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Herausgegeben vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln

© 2009 Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH

Postfach 10 18 63, 50458 Köln

Konrad-Adenauer-Ufer 21, 50668 Köln

Telefon: 0221 4981-452

Fax: 0221 4981-445

iwmedien@iwkoeln.de

www.iwmedien.de

Druck: Hundt Druck GmbH, Köln

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Klimawandel und Klimaszenarien	7
2.1	Elemente des Klimasystems	7
2.2	Emissionsszenarien	8
2.3	Globale Klimamodelle und Klimafolgen	10
2.4	Regionale Klimamodelle und Klimafolgen	14
3	Anpassungsbedarf und Betroffenheiten	16
3.1	Anpassungsdefinition	16
3.2	Anpassungsgründe	17
3.3	Problemfelder der Anpassung	23
4	Anpassung der Sektoren an den Klimawandel	28
4.1	Land- und Forstwirtschaft	28
4.2	Energie- und Wasserwirtschaft	32
4.3	Industrie und Gewerbe	40
4.4	Gebäude	45
4.5	Verkehr und Logistik	49
4.6	Tourismus	53
4.7	Gesundheit	58
5	Fazit	61
	Literatur	66
	Kurzdarstellung / Abstract	71
	Die Autoren	72

1

Einleitung

Bedingt durch die globale Wirtschafts- und Finanzkrise lässt sich gegenwärtig eine Verdrängung des Themas Klimawandel in der öffentlichen Diskussion erkennen. Die thematische Verschiebung bedeutet allerdings nicht, dass das Problem des Klimawandels bereits gelöst wurde und nicht mehr existiert. Nach wissenschaftlichen Erkenntnissen ist er, trotz aller Klimaschutzanstrengungen, nicht mehr aufzuhalten, wohl aber zu begrenzen. Ungeachtet der Wirtschaftskrise besteht er nach wie vor und erfordert angesichts der damit einhergehenden und zu erwartenden ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen geeignete Strategien und Maßnahmen.

Ein wirksamer Umgang mit dem Klimawandel setzt eine strategische Ausrichtung in doppelter Hinsicht voraus. Zum einen müssen die Emissionen von klimarelevanten Gasen mittels technologischer Innovationen und der Entwicklung und Implementierung von Problemlösungen vermieden und/oder verringert werden (Mitigation). Zum anderen ist eine Anpassung an die Klimafolgen (Adaptation) erforderlich. Beim Klimaschutz nimmt Deutschland eine Vorreiterrolle ein. Um diese Position zu gewährleisten und auszubauen, leisten deutsche Unternehmen mit technologischen Konzepten einen großen Beitrag. Eine im März 2009 im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) aktualisierte McKinsey-Studie (BDI/McKinsey, 2009) zeigt, dass die Minderung der Treibhausgasemissionen mittels der bereits vorhandenen Technologien um bis zu 30 Prozent bis zum Jahr 2020 zwar anspruchsvoll, aber realisierbar ist. Dies wäre ohne Klimaschutzbeiträge der deutschen Wirtschaft etwa durch eine Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz nicht möglich.

Trotz des hohen Stellenwerts klimaschutzbezogener Maßnahmen und Strategien lässt sich dem Klimawandel jedoch nicht allein durch die Mitigation begegnen. „Die Klimaerwärmung ist kein flüchtiges, vorübergehendes oder kurzlebiges Phänomen“ (Stehr/von Storch, 2008, 3). Ungeachtet der erheblichen Reduktion von Emissionen werden für eine signifikante Umkehr des Klimawandels Zeiträume von Jahrzehnten benötigt. Daher ist eine Anpassung an die Klimafolgen unabdingbar. Durch geeignete Anpassungsmaßnahmen muss es gelingen, die Folgen der Klimaänderungen für die Betroffenen so gering wie möglich zu halten.

Der Klimawandel zeigt sich in verschiedenen Dimensionen oder Ausprägungsformen. Neben der natürlich-physikalischen – etwa Stürme und Starkregenereig-

nisse – sind die marktliche – etwa Nachfragerückgang oder -erhöhung – und die regulatorische Dimension – beispielsweise klima- und energiebezogene Regulierungen – als wesentlich zu nennen. Die Betroffenheit durch diese Dimensionen ist auf der regionalen und Branchenebene sehr unterschiedlich ausgeprägt. Während eine Region oder Wirtschaftsbranche von den Klimaänderungen profitieren kann, werden andere Regionen und Branchen davon negativ beeinflusst. Nur eine eingehende Untersuchung wird die Frage beantworten können, welche Branchen oder Regionen zu den Gewinnern oder Verlierern des Klimawandels gehören.

Hierzu ist es allerdings erforderlich, Kosten und Nutzen des Klimawandels auf einzel- und volkswirtschaftlicher Ebene zu erfassen und zu analysieren. „Quantitative Daten zu Kosten und Nutzen einer gesamtwirtschaftlichen Anpassung liegen derzeit nur in begrenztem Umfang vor“ (Stern Review, 2007, 23). Einige Studien versuchen – unter bestimmten Modellannahmen – die Anpassungskosten zu beziffern. So geht der „Stern-Report“ in den nächsten 50 Jahren von einem Temperaturanstieg von zwei bis drei Grad Celsius aus. Die aus den Klimafolgen entstehenden finanziellen Schäden können dem Bericht zufolge durch frühzeitiges Handeln drastisch reduziert werden. In Bezug auf Anpassungsmaßnahmen sollen allein für die OECD-Staaten etwa 15 bis 150 Milliarden Dollar nötig sein, nur um Infrastruktur und Gebäude klimabeständig zu gestalten (Stern Review, 2007, 23). Für Deutschland hat das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) im Jahr 2007 unter der Annahme eines globalen Oberflächentemperaturanstiegs von bis zu 4,5 Grad Celsius bis zum Jahre 2100 die Kosten der Anpassung auf 170 Milliarden Euro in den nächsten 50 Jahren beziffert (Kemfert, 2007, 165). Diese Kostenschätzungen basieren auf sehr unterschiedlichen Temperatur- und Handlungsszenarien. Zudem können verschiedene Preisparameter die Ergebnisse erheblich verändern. Diese Prognosen hängen jedoch von vielen unbekanntem Faktoren ab und wurden auch bezüglich der Berechnungen der anfallenden Kosten kritisiert. Die tatsächliche Höhe der Kosten des Klimawandels lässt sich nur mit sehr großer Unsicherheit abschätzen. Des Weiteren ist eine Monetarisierung der Veränderungen mit Problemen verbunden (Bardt/Selke, 2007, 7 f.).

Auch wenn eine quantitative Bewertung an Grenzen stößt, lassen sich auf Basis des gegenwärtigen Zustands und der zukünftigen Erwartungen Tendenzaussagen treffen. Die zukünftigen Erwartungen und Prognosen setzen jedoch klimarelevante Informationen für die Zukunft voraus. Die weitere Entwicklung des Klimawandels insbesondere in natürlich-physikalischer Dimension und die daraus resultierenden Risiken oder Chancen basieren auf Klimamodellierungen

mit zahlreichen Variablen. Neben der Datensicherheit und Datenverfügbarkeit bestehen im Zusammenhang mit dem Klimawandel noch weitere Problemfelder, die insbesondere eine Anpassung an die Klimafolgen erschweren oder sogar verhindern. Es würde dem Klimaschutz und einer rechtzeitigen Anpassung an den Klimawandel dienen, diese Probleme zu beseitigen oder zu reduzieren. Damit können nicht nur gegenwärtige Chancen genutzt und Risiken vermindert, sondern zudem zukünftige Chancen und Risiken des Klimawandels erkannt werden. Daran orientiert sich auch die folgende Analyse. Es wird versucht, durch eine systematische und detaillierte Darstellung und Diskussion relevanter Einflussgrößen die Betroffenheitssituation verschiedener Wirtschaftsbereiche näher zu untersuchen, Handlungsfelder aufzuzeigen und Anpassungsmaßnahmen vorzuschlagen.

In Kapitel 2 werden Emissionsszenarien vorgestellt und die wahrscheinlichen Klimaveränderungen im 21. Jahrhundert diskutiert. Ferner wird näher auf regionale und globale Klimamodelle sowie Klimafolgen eingegangen.

Kapitel 3 befasst sich zunächst mit der Bestimmung des Begriffs Anpassung und im weiteren Verlauf mit der Notwendigkeit einer Anpassungsstrategie. Viele Gründe sprechen für eine Anpassung an die Klimafolgen. Hierbei wird insbesondere auf wesentliche Einflussfaktoren wie Langlebigkeit des Klimawandels, Betroffenheit durch den Klimawandel und Synergien zwischen Anpassung und Mitigation eingegangen. Dabei werden die zentralen Ergebnisse aus den aktuellen IW-Umweltexpertenbefragungen zu Umweltthemen berücksichtigt und ausgewertet. Kapitel 3 schließt mit einer Untersuchung der Problemfelder im Bereich der Anpassung. Im Vergleich zur Mitigation lassen sich zahlreiche Einflussfaktoren identifizieren, die eine Anpassung an den Klimawandel erschweren. Das Spektrum der möglichen Hemmnisse ist breit und reicht neben zeitbezogenen Aspekten und unsicheren Informationen über den Klimawandel und die Klimafolgen bis hin zu unternehmensspezifischen Einflussgrößen wie beispielsweise mangelnde Ressourcen.

Eine eingehende Analyse der Anpassung auf der sektoralen Ebene wird in Kapitel 4 vorgenommen. Die Schwerpunkte dieses Hauptkapitels beziehen sich auf die wesentlichen Wirtschaftssektoren wie Land- und Forstwirtschaft, Energie- und Wasserwirtschaft, Verarbeitendes Gewerbe, Gebäudesektor, Verkehr und Logistik, Tourismus sowie den Gesundheitssektor. Dabei wird zunächst die Betroffenheitssituation des jeweiligen Sektors eingehend untersucht. In diese Analyse fließen weiterhin die Erkenntnisse und Ergebnisse aus theoretischen und empirischen Studien ein. Unter Berücksichtigung der Betroffenheitssituation werden die relevanten Handlungsfelder identifiziert und sektorenspezifische

Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen. Der Maßnahmenkatalog ist breit und umfasst neben den technischen und baulichen Schritten auch organisatorische und managementbezogene Anpassungsmaßnahmen. Die zentralen Erkenntnisse der Analyse gibt das fünfte Kapitel zusammengefasst wieder.

2

Klimawandel und Klimaszenarien

Es sind die Nachrichten aus dem Bereich der Klimaforschung – einem Spezialgebiet der Meteorologie – welche anderen Disziplinen, der Öffentlichkeit und der Politik die Ideen der Verletzlichkeit und der Abhängigkeit vom klimatischen Geschehen, des Anpassungsbedarfs und der Anpassungsfähigkeit sowie des Klimaschutzes nahe gebracht haben. Seither werden Auffälligkeiten bei Temperaturen, Niederschlägen und Windstärken als Indikatoren eines sich ungewöhnlich schnell wandelnden Klimas betrachtet, diesbezüglich untersucht und interpretiert. Im Hinblick auf Klimaschutz und -anpassung wird weiterhin zu vermehrten Anstrengungen aufgefordert beziehungsweise werden aufgrund bleibender Unsicherheiten kostspielige Reaktionen infrage gestellt. Dieser Abschnitt führt in die Perspektive der Klimaforschung ein. Unter „Klima“ soll dabei die Gesamtheit der Wettererscheinungen in einer festgelegten Zeitspanne verstanden werden.

2.1 Elemente des Klimasystems

Das Klima in den Regionen der Welt wandelt sich von jeher. Dieser Wandel wird – neben Veränderungen im Sonnensystem – nicht zuletzt durch die langfristigen tektonischen Verschiebungen der Erdkruste getrieben (Jacobbeit, 2007; Schöniewiese, 2003): Wasser- und Landmassen verschieben sich, Gebirge entstehen, Landmassen heben und senken sich, die Tätigkeit von Vulkanen wird angeregt, die Vegetation verteilt sich um und sorgt für neue Bilanzen im Gasaustausch und in der Verdunstung, Eismengen vergrößern und verkleinern sich und verändern die Reflexion der Sonnenstrahlung, welches ebenso durch Veränderungen in der Atmosphäre und in der Biosphäre geschieht. Unter anderem durch die Bildung und das Schmelzen von Eis in den Ozeanen erhalten die Meeresströmungen einen neuen Antrieb, da im Eis viel weniger Salz als im Ozeanwasser gebunden ist. Die Verdunstungen über den Meeren und auf dem Land sowie die

Lage von Gebirgen sind ihrerseits für die Wolkenbildung und damit für Niederschläge ursächlich. Es treten also mehrere Bereiche in Wechselwirkung; sie verändern sich zudem bereichsintern. Zu unterscheiden sind vor allem die Atmosphäre, die Biosphäre, die Hydrosphäre (Ozeane und Süßwasser), die Kryosphäre (Schnee und Eis) sowie die Geosphäre (feste Erde). Die einzelnen Veränderungen und Reaktionen beanspruchen unterschiedliche Zeiträume, sodass die Reaktionsketten kaum einmal zum Stillstand beziehungsweise zu einem vorübergehenden Gleichgewicht kommen.

Zu den hier beschriebenen Ursachen und Wirkungen treten weitere Einflüsse hinzu – zum Beispiel Veränderungen in der Tätigkeit der Sonne oder eben die Einflüsse des Menschen. Er greift stark in die Biosphäre ein und beeinflusst über die Emission von Schwebeteilchen und Gasen die Zusammensetzung der Atmosphäre. Zwar kann sich beispielsweise die Sonnenstrahlung auch unterjährig ändern, doch im Vergleich zu den allermeisten natürlichen Veränderungen spielt sich der Einfluss des Menschen in vergleichsweise kurzen Zeiträumen ab.

2.2 Emissionsszenarien

Um Aussagen über die menschlichen Einflüsse und damit über das zukünftige Klima machen zu können, bedarf es zweierlei: Prognosen über das Verhalten des Menschen und quantitativer Klimamodelle, die das zukünftige Klima vorhersagen. Menschliches Handeln wird in unterschiedlichen Zukunftsszenarien dargestellt. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind die Anteile fossiler kohlenstoffbasierter Energieträger, die Energieeffizienz der eingesetzten Technologien, das Wirtschaftswachstum – nicht zuletzt vermittelt über den globalen Austausch von Wissen, Waren und Kapital sowie Dienstleistungen – und das Bevölkerungswachstum.

In den IPCC-Berichten (Intergovernmental Panel on Climate Change) wird eine Vielzahl solcher Szenarien (rund 35) zu vier Emissionsszenarien-Familien (A1, A2, B1, B2) zusammengefasst (Nakicenovic/Swart, 2000). Während die A-Szenarien eine starke Betonung der ökonomischen Entwicklung beinhalten, stehen bei den B-Szenarien Ökologie und Nachhaltigkeit im Vordergrund. Die zweite Differenzierung findet zwischen einer global vernetzten (1) und einer regional segmentierten Welt (2) statt. Da innerhalb der Szenarienfamilie A1 zwischen den drei Ausprägungen A1FI (fossil-intensiv), A1T (regenerativ) und A1B (Balance aus fossil und nicht-fossil) unterschieden wird, vergrößert sich dieses Ensemble auf sechs sogenannte Markerszenarien. Diese Modelle beschreiben allesamt eine Welt ohne klimapolitische Anstrengungen, zeigen also den jeweiligen Handlungsbedarf auf.

Je nach Szenario steigen die Emissionen von 2000 bis 2030 um 25 bis 90 Prozent (IPCC, 2008, 48). Diese Angaben beziehen sich auf CO₂-Äquivalente, welche die unterschiedlich stark wirkenden Klimagase auf einen gemeinsamen Nenner bringen. Neben Kohlendioxid werden Distickstoffoxid, Methan, Schwefelhexafluorid, perfluorierte Kohlenwasserstoffe und teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe berücksichtigt. Bei der Betrachtung sämtlicher 35 Szenarien wird in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts der von den sechs Markerszenarien überdeckte Korridor durch emissionsintensive Szenarien stärker über- als von emissionsextensiven unterschritten. Die gesicherten Reserven vor allem an Kohle ermöglichen eine solche Entwicklung auf jeden Fall. Die aktuelle Arbeit an neuen Szenarien konzentriert sich jedoch mehr auf den mittleren Bereich der möglichen Emissionsentwicklung als auf die Erweiterung der Grenzen, die als abgesteckt gelten.

Diese Szenarien werden zunächst als gleichwertig behandelt, da sie keine Prognosen, sondern in sich konsistente Bilder einer möglichen Zukunft darstellen. Konsequenterweise werden sie in der Diskussion häufig als gleich wahrscheinlich bezeichnet. Parallel wird versucht, sie als Prognosen zu nutzen, denn hierfür gibt es einen sehr großen Bedarf. Mit dieser Zweitverwertung stellt sich die Frage nach der Wahrscheinlichkeit der modellierten „Zukünfte“. Bei den beiden Extremen einer primär ökonomischen wie einer primär ökologischen Entwicklung der Welt mögen Zweifel an der Realitätsnähe angebracht sein, mehr noch an einem längeren Aufhalten des Globalisierungsprozesses, sodass hier ein vorsichtiges Votum für eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit der Markerszenarien A1B und A1FI und damit für eine mittleres bis höheres Emissionsszenario abgegeben werden soll. Eine sehr engagierte internationale Klimapolitik, in der sich Freund und Feind auf kontrollierbare und vielleicht gar sanktionierbare Ziele und Beiträge verständigen, hat jedoch die Möglichkeit, optimistischere Vorhersagen Wahrheit werden zu lassen.

Grundsätzlich ist zu bedenken, dass sich auch ohne den Klimawandel die Welt stark verändert und – wie die Vergangenheit gezeigt hat – Prognosen für größere Zeiträume zumeist falsch sind. Wenn man sich auf ein solches Gedankenexperiment einlässt, ist es keineswegs unplausibel, dass sich die Welt ohne den Klimawandel mehr verändern könnte als durch den Klimawandel allein.

Im neuen Jahrtausend hat die Emission von Treibhausgasen noch einmal deutlich zugenommen. Dies gilt zum einen für die CO₂-Emissionen aus Verbrennungsprozessen, welche die Internationale Energieagentur derzeit bis einschließlich 2006 quantifiziert: Sie stiegen seit dem Jahr 2000 von 23,8 auf 28,4 Milliarden Tonnen (IEA, 2008, II.75). Zum anderen zeichnen die Meldungen an die Klima-

rahmenkonvention der Vereinten Nationen der 40 Unterzeichner-Staaten des Kyoto-Protokolls eine Stagnation der Treibhausgasemissionen – einschließlich Landnutzung und Landnutzungsänderungen – von 16,6 bis 16,7 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalente auf (UNFCCC, 2008, 7). Die aufstrebenden neuen Schwellenländer Brasilien, China und Indien gehören nicht zu der Gruppe der Kyoto-Staaten, für die sich per Saldo ein Emissionsstillstand ergibt. Dass dies das Bild verändert, zeigt der IPCC-Sachstandsbericht von 2007, dessen Datenstand 2004 endet: In dem Bericht wird eine Zunahme der globalen Treibhausgasemissionen von 44,7 Milliarden Tonnen im Jahr 2000 auf 49,0 Milliarden Tonnen im Jahr 2004 (IPCC, 2008, 6) wiedergegeben, was einem Wachstum von 9,6 Prozent in vier Jahren entspricht. Die aktuelle weltweite Wirtschaftskrise dürfte kurz- und vielleicht auch mittelfristig zu einer Verminderung dieses Anstiegs führen, nämlich dann, wenn die Verbrennungsprozesse während der Krise stärker zurückgefahren werden als Forschung und Entwicklung und so der Wachstumspfad nach der Krise auf einem höheren technischen Entwicklungsstand fortgeführt wird, als dies ohne die Krise geschehen wäre.

2.3 Globale Klimamodelle und Klimafolgen

Die bereits skizzierten physikalischen Zusammenhänge werden in Klima-beziehungswise Zirkulationsmodellen abgebildet, die für eine Reihe von Eigenschaften Austauschvorgänge zwischen Raumzeitpunkten durch eine sehr große Anzahl von Gleichungen beschreiben. Derzeit liegt bei globalen Klimamodellen der untere Bereich für die zugrunde gelegten Quader beziehungsweise Gitterboxen bei 100 Kilometer mal 100 Kilometer mal 100 Meter (direkt über dem Boden) sowie bei Zeitschritten von drei Minuten. Prozesse wie beispielsweise Gewitter und Hagelniederschläge, die eine geringere Ausdehnung als 100 mal 100 Kilometer aufweisen, werden durch empirisch gewonnene Schätzwerte hinzugefügt. Gerade in der Auswahl dieser Schätzwerte unterscheiden sich verschiedene Klimamodelle. Zukünftige Klimamodelle werden noch stärker Rückkopplungen beispielsweise über die Änderungen in der Bodenbedeckung berücksichtigen. Neben kleineren räumlichen Einheiten liegt hierin weiteres Verbesserungspotenzial. Zur Ausstattung eines Klimamodells gehören ferner die Ausgangswerte für die zu beschreibenden – atmosphärischen beziehungsweise ozeanischen – Eigenschaften sowie Informationen über die Topographie und die Bedeckung durch Boden, Eis und Vegetation.

Die Emissionen von Treibhausgasen in Höhe von mehreren Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr und damit die Erhöhung der Konzentration dieser Gase in der Atmosphäre haben zunächst Folgen für die Temperatur, da sie zwar

den Eintritt von Sonnenstrahlen nicht verhindern, aber ihre Reflexion, also die Abgabe von Energie zurück ins Weltall, verringern. So entsteht das Bild eines Treibhauses. Die ungleich stärkere Erzeugung von Wasserdampf spielt kaum eine Rolle, da er im Gegensatz zu den Treibhausgasen nicht lange in der Atmosphäre verbleibt. Dasselbe gilt für Schwebeteilchen, die den Eintritt der Strahlungsenergie abschwächen und somit dem Treibhauseffekt entgegenwirken. Ungefilterte Verbrennungsprozesse vor allem aus Kohlekraftwerken rufen diesen Effekt hervor und können für die 1940er und 1950er Jahre, in denen sie besonders stark verbreitet waren, zur Erklärung einer Pause in der beobachteten Erderwärmung in dieser Zeit herangezogen werden. Ein langfristiger klimaschützender Effekt ist mit dieser Form von Umweltverschmutzung zwar nicht verbunden. Eine schnelle weltweite Ausrüstung aller Kohlekraftwerke mit Rauchgasentschwefelungsanlagen hätte jedoch binnen kurzer Frist voraussichtlich eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur um ein knappes Grad Celsius zur Folge.

Das IPCC beziffert den anthropogenen Treibhauseffekt für das Jahr 2000 auf rund 0,75 Grad Celsius gegenüber der vorindustriellen Zeit (IPCC, 2008, 34). Zu dieser bereits erreichten Erhöhung kommen für den Referenzfall einer konstanten Treibhausgaskonzentration im Laufe des 21. Jahrhunderts circa 0,6 Grad hinzu (IPCC, 2008, 50). Die Klimamodelle sämtlicher Emissionsszenarien weisen jedoch eine stärkere Erhöhung der Jahresmitteltemperaturen aus (Tabelle 1 und 2). Bis zur Mitte des Jahrhunderts könnten im Mittel 1,5 Grad erreicht werden – hier liegen die Berechnungen für die Markerszenarien noch dicht beieinander (Collins et al., 2006, 763). Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte sich die globale Temperatur um knapp 3,0 Grad erhöhen, wobei die Mittelwerte aus den Szenarien zwischen 1,8 und 4,0 Grad liegen, ihre zugehörigen Bandbreiten zwischen 1,1 und 6,4 Grad (IPCC, 2008, 50). Diese Werte sind als Mittelwerte für die Veränderung der Temperatur auf der gesamten Erdoberfläche zu verstehen. Hier von gibt es groß- wie kleinräumliche Abweichungen. Stark überdurchschnittlich steigt die Temperatur in den Modellen in dem vom nördlichen Polarkreis umschlossenen Gebiet. Tendenziell sind die Temperaturerhöhungen in den Kontinentalklimabereichen überdurchschnittlich stark ausgeprägt. Auf die Unsicherheiten in den Modellen weist der Synthesebericht ausdrücklich hin (IPCC, 2008, 82 ff.).

Die höhere Temperatur ist jedoch nur der Ausgangspunkt für eine lange Reihe weiterer Folgen. Unmittelbar führt eine Erhöhung der Temperatur des Wassers der Ozeane zu einer Ausdehnung seines Volumens und damit zu einem Anstieg des Meeresspiegels, der mittelbar, jedoch in wesentlich längeren Zeiträumen durch eine Umwandlung von Eis – vor allem der Polkappen – in Wasser verstärkt wird. Bis zum Jahr 2100 wird nach dem IPCC-Bericht ein Meeresspiegelanstieg

Projizierte mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche und Meeresspiegelanstieg 2090–2099 verglichen mit 1980–1999

Tabelle 1

Fall	Temperaturanstieg		Meeresspiegelanstieg
	Beste Schätzung	Wahrscheinliche Bandbreite ¹	Modellbasierte Bandbreite ²
	in Grad Celsius		in Meter
Konstante Jahr-2000-Konzentration	0,6	0,3 – 0,9	k. A.
B1-Szenario	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
A1T-Szenario	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
B2-Szenario	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
A1B-Szenario	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
A2-Szenario	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
A1F1-Szenario	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

¹ 66-Prozent-Wahrscheinlichkeitsintervall; ² Ohne zukünftige rapide Änderungen des Eisschlusses.
Quelle: IPCC, 2008, 50

Projizierte mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche

Tabelle 2

zu vier verschiedenen Zeiträumen verglichen mit 1980–1999, in Grad Celsius

	2011–2030	2046–2065	2080–2099	2180–2199
Konstante Jahr-2000-Konzentration	0,37	0,47	0,56	k. A.
A2-Szenario	0,64	1,65	3,13	k. A.
A1B-Szenario	0,69	1,75	2,65	3,36
B1-Szenario	0,66	1,29	1,79	2,10

Quelle: Collins et al., 2006, 763

von 30 bis 40 Zentimetern erwartet, wobei die gesamte Bandbreite über die Szenarien den Bereich zwischen rund 20 und 60 Zentimetern umfasst (IPCC, 2008, 50). Eine vollständige Eisschmelze der Polkappen zöge eine Erhöhung des Meeresspiegels um mehrere Meter nach sich. Zu den unmittelbaren Veränderungen einer höheren CO₂-Konzentration zählt ferner eine Versauerung der Weltmeere durch den CO₂-Eintrag (WBGU, 2006, 67 ff.).

Stärkere Veränderungen sind für die Niederschlagsmengen zu erwarten. Insgesamt gilt eine Erhöhung der Niederschlagsmengen als wahrscheinlich, jedoch sind die regionalen Unterschiede so groß, dass sich der Gesamttrend schlecht zur Beschreibung der weltweiten Auswirkungen eignet. Hinzu kommt eine Veränderung in der Verteilung der Niederschläge über das Jahr: Verstärkte Niederschläge

in der bereits heute regenreichen Zeit und geringere in der regenärmeren können zu vielfältigen Problemen führen, ohne dass sich die Jahresniederschlagsmenge ändert. Geringere Niederschläge – jeweils stärker in den Sommermonaten – werden auf der Nordhalbkugel für Mittelamerika einschließlich des Südens der USA sowie für den Mittelmeerraum bis zur Sahara und in den Wintermonaten für den äußeren Teil Südostasiens erwartet, auf der Südhalbkugel im dortigen Winter in weiten Teilen Südamerikas sowie weitgehend ganzjährig in Südafrika und in Australien. Ein großer Teil dieser Regionen leidet schon heute unter einem Mangel an Niederschlägen.

Der sich ändernde Bodendruck und Veränderungen in den Druckunterschieden beeinflussen die Windströmungen und bewirken ein Auftreten von Extremwetterereignissen. Dazu zählen einerseits Stürme und Starkniederschlag, andererseits Trockenperioden, Hitzewellen und Überschwemmungen. Auch in trockenheitsgefährdeten Bereichen können – schwerer nutzbare – intensive Niederschläge zunehmen, woraus sich eine Verschlechterung der Wasserversorgung ergibt. Stärkere Winde erhöhen zudem das Risiko von Überflutungen in Küstenregionen. Auch diese Ergebnisse der Klimamodelle sind es, die eine über zwei Grad hinausgehende Erderwärmung gegenüber den Jahresmitteltemperaturen um 1900 als sehr risikobehaftet erscheinen lassen. Eine Versauerung der Meere beeinträchtigt die kalkbasierte Schalenbildung beispielsweise von Korallen und greift damit breitflächig in die Basis vieler Nahrungsketten ein.

Der vergleichsweise schnelle Wandel des Klimas und die Zunahme von ungünstigeren Bedingungen werden die belebte Natur stark beeinflussen und zu einem Verlust an Biodiversität führen. In einigen Gebieten werden sich dagegen die klimatischen Bedingungen verbessern und die pflanzliche und tierische Produktion erhöhen. Insgesamt können sich die Produktionsbedingungen nicht zuletzt für Nahrungsmittel durch einen leichten Klimawandel etwas verbessern; Veränderungen von mehr als zwei Grad erzeugen mehr Verlierer als Gewinner. In den heutigen Armutsregionen wird es überwiegend direkt zu einer Verschlechterung der Versorgung mit Nahrungsmitteln kommen.

Die Produktion von Nahrungsmitteln hängt neben der Temperatur zugleich von der Wasserversorgung ab. Wasser wird auch für industrielle Prozesse und hier vor allem für die Energieerzeugung benötigt, und zwar möglichst gleichmäßig über das Jahr verteilt. Ein vorübergehendes Zuviel an Wasser ist darüber hinaus eine Herausforderung für den Katastrophenschutz. Gerade im gemeinsamen Auftreten mit Stürmen gefährden Starkregen und Fluten die Nahrungsmittelproduktion sowie die Produktion von Biomasse generell. Im Küstenbereich können Überflutungen mit Salzwasser die Süßwasservorkommen zerstören.

Der Gesundheitszustand der Menschen wird durch den Klimawandel teilweise beeinträchtigt, teilweise auch verbessert. In kalten Regionen ist mit einer Verbesserung zu rechnen, in warmen mit einer Verschlechterung, dies auch durch eine weitere Verbreitung von Krankheitserregern. Hitzewellen und städtische Wärmeinseln setzen Menschen in häufigeren und längeren Zeitintervallen unter gesundheitlichen Stress.

Ein Blick auf weitere gewichtige mittelbare Folge des Klimawandels soll diesen kurzen Überblick abschließen, nämlich die örtlichen Veränderungen von Bevölkerung und Produktion: Katastrophengefährdete Gebiete werden verlassen und sicherere Gebiete stärker in Anspruch genommen, günstige Regionen erhalten im nationalen wie im internationalen Maßstab größeren Zulauf, ein zusätzlicher Impuls der Verstärkung wird gesetzt. Menschen wandern aus ökonomischen und gesundheitlichen Gründen. Arme wie reiche Menschen passen sich in der Wahl ihres Aufenthaltsortes an den Klimawandel und seine unmittelbaren wie mittelbaren Folgen an.

2.4 Regionale Klimamodelle und Klimafolgen

Für viele Regionen werden Klimamodelle mit einer deutlich höheren räumlichen Auflösung erstellt und errechnet. In Deutschland geschieht dies für mehrere Modelle und an mehreren Instituten. Die Größe der einzelnen Gitterboxen wird bis auf zehn mal zehn Kilometer herunterskaliert, für einzelne Regionen auch auf ein mal ein Kilometer. Der Ausgangspunkt ist in jedem Fall eines der globalen Klimamodelle. Dieses liefert die Randdaten des Modells, das mit kleineren Gitterboxen mehr Daten über Oberflächeneigenschaften operiert als das globale Klimamodell. Es gibt zwei Arten von regionalen Klimamodellen: dynamische und statistisch-dynamische. Im Gegensatz zu den dynamischen regionalen Klimamodellen wie CLM (Climate Local Model) und REMO (Regionalmodell) werden bei den statistisch-dynamischen Modellen wie STAR (Statistisches Regionalisierungsmodell) und WETTREG (Wetterlagenbasierte Regionalisierungsmethode) die lokal gemessenen Wetterdaten zusätzlich berücksichtigt. Das soll zu einer Verbesserung von Prognosen in mittlerer Frist führen, kann aber durch die stärkere Gewichtung des aktuellen Klimas die langfristige Dynamik – vielleicht schon in der zweiten Jahrhunderthälfte – unterschätzen.

Mit Blick auf die Änderungen der Temperaturen werden für Deutschland keine größeren Abweichungen vom globalen Trend bestimmt (BMU, 2009, 16 f.). Innerhalb Deutschlands können die Temperaturen im Sommer in der östlichen Hälfte stärker steigen als in der westlichen; im Winter profitiert der Westen etwas mehr von der Erwärmung als der Osten (siehe Abbildung 1). Die Anzahl der Tage,

Temperaturänderung in Deutschland

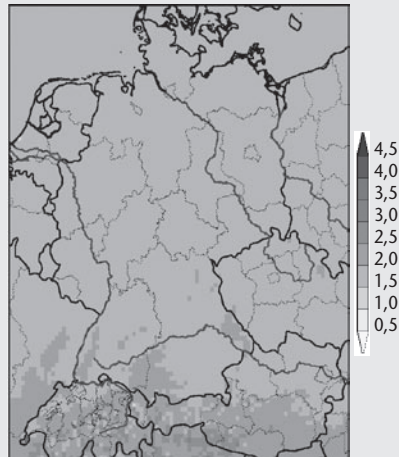
Abbildung 1

nach dem Regionalmodell (REMO) für das A1B-Emissionsszenario, in Grad Celsius

Sommer: 2035–2064 zu 1961–1990



Winter: 2035–2064 zu 1961–1990



* Lufttemperatur zwei Meter über dem Boden.
Quelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie, 2008

an denen eine Temperatur von über 30 Grad Celsius gemessen wird, dürfte sich verdreifachen. Zugleich verlängert sich die Vegetationsperiode deutlich.

Veränderungen bei den Niederschlägen werden größer, wenn man über die Jahrhundertmitte hinausschaut. Die sommerlichen Niederschläge können in Nordostdeutschland und in Süd- und Südwestdeutschland deutlich zurückgehen und für einen hohen Anpassungsdruck sorgen (für Brandenburg: Schaller, 2008, 10 und 13). Er wird in Abschnitt 4.1 näher beschrieben. Lokale Besonderheiten wie Hanglagen und freie Flächen ohne Schutz vor Erosion können die Wirkung zu geringer oder zu starker Niederschläge im kleinen räumlichen Maßstab verstärken oder – bei einem schnellen Abfluss überschüssigen Wassers oder beim Zurückhalten dringend benötigter Niederschläge – abschwächen. Regional kann der Anpassungsbedarf damit sehr unterschiedlich ausfallen. Ein Ausgleich über Verwaltungsgrenzen hinweg wird – nicht zuletzt bei der Wasserversorgung und beim Hochwasserschutz – deutlich dringlicher werden.

Regional ergeben sich zugleich Chancen, beispielsweise die Verschiebung der Weinbaugrenzen und der Anbau neuer Kulturen sowie neue Möglichkeiten der Freizeitgestaltung. Sie ermöglichen Anpassungen im positiven Sinn, bedürfen jedoch häufig eines zeitlichen Vorlaufs.

Größere Bedeutung wird dem Klimawandel jedoch als Störung oder Risiko beigemessen. Als anfällig und verletzlich werden Regionen, aber auch Branchen oder Individuen bezeichnet, die sowohl empfindlich beziehungsweise sensitiv auf die infrage stehenden Veränderungen reagieren als auch tatsächlich diesen Veränderungen ausgesetzt sind. Eine hohe Widerstandskraft beziehungsweise Resilienz (Holling, 1973) steht für die Fähigkeit, eintretende negative Auswirkungen zu kompensieren – so wie sich der Körper von einem Erkältungsinfekt durch die Aktivierung eigener Abwehrkräfte wieder erholt. Bei der Übertragung dieses Konzepts auf Wirtschaftsräume wäre das Ziel der Resilienz jedoch um die Schumpetersche Idee der schöpferischen Zerstörung zu erweitern: Anzustreben ist ein neuer funktionsfähiger Zustand, der auf die geänderten Verhältnisse ausgerichtet ist, und nicht notwendigerweise eine Wiederherstellung des Ausgangszustands. Ein gewisses Maß an materiellen wie immateriellen Ressourcen ist jedoch auch für die Fähigkeit, sich auf diese Weise zu reorganisieren, eine Voraussetzung.

3

Anpassungsbedarf und Betroffenheiten

3.1 Anpassungsdefinition

Im Vergleich zur Mitigation handelt es sich bei der Anpassung (Adaption/ Adaptation) um ein junges Forschungsfeld. Dies schlägt sich auch in der Begriffsbestimmung nieder. Es fehlt bisher eine einheitliche Definition der Anpassung, wenn auch eine erste Annäherung bei der Begriffsauslegung zu beobachten ist. Es existieren zahlreiche Definitionen oder inhaltliche Beschreibungen mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen und Akzentuierungen. Im Folgenden werden die drei am meisten verbreiteten Begriffsauslegungen vorgestellt.

Eine erste umfassende Begriffsbestimmung nimmt das „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) vor. Nach dem IPCC-Bericht wird darunter die Anpassung ökologischer, sozialer oder ökonomischer Systeme als Reaktion auf aktuelle oder erwartete Klimastimuli und deren Auswirkungen und Einfluss verstanden. Der Begriff bezieht sich auf Veränderungen in Prozessen, Handlungs-routinen oder Strukturen, um potenzielle Schäden abzumildern, aufzuheben oder mögliche Vorteile durch den Klimawandel zu ziehen. Dies beinhaltet Anpassungsmaßnahmen, welche die Verwundbarkeit von Kommunen, Regionen oder Aktivitäten gegenüber Klimawandel und -variabilität reduzieren sollen (IPCC, 2001).

Ähnliche Akzente lassen sich auch im EU-Grünbuch „Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU“ der Europäischen Kommission erkennen. Nach der EU-Kommission dienen die Anpassungsmaßnahmen der Bewältigung der Klimafolgen und der Vorwegnahme künftiger Klimaveränderungen. „Anpassung zielt darauf ab, die Risiken und Schäden gegenwärtiger und künftiger negativer Auswirkungen kostenwirksam zu verringern oder potenzielle Vorteile zu nutzen“ (Europäische Kommission, 2007a, 4).

Die vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossene „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) bezeichnet Anpassung als Initiativen und Maßnahmen zur Verringerung der Empfindlichkeit und Verletzlichkeit von natürlichen und menschlichen Systemen gegenüber den vorhandenen oder erwarteten Auswirkungen des Klimawandels (BMU, 2009).

Aus den vorgelegten Definitionen geht hervor, dass der Begriff der Anpassung vorwiegend über eine inhaltliche Konkretisierung sowie Ziel- und Maßnahmenbeschreibung definiert wird. Dabei lassen sich einige charakteristische Merkmale erkennen. Anpassung an die Klimafolgen betrifft natürliche, gesellschaftliche und ökonomische Systeme. Es handelt sich um einen Prozess, der sowohl die Verminderung von klimabedingten Risiken und Schäden als auch die Erhöhung und die Nutzung von potenziellen Chancen anvisiert. Eine derartige Anpassung ist nicht nur reagierend auf die bereits eingetretenen Schäden, sondern auch vorausschauend ausgerichtet. Damit hat sie neben einer Entlastungskomponente auch eine Schutz- und Vorsorgekomponente. Vor diesem Hintergrund ist unter der Anpassung an die Klimafolgen „ein langwieriger und kontinuierlicher Prozess“ (Europäische Kommission, 2009, 18) zu verstehen.

3.2 Anpassungsgründe

Aus der vorgenommenen Begriffsauslegung lässt sich bereits eine grundlegende Notwendigkeit zur Anpassung an die sich veränderten Klimabedingungen herleiten. Darüber hinaus sprechen noch weitere Gründe dafür. Auf die wichtigsten Anpassungsgründe wird im Folgenden kurz eingegangen:

Langlebigkeit des Klimawandels

Trotz der nationalen und internationalen Anstrengungen der Politik im Klimaschutz und des geleisteten klimaschutzbezogenen Beitrags der Wirtschaft ist der Klimawandel nicht vollständig aufzuhalten. Es handelt sich dabei nicht um ein kurzlebigen Phänomen und vorübergehendes Ereignis. Zwischen der Durchführung von Klimaschutzmaßnahmen und deren spürbarer Wirksamkeit besteht eine längere Zeitspanne. Der bereits in Gang gesetzte Klimawandel

„lässt sich von heute auf morgen auch nicht durch noch so große Anstrengungen auf dem Gebiet der Mitigationspolitik vermeiden“ (Stehr/Storch, 2008, 3). Eine Umkehr des Klimawandels ist daher nur innerhalb großer Zeiträume denkbar. Stehr und Storch sprechen in diesem Zusammenhang von „Zeiträumen von Jahrzehnten, wenn nicht sogar Jahrhunderten“ (Stehr/Storch, 2008, 5).

Betroffenheit durch den Klimawandel

Neben dem nötigen langen Zeitraum für eine mögliche Umkehr des Klimawandels einerseits besteht andererseits bereits heute in verschiedenen deutschen Regionen und Wirtschaftsbereichen eine Betroffenheit durch die Klimafolgen.

Die deutsche Wirtschaft ist vom Klimawandel direkt – etwa durch veränderte klimatische Bedingungen wie Stürme, Starkregenereignisse, Hagel und Überflutungen – und indirekt – beispielsweise durch den Emissionshandel – betroffen. Aufgrund dieser Betroffenheit und der damit einhergehenden Chancen und Risiken messen die Unternehmen dem Klimawandel eine strategische Bedeutung bei. Dies geht auch aus einer breit angelegten Online-Umfrage des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln (IW) im Juli und August 2007 im Rahmen des IW-Zukunftspanels hervor, an der Geschäftsführer von über 2.600 Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen wie etwa Chemie, Gummi und Kunststoffe, Metall- und Elektroindustrie, Baugewerbe, Verkehr, Handel, Energie- und Wasserversorgung, Ernährungsgewerbe, Textilgewerbe und Holzgewerbe beteiligt waren. Im Rahmen dieser Befragung stufen fast 44 Prozent der Befragten den Klimawandel als ein wichtiges globales Thema unter ihren Top-Drei-Themen ein (Biebeler et al., 2008).

Dies kann insbesondere aufgrund der eigenen direkten Betroffenheit der Unternehmen durch Wetterextreme – wie etwa die Gefährdung von Standorten durch Überschwemmungen oder schwere Stürme –, aber auch durch Betroffenheit von Lieferanten oder einer durch den Klimawandel veränderten Nachfrage der Fall sein. Knapp jeder Dritte der 185 befragten Umweltexperten aus den Unternehmen und Wirtschaftsverbänden hielt im Juni 2008 im Rahmen des IW-Expertenpanels eine Betroffenheit in den kommenden zehn Jahren für wahrscheinlich. Mehr als die Hälfte der befragten Umweltexperten erwartet diese in erster Linie durch die „Beeinträchtigung der Produktion“ (Abbildung 2). Rund 50 Prozent der Experten erwarten mit dem Klimawandel marktinduzierte Chancen durch eine „Erhöhung der Nachfrage“, während jeder Vierte eine „Verminderung der Nachfrage“ nicht ausschließt. Ein weiteres Risiko für Unternehmen kann nach Ansicht von 39 Prozent der Befragten in der „Gefährdung des Standorts“ durch die negativen

Auswirkungen des Klimawandels auf die Unternehmen

Abbildung 2

Angaben in Prozent



Quelle: IW-Umweltexpertenpanel 3/2008; Befragung von 185 Umweltexperten im Juni 2008

Klimafolgen bestehen. Für knapp 25 Prozent ist die „Beeinträchtigung der Arbeitsleistung“ etwa durch anhaltende Hitze eine weitere negative Ausprägungsform der Betroffenheit.

Somit werden durch den Klimawandel nicht nur Risiken, sondern auch Chancen erwartet. Eine Aussage, welcher Wirtschaftsbereich vom Klimawandel eher profitiert oder eher beeinträchtigt wird, kann nur unter Berücksichtigung einer Vielzahl von relevanten natürlich-physikalischen, marktbezogenen und regulatorischen Einflussgrößen getroffen werden. Eine eingehende Analyse für ausgewählte Wirtschaftsbereiche wird in Kapitel 4 vorgenommen. Der Frage nach einer allgemeinen Einschätzung der Umweltexperten wurde im Rahmen der bereits erwähnten Panelbefragung nachgegangen.

Die Umweltexperten wurden zu ihrer Einschätzung befragt, in welchen Wirtschaftsbereichen sie die größten Chancen und Risiken durch natürlich-physikalische und marktliche Folgen des Klimawandels sehen. Aus den Antworten lässt sich eine stark negativ vermutete Betroffenheit der Land- und Forstwirtschaft erkennen (Abbildung 3). Durch die natürlich-physikalischen und marktlichen Klimafolgen sehen knapp 83 Prozent der Umweltexperten in der Land- und Forstwirtschaft den Bereich, der am stärksten von Risiken betroffen ist – zum Beispiel durch die Verbreitung von Schädlingen oder Schwankungen bei den Erträgen. Fast jeder Dritte sieht aber auch Chancen für diese Branche etwa durch höhere Temperaturen und zunehmende Nachfrage.

Über die Hälfte der befragten Umweltexperten erwartet die größten Chancen für den Bausektor – zum Beispiel durch zunehmenden Bedarf an Verschattung und Durchlüftung von Gebäuden oder den Bedarf an Investitionen im Küstenschutz. Risiken sehen hier nur 17 Prozent. Für die Energiewirtschaft halten sich

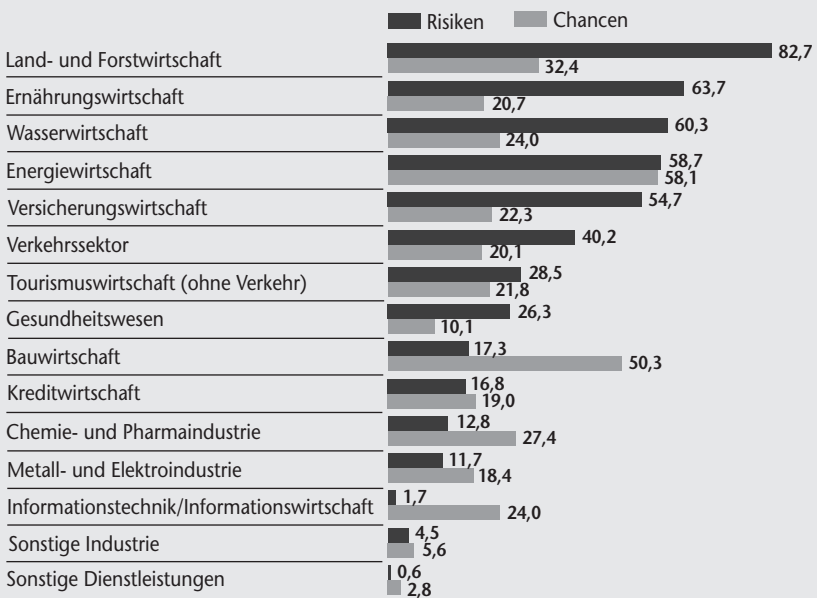
die Chancen und Risiken des Klimawandels nach Einschätzung der Umweltexperten ungefähr die Waage. Während gut 58 Prozent eher Chancen etwa durch die zunehmende Bedeutung von erneuerbaren Energien oder Effizienzmaßnahmen vermuten, erwarten knapp 59 Prozent eher Risiken beispielsweise durch mangelndes Kühlwasser oder erhöhte Versicherungsbeiträge für gefährdete Standorte.

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel sehen die Umweltexperten mehr Risiken als Chancen für weitere Wirtschaftsbereiche wie die Wasserwirtschaft – zum Beispiel durch Überlastung der Abwassersysteme und Hochwassergefahr –, den Verkehrssektor – etwa durch zunehmende Schäden an der Verkehrsinfrastruktur –, die Versicherungswirtschaft – beispielsweise durch steigende Belastungen aufgrund der versicherten Schäden –, die Tourismuswirtschaft ohne Verkehr – zum Beispiel wegen Schneeunsicherheiten in Wintersportgebieten – und dem Gesundheitswesen – etwa durch eine zunehmende Gefahr von übertragbaren Infektionskrankheiten. Zu den Gewinnern hingegen können nach Einschätzung der Umweltexperten Bereiche wie die Kreditwirtschaft, Chemie- und Pharmaindustrie, Metall- und Elektroindustrie sowie Informationswirtschaft

Betroffenheit der Wirtschaftssektoren

Abbildung 3

Angaben in Prozent



Quelle: IW-Umweltexpertenpanel 4/2008; Befragung von 182 Umweltexperten im September 2008

gezählt werden. Als möglicher Grund hierfür ist vor allem der zunehmende Bedarf an neuen klimafreundlichen Produkten, Verfahren und Anpassungsprodukten wie beispielsweise Pflanzenschutzmittel oder Frühwarnsysteme zu nennen.

Vor dem Hintergrund der gegenwärtigen und der zu erwartenden Betroffenheit von Wirtschaftsbereichen ist eine Anpassung an die Klimafolgen zwingend erforderlich. Erfolgt diese rechtzeitig, können die Chancen genutzt und die Risiken reduziert werden. Die Chancen für die Unternehmen beschränken sich allerdings nicht nur auf den Fall, in dem zum Beispiel die Landwirtschaft durch die veränderten klimatischen Bedingungen – etwa bessere Witterungsverhältnisse – mehr Erträge erzielen und somit direkt von den Klimafolgen profitieren kann. Des Weiteren können sich für die Wirtschaftssektoren und Unternehmen durch rechtzeitige Einstellung auf den Klimawandel und „aus dem frühzeitigen climate-proofing ihrer Geschäftstätigkeit gegenüber Wettbewerbern“ (Ott/Richter, 2008, 6) zahlreiche Chancen ergeben. Über diese eigene Anpassung hinaus bietet die zunehmende private und öffentliche Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen Chancen für die Unternehmen, neue Geschäftsfelder – beispielsweise im Bereich Hochwasserschutz oder Küstenschutz – zu erschließen (Ott/Richter, 2008, 18). Somit lassen sich im Bereich der Anpassung große Marktpotenziale erkennen, die Chancen für Pionierunternehmen eröffnen.

Im Vergleich zum Marktpotenzial im Bereich der Mitigation beispielsweise durch die Klimaschutz- und Umweltschutztechnologien sind jedoch die vorhandenen „Potenziale im Bereich der Adaptionsmaßnahmen bisher wenig beachtet worden“ (Hauff/Rübbelke, 2009, 44). Insbesondere auf internationaler Ebene und vor allem in einigen Entwicklungs- und Schwellenländern entstehen aufgrund des steigenden Anpassungsbedarfs neue Anpassungsmärkte. Dadurch ergeben sich große Chancen für Unternehmen mit entsprechenden Produkten und Dienstleistungen beispielsweise im Wassersektor oder im Landwirtschaftssektor für die Anbieter von resistenten Getreidesorten (siehe auch Hauff/Rübbelke, 2009, 44). Durch den Export derartiger Leistungen und Problemlösungen kann der Anpassungsprozess in Entwicklungsländern unterstützt und effizienter vorangetrieben werden.

Synergien zwischen Anpassung und Mitigation

Zwischen Maßnahmen zur Anpassung an die Klimafolgen und zur Verminderung von Treibhausgasemissionen lassen sich einige Zusammenhänge erkennen. Grundsätzlich können neutrale, konfliktäre oder komplementäre Beziehungen vorliegen. Neutralität liegt vor, wenn sich eine Anpassungsmaßnahme auf den Klimaschutz weder positiv noch negativ auswirkt. Beispielsweise besteht durch

eine Deicherhöhung als Anpassungsmaßnahme gegen Überschwemmungen kein Einfluss auf die Verminderung von Emissionen. Eine negative Beziehung zeigt sich vor allem in Zielkonflikten. Diese bestehen zum Beispiel dann, wenn mit einer Anpassungsmaßnahme wie etwa künstlicher Beschneidungen mit Schneekanonen ein erhöhter Energie- und Wasserverbrauch verbunden ist. Eine positive Beziehung liegt wiederum vor, wenn beispielsweise im Bausektor durch solare Kühlung anstelle der konventionellen Klimaanlage in den heißen Sommermonaten der Ausstoß von Treibhausgasen vermindert wird.

Trotz der verschiedenen Beziehungskonstellationen sind Mitigation und Anpassung als zwei grundsätzlich unterschiedliche strategische Optionen mit spezifischen Zielen im Umgang mit dem Klimawandel zu betrachten. Dem Klimawandel kann nicht ausschließlich mit Anpassungsmaßnahmen begegnet werden, denn bei Anpassung sind Emissionsminderungen nur zufällig. Mitigation ist daher sinnvoll und notwendig. Ohne wirksame Klimaschutzmaßnahmen kann die Anpassung an den Klimawandel an ihre Grenzen stoßen. Langfristig können die Kosten für die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen mit fortschreitendem Klimawandel steigen. Umgekehrt genügt die Mitigation allein im Kampf gegen den Klimawandel ebenfalls nicht. Die Energiespar- und Verminderungsmaßnahmen werden „nur selten die Verletzlichkeit unserer Lebensgrundlagen gegenüber den Gefahren des Klimas vermindern“ (Stehr/Storch, 2008, 2). Daher ist auch eine rechtzeitige Anpassung an die Klimafolgen notwendig, ohne die in

der Zukunft mit zusätzlichen ökonomischen und sozialen Folgekosten zu rechnen ist.

Vor diesem Hintergrund sollen die beiden Strategien gemeinsam verfolgt werden. Genau dies wird auch von der Wirtschaft favorisiert. Wie aus Abbildung 4 zu entnehmen ist, vertreten fast drei Viertel der 182 befragten Umweltexterten im September 2008 im Rahmen des IW-Umweltextertenpanels die Mei-



nung, dass sich die Wirtschaft im Kampf gegen den Klimawandel der zwei Strategien parallel bedienen soll. Ein alleiniges Verfolgen der Anpassungsstrategie wird nur von 5 Prozent der Befragten bevorzugt. Jeder Fünfte ist der Ansicht, dass die Maßnahmen zum Klimaschutz allein ausreichen.

3.3 Problemfelder der Anpassung

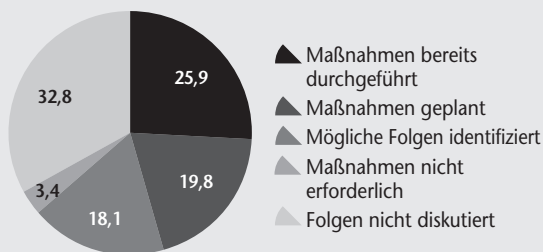
Im Kontext der Strategien gegen den Klimawandel kann der Aspekt der öffentlichen und privaten Güter eine Rolle spielen. Obgleich sich Mitigation und Anpassung im Sinne grundsätzlicher strategischer Handlungsmöglichkeiten nicht ausschließen, unterscheiden sie sich jedoch insbesondere durch die Struktur des hergestellten Guts. Klimaschutz erfüllt die klassischen Eigenschaften eines öffentlichen Guts, bei dem sowohl die Nichtrivalität im Konsum als auch die Nichtanwendbarkeit des Ausschlussprinzips gelten. Von daher besteht auch die Gefahr, dass Individuen vom Klimaschutz profitieren, ohne sich an den Kosten zu beteiligen. Im Unterschied hierzu handelt es sich bei der Anpassung an die Klimafolgen eher um private Güter oder regionale öffentliche Güter. In diesem Fall ist vielmehr jeder Einzelne daran interessiert, sich auf den Klimawandel so vorzubereiten, dass die daraus resultierenden Schäden oder Kosten für ihn möglichst gering bleiben. Der Kreis der Profiteure einer Anpassungsmaßnahme wie beispielsweise der Bau eines Deichs gegen Hochwasser in einer bestimmten Region kann klar abgegrenzt werden (Bardt, 2005, 259 ff.; Bardt/Selke, 2007, 12 ff.).

Vor diesem Hintergrund verlangt Anpassung als privates Gut im Vergleich zum Klimaschutz individuelle Anstrengungen und Leistungen. Hierfür können bei den einzelnen Akteuren die eigene Betroffenheitssituation sowie die gegenwärtigen und künftigen Erwartungen bezüglich der klimabedingten Risiken (ohne eine Anpassung) und Chancen (mit der Anpassung) die Anpassungsentscheidungen determinieren. Anpassungsmaßnahmen werden vorwiegend dann durchgeführt, wenn die Betroffenen dadurch erhöhte Chancen oder verminderte Risiken für sich erwarten. Aufgrund dieses privaten Kosten-Nutzen-Kalküls können weitere Einflussfaktoren die Anpassungsentscheidungen erschweren.

Die gegenwärtig und künftig erwarteten Auswirkungen vor allem bezüglich der negativen Klimafolgen verlangen eine Anpassung und damit auch die Planung und Durchführung von Gegenmaßnahmen. Dabei lassen sich in Abhängigkeit von der tatsächlichen und erwarteten Betroffenheit sowie in Anbetracht von weiteren relevanten Einflussgrößen unterschiedliche Intensitäten des Umgangs mit dem Thema und der Maßnahmenplanung erkennen. So werden nach Angaben von über zwei Drittel der 120 befragten Umweltexperten mögliche Klimafolgen bereits in ihrem Unternehmen diskutiert. Bei 46 Prozent wurden Maßnahmen

Identifikation der Klimafolgen und Gegenmaßnahmen Abbildung 5

Angaben in Prozent



Quelle: IW-Umweltextertenpanel 3/2008; Befragung von 185 Umweltexterten im Juni 2008

geplant oder sogar durchgeführt. Bei 18 Prozent der Unternehmen erfolgte die Identifikation möglicher Klimafolgen, jedoch wurde bisher keine Maßnahme geplant oder durchgeführt.

Wie aus Abbildung 5 zu entnehmen ist, hält nur ein geringer Anteil von gut 3 Prozent Maßnahmen gegen Klimafolgen für ihr Unternehmen nicht für nötig. Knapp ein Drittel der befragten

Unternehmensvertreter gab weiterhin an, dass in ihrem Unternehmen bisher noch nicht über die unternehmensbezogenen Folgen des Klimawandels diskutiert und daher auch keine Anpassung geplant wurde. Hierbei ist zu vermuten, dass neben den Problemen grundsätzlicher Art, die eine Anpassung erschweren, noch weitere unternehmensspezifische Hindernisse eine Rolle spielen.

Mit Blick auf mögliche Hindernisse kommen neben Einflussgrößen aus dem politisch-rechtlichen Umfeld vor allem zahlreiche natürlich-physikalische und marktliche Aspekte in Betracht. Eine Behebung dieser Hemmnisse hätte zur Folge, dass Unternehmen sich rechtzeitig auf den Klimawandel vorbereiten, mögliche Risiken durch Anpassung vermindern und die Chancen nutzen könnten. Im Folgenden wird kurz auf einige wesentliche Einflussfaktoren eingegangen, die sich – angesichts des privaten Gutscharakters der Anpassungsmaßnahmen – in der Praxis negativ auf eine Anpassung an die Klimafolgen auswirken oder sogar eine wirksame Anpassung in den Unternehmen behindern und erschweren können.

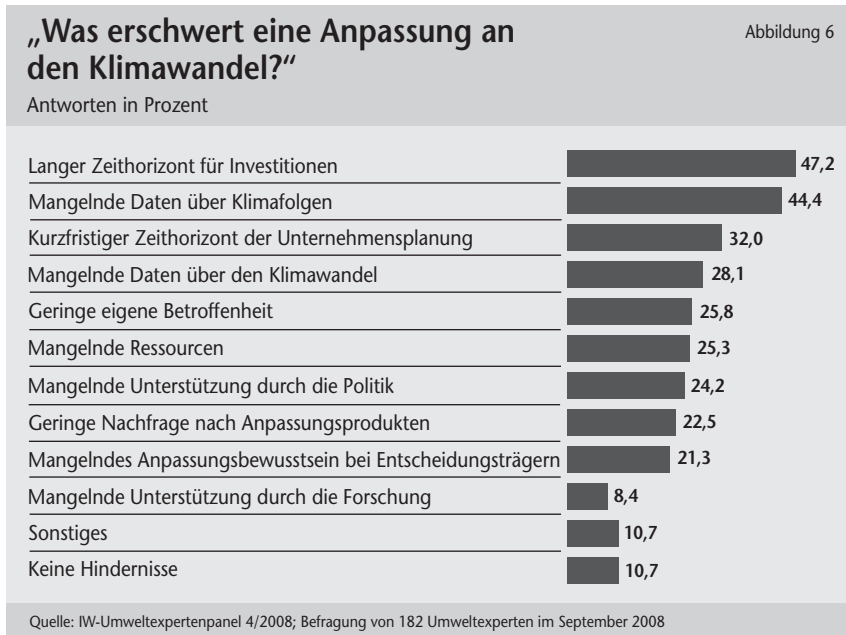
Dominanz einer strategischen Option gegen den Klimawandel

Damit ist die unterschiedliche Gewichtung der strategischen Optionen gegen den Klimawandel insbesondere auf der politischen Ebene gemeint. Einseitig nur auf Mitigationpolitik zu setzen hätte zur Folge, dass eine Anpassungspolitik vernachlässigt oder gar diskriminiert würde. Wie bereits erwähnt, stellen Mitigation und Anpassung trotz der möglichen Zielkonflikte keine Gegensätze dar. Sie müssen gemeinsam verfolgt werden.

Die politische Auseinandersetzung nur auf die Mitigation zu fokussieren birgt die Gefahr, dass die Anpassung als Scheitern oder Misserfolg der gegenwärtigen Klimaschutzpolitik wahrgenommen und daraufhin vernachlässigt wird. Diese Vorgehensweise spiegelt sich hin und wieder in der öffentlichen Diskussion zum Klimaschutz wieder, in der häufig nur Vermeidung als „tugendhaftes Verhalten“ (Stehr/Storch, 2008, 6) dargestellt wird. Dadurch kann der Eindruck entstehen, dass es sich bei der Anpassung nicht um eine notwendige Vorsorgepolitik, sondern um eine passive Strategie und Reparaturpolitik handelt.

Zeitdimension

Bei der Anpassung an die Klimafolgen kommt dem Zeitfaktor in zweierlei Hinsicht eine besondere Bedeutung zu. Zum einen erfordern bei einigen Wirtschaftssektoren Anpassungsmaßnahmen einen langen Zeithorizont – etwa die Entwicklung neuer Pflanzensorten in der Forstwirtschaft oder in der Pflanzenzüchtung. Dafür sind langfristige Investitionen nötig. Für über 47 Prozent der befragten Umweltexperten stand daher auch der lange Zeithorizont für Investitionen als Hindernis für die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen an erster Stelle (Abbildung 6).



Zum anderen kann der kurzfristige Zeithorizont der Unternehmensplanung ebenfalls ein Hindernis bei der Anpassung an die Klimafolgen sein. Es ist nicht auszuschließen, dass langfristige Investitionsentscheidungen vor dem Hintergrund der kurzfristigen Geschäftsausrichtung nicht berücksichtigt werden. Ein möglicher Grund hierfür kann darin bestehen, dass die Amortisierung von langfristigen anpassungsbezogenen Investitionen zumeist außerhalb des kurzfristigen Planungshorizonts liegt (siehe auch Ott/Richter, 2008, 9). Die kurzfristige Unternehmensplanung wurde auch im Rahmen der Expertenbefragung von knapp jedem Dritten der Befragten als Hemmnisfaktor angesehen. Insbesondere bei kleinen und mittelständischen Unternehmen liegen die Auswirkungen des Klimawandels außerhalb des mittelfristigen Planungshorizonts von Entscheidungsträgern. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass der optimale Zeitpunkt für die Anpassung sehr schwierig zu bestimmen ist. Warum soll heute (kurzfristig) eine Maßnahme ergriffen werden, wenn die Anpassung erst später (langfristig) erforderlich wird? Wann ist beispielsweise an einem Standort der optimale Zeitpunkt für eine Anpassungsmaßnahme gegen Überschwemmungen erreicht?

Datenverfügbarkeit

Entscheidungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind in der Regel Entscheidungen unter Unsicherheit. Das Wissen über zukünftige Entwicklungen des Klimawandels vor allem in natürlich-physikalischer Hinsicht und die Klimarisiken basieren auf Klimamodellierungen, die unter Einbeziehung zahlreicher Variablen arbeiten, deren Verlauf in Zukunft unsicher ist. Die vorhandenen Informationen über die konkreten Klimarisiken reichen daher oft für eine verlässliche Einschätzung der künftigen Schadensentwicklung nicht aus (Ott/Richter, 2008, 9).

Auf die besondere Bedeutung sicherer und zuverlässiger klimarelevanter Informationen für die Anpassung wurde auch im Rahmen der Befragung der Umweltexperten hingewiesen. Aus der Sicht von mehr als 44 Prozent der Experten können mangelnde Daten über Klimafolgen eine Anpassung verhindern (siehe Abbildung 6). Für 28 Prozent stellt das fehlende Wissen bezüglich des Klimawandels selbst ein Hindernis dar.

Unsichere und mangelhafte Informationen wurden bereits in einem Stern-Bericht aus dem Jahr 1996 neben dem fehlenden Anpassungsmarkt und der Problematik der öffentlichen Güter sowie der finanziellen Grenzen als die grundsätzlichen Barrieren bei der Anpassung genannt. Der Aspekt sicherer und zuverlässiger Informationen gewinnt nicht zuletzt aus marktbezogener Sicht besondere Aufmerksamkeit. Die Bereitstellung von hochqualitativen Informationen bezüglich der künftigen klimatischen Entwicklungen auf regionaler Ebene ist für die

marktorientierten Mechanismen wichtig, die Treiber für den Erfolg der Anpassung sind (Stern, 2006, 411). Die fehlenden marktinduzierten Anreize beispielsweise in der Gestalt der „geringen Nachfrage nach Anpassungsprodukten“ wurde von 23 Prozent der befragten Umweltexperten als eine Einflussgröße angesehen, die eine Anpassung an die Klimafolgen hemmt. Damit wird auch zum Ausdruck gebracht, dass die Anpassungsentscheidung eine Entscheidung unter Unsicherheit ist.

Unternehmensspezifische Einflussfaktoren

Die Anpassungsaktivitäten auf einzelwirtschaftlicher Ebene können noch von weiteren Faktoren einschränkend beeinflusst werden. Jeder vierte Umweltexperte bezeichnet „geringe eigene Betroffenheit“ und „mangelnde Ressourcen“ als weitere Hindernisse bei der Anpassung. Mit der geringeren Einstufung der eigenen Betroffenheit als Hindernis im Vergleich zu den genannten Einflussgrößen (siehe Abbildung 6) wird noch einmal die besondere Relevanz des Zeitfaktors und der sicheren und zuverlässigen Informationen bezüglich des Klimawandels hervorgehoben. Vor dem Hintergrund der Langfristigkeit der nötigen Investitionen und Innovationen für die Anpassung lässt sich auch die Bedeutung der internen Ressourcen insbesondere technischer und finanzieller Art ableiten. Zusätzlich zu diesen internen Faktoren sieht jeder fünfte Umweltexperte das „mangelnde Bewusstsein bei Entscheidungsträgern“ als Ursache dafür, dass die Anpassung erschwert wird.

Sonstige Hindernisse

Die Anpassung an die Klimafolgen kann auch durch externe Faktoren beeinflusst werden. In diesem Zusammenhang ist zum einen auf die Unterstützung durch die Politik hinzuweisen. So stufen fast 24 Prozent der Umweltexperten die „mangelnde Unterstützung durch die Politik“ – wie etwa fehlende finanzielle Leistungen oder bürokratische Hindernisse im Bereich der Anpassung – als zusätzlichen Hindernisfaktor ein. Zum anderen wird die „mangelnde Unterstützung durch die Forschung“ genannt (siehe Abbildung 6). Allerdings wird diesem Faktor mit nur 8 Prozent eine eher geringe Bedeutung beigemessen. Die mangelnde Unterstützung durch die Forschung kann darauf zurückgeführt werden, dass die Anpassungsthematik im Vergleich zur Mitigation neu ist. Die Anpassungsforschung ist nicht so ausgeprägt wie im Klimaschutzbereich. Mitigation hat eine lange Tradition in der anwendungsorientierten Forschung.

Im Rahmen der Expertenbefragung wurden neben den nicht vorgegebenen Antworten weitere Hindernisse wie „Preis- und Kostendruck“, „hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand“ oder „fehlende praktische Vorschläge“ genannt.

4

Anpassung der Sektoren an den Klimawandel

4.1 Land- und Forstwirtschaft

Land- und Forstwirtschaft sind seit jeher in besonderem Maße von Klima und Wetter abhängig. Diese Abhängigkeit besteht aus einer Reihe von Gründen, nicht zuletzt bezogen auf den zu erwartenden Klimawandel. Wie im Folgenden detaillierter ausgeführt, wird die land- und forstwirtschaftliche Produktion einerseits direkt von einem veränderten Witterungsverlauf beeinflusst, andererseits indirekt über ihre Zugehörigkeit zum Wirkungsgeflecht der Natur, das seinerseits auf klimatische Veränderungen reagiert. Beispielsweise begünstigen mildere Winter das Aufkommen von Schädlingen. Ferner gibt es einen Bedarf an zusätzlichen „Dienstleistungen“ wie Wasserspeicherung und Freizeitmöglichkeiten, die von land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen bereitzustellen sind. Mit großer Sicherheit kann eine deutliche Steigerung der Nachfrage nach agrarischen Nahrungsmitteln und Rohstoffen vorhergesagt werden. Schließlich sprechen etliche Gründe dafür, dass sich die keineswegs neuartige Konkurrenz um die Flächennutzung in Zukunft verstärken wird: So dürften sich die Wohn-, Wirtschafts- und Verkehrsflächen weltweit weiter ausdehnen. Durch einen Anstieg des Meeresspiegels gehen ebenfalls Flächen verloren. Diese Betrachtungen lassen den Schluss zu, dass der Steigerung des Ertrags pro Fläche eine hohe Bedeutung zukommt und ein durch den Klimawandel verursachter Rückgang der Produktivität hochgradig problematisch wäre. Forschung und Praxis sowie alle relevanten Politikbereiche sind folglich aufgefordert, die Leistungsfähigkeit dieses Wirtschaftsbereichs zu stärken.

Direkte Folgen des Klimawandels

Für Deutschland werden sowohl begünstigende als auch belastende Klimawirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft erwartet, wobei diese Veränderungen regional differenziert auftreten dürften (vgl. auch Eulenstein et al., 2008). Im weltweiten Maßstab wird dagegen ein Überwiegen der negativen Auswirkungen prognostiziert, was wiederum zu entsprechenden Veränderungen auf den Weltmärkten führt.

Wie in Abschnitt 2.4 bereits dargestellt, wird ein Temperaturanstieg von rund zwei Grad Celsius bis zur Jahrhundertmitte für ganz Deutschland erwartet, wobei dieser Anstieg im Sommer intensiver ausfällt als im Winter. Ferner sind im Sommer Ostdeutschland und teilweise Süddeutschland stärker betroffen, im

Winter ist es hingegen Westdeutschland. Vor allem im Hinblick auf möglichen „Trockenstress“ ist die Temperaturerhöhung in Verbindung mit der Entwicklung des Niederschlags zu betrachten. Die erwarteten Erhöhungen der Niederschlagsmengen sind im Grenzgebiet zwischen Niedersachsen und Thüringen am höchsten und in Südwestdeutschland am niedrigsten; hier liegen sie im REMO-Modell (Max-Planck-Institut für Meteorologie, 2008) im Jahresschnitt nahe der Veränderungsrate von null. Die Unterschiede fallen im Sommer stärker als im Winter aus. In der warmen Jahreszeit sind in Süddeutschland teilweise Verringerungen der Niederschlagsmengen zu erwarten – verbunden mit leicht überdurchschnittlich erhöhten Temperaturen. Insgesamt steigt somit das Risiko von Trockenstress, und zwar vor allem aufgrund des Temperaturanstiegs. Die Veränderungen im Niederschlag kompensieren dieses Risiko in Ostdeutschland nicht und erhöhen es zusätzlich in Teilen Süddeutschlands.

Von der Erhöhung der Temperaturen gehen positive und negative Effekte auf die Land- und Forstwirtschaft aus. Auf der einen Seite verlängert sich die derzeit rund neunmonatige Vegetationsperiode beträchtlich, und zwar bis zur Jahrhundertmitte im Schnitt um einen Monat. In Gebirgsgebieten fällt diese Verlängerung teilweise deutlich geringer aus, in der norddeutschen Tieflandebene dagegen leicht überdurchschnittlich. Dies begünstigt grundsätzlich die pflanzliche Produktion und eröffnet Spielräume für wärmeliebende Pflanzenarten, die entweder – wie Mais und Wein – bereits in Deutschland angebaut werden oder deren Anbau für die deutschen Land- und Forstwirte eine Neuerung darstellt – wie etwa der Anbau von Hirse. Das Temperaturoptimum für Mais liegt zwischen 25 und 30 Grad Celsius, für Winterweizen jedoch nur zwischen 17 und 23 Grad und für Kartoffeln zwischen 15 und 20 Grad Celsius (Chmielewski, 2007, 77). Viele der heimischen Kulturen bringen den höchsten Ernteertrag bei unter 20 Grad. Dies gilt übrigens auch für die Milchproduktion. Zudem vergrößern sich die Chancen, während eines Jahres zwei Fruchtarten nacheinander anzubauen. Für die Viehzucht könnte sich eine Verlängerung der Phase der Weidenutzung ergeben.

Auf der anderen Seite verschlechtern sich die Bedingungen für kälteliebende Arten wie die Fichte. Eine Vorverlegung von Vegetationsphasen kann im Einzelnen weitere Probleme mit sich bringen, etwa die Gefahr von Spätfrösten für frostanfällige Blüten und eine vorzeitige Beendigung der Reifephase.

Kostspielig, teilweise auch problematisch kann ein zusätzlicher Bedarf an Bewässerungsmaßnahmen sein, vor allem dort, wo – bei verminderten Niederschlägen und höherer Verdunstung – das sogenannte Wasserdargebot nicht steigt, zumal bei starker Nutzungskonkurrenz die Politik im Zweifel für den Wasserbedarf der Bevölkerung entscheiden wird. Die Anbaueignung wird sich besonders

dort verschlechtern, wo geringe Niederschläge und Böden mit einer geringen Wasserspeicherkapazität zusammentreffen – etwa Flächen mit sandigen Böden in Brandenburg. Ein verminderter Sauerstoffgehalt von Gewässern kann sich wiederum negativ auf die Ertragssituation der Binnenfischerei auswirken. Einige Studien weisen darauf hin, dass ein weiterer Effekt von der Erhöhung der CO₂-Konzentration der Luft ausgeht (Ainsworth/Long, 2005): Die land- und forstwirtschaftliche Produktion kann dadurch gesteigert werden, im Einzelnen jedoch zulasten der Qualität. So verschlechtert sich unter diesen Bedingungen die Klebe- und damit Backfähigkeit des Weizens.

Extremwetterereignisse stellen eine große Bedrohung für die land- und forstwirtschaftliche Produktion dar. Stürme, Starkregen, Hagel und Dürrephasen können im schlimmsten Fall die Ernte komplett vernichten oder zu Ertragsverlusten in unterschiedlicher Höhe führen, wenn das Wachstum von Pflanzen und Früchten vor dem Erntezeitpunkt beendet wird. Auch kann es zu Problemen bei der Tierhaltung auf Weiden kommen. Zudem steigt die Gefahr der Bodenerosion durch Wind und Wasser. Darüber hinaus verschlechtert sich die Befahrbarkeit von Äckern infolge von Starkregenereignissen, jedoch auch durch Staunässe. Häufigere, stärker ausgeprägte und länger andauernde Extremwetterereignisse erhöhen diese Gefährdungen in einem beträchtlichen Ausmaß und tragen zu einer Verringerung des Erwartungswerts der Produktion und zu einer Erhöhung der Varianz bei.

Indirekte Folgen

Land- und Forstwirtschaft sind stark mit den jeweiligen Naturräumen verbunden, sodass sich bei einer Änderung der klimatischen Verhältnisse auch indirekte Effekte sowie Folgen aus der Anpassung an den Klimawandel für andere Parameter ergeben. Beispielsweise führen geringere Niederschläge zu einer langsameren Verlagerung von Stickstoff und Schwefel in tiefere Bodenschichten und damit zu einer höheren Konzentration dieser Stoffe in den oberen Schichten (Eulenstein et al., 2008). Durch künstliche Bewässerung sinkt der Grundwasserspiegel zusätzlich. Der Klimawandel wird das Zusammenspiel der unterschiedlichen Faktoren verändern, wobei die erwartete hohe Geschwindigkeit zumindest zeitweise zu einem insgesamt schlechteren Zusammenspiel wechselseitig abhängiger Komponenten (etwa Räuber-Beute- und Blüte-Bestäuber-Beziehungen) führen kann. Vergleichsweise leicht vorherzusagen ist eine Erhöhung der Belastung durch Schädlinge, da sie sich bei höheren Temperaturen und nicht zuletzt milderem Wintern leichter verbreiten können. Bei Pflanzenarten, für die Wärme und Trockenheit eine hohe Belastung darstellen, können die natürlichen Abwehr-

mechanismen gegen den Schädlingsbefall geschwächt sein. In der Nutztierhaltung ist zudem mit einer höheren Anfälligkeit für Krankheiten wie bereits aktuell die Blauzungenkrankheit zu rechnen.

Da sie große Anteile der natürlichen und naturnahen Räume umfassen, spielen land- und forstwirtschaftliche Flächennutzungen auch eine große Rolle bei vielen natürlichen Prozessen. Hierzu zählen unter anderem der Erhalt der Artenvielfalt beziehungsweise der Lebensraumfunktion, die Filterung der Luft, das Speichern von Kohlenstoff und der Ausgleich des Wasserhaushalts, vor allem durch die Grundwasserneubildung. Unter sich wandelnden Leitbildern und mit unterschiedlichen agrarpolitischen Anreizen füllen Land- und Forstwirtschaft diese Rolle seit geraumer Zeit aus. Die Ansprüche an sie werden sich mit dem Klimawandel weiter erhöhen.

Anpassungsmaßnahmen

Während in Deutschland der erwartete Klimawandel nicht automatisch zu einer Verschlechterung der Ertragslage von Land- und Forstwirten führen muss, überwiegen nach den aktuellen Prognosen in der Europäischen Union insgesamt die negativen Auswirkungen. Diese treffen die südlichen wie die östlichen Staaten, während der hohe Norden deutlich profitiert. Weltweit verstärken sich die Probleme in den wirtschaftlich zumeist nicht hochentwickelten Staaten der mittleren Breitengrade (etwa zwischen 30 Breitengraden nördlich wie südlich des Äquators), während die kühleren Zonen profitieren. Werden die vorhergesagten häufigeren und stärkeren Extremwetterereignisse mit einbezogen, verschiebt sich die Bilanz der Auswirkungen des Klimawandels noch einmal in die negative Richtung.

Nicht allein aus diesen Erwägungen ist für deutsche Produzenten land- und forstwirtschaftlicher Erzeugnisse mit einer steigenden Nachfrage zu rechnen. Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird weiterhin mit einer wachsenden Erdbevölkerung gerechnet, wenn auch nicht schwerpunktmäßig in den nachfragestarken industrialisierten Staaten. Jedoch wird erwartet, dass das Bevölkerungswachstum mit einem fortdauernden Anstieg des Weltsozialprodukts einhergeht, was sowohl zu einer erhöhten Nachfrage nach Lebensmitteln aus bislang unterversorgten Regionen der Erde als auch zu einer steigenden Nachfrage aus den Schwellenländern führen wird. Gerade in Letzteren wird bereits jetzt eine erhöhte Nachfrage nach solchen Lebensmitteln beobachtet, zu deren Produktion eine vergleichsweise große Fläche gebraucht wird: Unter Einbeziehung der verwendeten Futtermittel wird eine Gewichtseinheit Fleisch auf einer Fläche produziert, auf der die sechsfache Menge an pflanzlicher Nahrung erzeugt werden könnte. Auch die „Wohlstandsnachfrage“ nach Produkten wie Öl, Salat oder Wein erhöht die

Flächeninanspruchnahme (Gerbens-Leenes/Nonhebel, 2002). Zwei Aspekte kommen hier noch hinzu: Die keineswegs nachhaltige Nutzung der Meere verstärkt die Nachfrage nach auf dem Land erzeugten Lebensmitteln deutlich, und zusätzlich sind Land- und Forstwirte außer Nahrungsmittelerzeuger auch Lieferanten einer wachsenden Menge von Energie- und Agrarrohstoffen. Laut der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) ist mit einem globalen jährlichen Anstieg des Bedarfs an Agrarprodukten (Nahrungs-, Futtermittel sowie nachwachsende Rohstoffe) um 1,6 Prozent bis 2015 und danach um 1,4 Prozent bis 2030 zu rechnen. Dies entspräche einer Nachfrageerhöhung von 2009 bis 2030 um rund 35 Prozent (FAO/OECD, 2008, 41).

Allerdings kann nicht mit einer generellen Zunahme der land- und forstwirtschaftlich genutzten Fläche gerechnet werden, im Gegenteil: Die wachsende Wirtschaftskraft erhöht den Flächenbedarf für Wirtschaft, Wohnen und Verkehr. Allein die – sehr wahrscheinliche – Fortsetzung des Trends zu kleineren Haushaltsgrößen lässt den Bedarf an Fläche und Energie steigen. Eine Ausweitung von Retentionsflächen und schließlich die Folgen eines Anstiegs des Meeresspiegels führen zu einer weiteren Verknappung der zur Verfügung stehenden Fläche. Weitere Produktivitätssteigerungen in der Land- und Forstwirtschaft sind der konfliktärmste Weg, diesen Herausforderungen zu begegnen.

Die historische Entwicklung der Produktivität in der Landwirtschaft ist – blickt man nur weit genug zurück – atemberaubend: Bezüglich des Personaleinsatzes ist vom Mittelalter bis heute eine Verringerung um weit mehr als den Faktor 100 festzustellen. Für die Fläche liegt im Vergleich zwischen 1500 und 2000 beim Weizen der Faktor bei 20. Seit dem Jahr 1900 hat sich der Ertrag pro Fläche bei Getreide und Kartoffeln mehr als verdreifacht, seit 1950 ungefähr verdoppelt (BMELF, 1958, 51; BMELV, 2007, 66). Von 1950 bis 2005 sank der Landwirtschaftsflächenbedarf pro Kopf um zwei Drittel, nämlich von 20.000 auf 7.200 Quadratmeter. Um diesen Weg mit unverminderter Geschwindigkeit weiter gehen zu können, sind alle Ansatzpunkte zur Erhöhung der Produktivität pro Fläche zu nutzen, von der Sortenwahl über die Pflanzenzüchtung bis zu Düngung, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung. Ein noch in der Entwicklungsphase befindlicher Weg ist beispielsweise die satellitengestützte automatisierte Bearbeitung der Ackerfläche (Präzisionsackerbau oder precision farming) unter Verwendung von Daten über Bodeneigenschaften und Unkrautvorkommen.

4.2 Energie- und Wasserwirtschaft

Die Energie- und Wasserwirtschaft zählt zu den wichtigen Wirtschaftssektoren in Deutschland. Beide Bereiche sind vom Klimawandel betroffen, wenn auch in

unterschiedlicher Art und Weise und in beiden besteht ein Anpassungsbedarf. Im Folgenden werden die Auswirkungen des Klimawandels auf diese zwei Wirtschaftssektoren und die sich daraus ergebenden Anpassungsmaßnahmen analysiert.

Auswirkung des Klimawandels auf die Energiewirtschaft

Der Energiesektor steht bereits heute unter dem Klimaschutzaspekt stark im politischen Fokus. Es ist auch für die Zukunft eine noch stärkere regulatorische Betroffenheit vor allem durch die nationale und europäische Energie- und Klimapolitik und die staatlichen Maßnahmen zu erwarten, die größer als die Betroffenheit durch die natürlich-physikalische Dimension des Klimawandels sein dürfte (Heymann, 2007, 13; Heymann, 2008, 67). Hierbei ist jedoch anzumerken, dass von den regulatorischen Einschränkungen vor allem die traditionelle Energiewirtschaft stark belastet ist. Im Unterschied hierzu profitiert der Bereich der erneuerbaren Energien zunehmend von den staatlichen Unterstützungen. So sieht beispielsweise das EU-Energie- und Klimapaket bis zum Jahr 2020 eine Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien am EU-Energieverbrauch auf 20 Prozent vor.

Durch ehrgeizigere politische Zielsetzungen im Rahmen der internationalen Klimaschutzpolitik und durch steigende Energiepreise – etwa aufgrund beschränkter Erdölressourcen oder wegen des reduzierten Ölangebots bedingt durch Extremwetterereignisse – ist in Zukunft mit einer verstärkten Einführung und Förderung von erneuerbaren Energien zu rechnen. Die Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Förderung und Einführung von erneuerbaren Energien wurde im Rahmen einer Schweizer Studie (OcCC/ProClim, 2007, 103) als noch bedeutsamer als die direkten Einflüsse der Klimaänderungen auf die Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien gesehen.

Der Energiesektor ist aber auch von natürlich-physikalischen und marktinduzierten Auswirkungen des Klimawandels nicht verschont geblieben. Im Folgenden wird auf die wesentlichen Klimafolgen für die Energiewirtschaft eingegangen:

- **Schäden an der Infrastruktur:** Durch Extremwetterereignisse wie etwa Stürme werden vor allem Schäden an Infrastrukturen im Energiesektor wie beispielsweise Freileitungen zunehmen. Des Weiteren können Leitungsnetze und Strommasten durch Stürme oder Blitzeinschläge stark belastet und beschädigt werden (siehe auch Heymann, 2008, 67; Ott/Richter, 2008, 16). Eine weitere Gefahr besteht darin, dass der Betrieb von Anlagen und Einrichtungen zur Energieumwandlung und zum Energietransport sowie zur Energieversorgung durch Extremwetterereignisse wie Stürme stark beeinträchtigt werden kann. Dadurch könnten Angebotsengpässe entstehen, Energiepreise steigen und die Energieversorgung Deutschlands gefährdet werden (BMU, 2009, 38).

- **Mangelndes Wasser und Kühlwasser:** Die ausreichende Verfügbarkeit von Kühlwasser ist notwendig für die Stromerzeugung aus thermischen Kraftwerken wie beispielsweise Kohle- und Kernkraftwerken. Durch die Wasserverknappung und den Mangel an Kühlwasser aufgrund der erhöhten Wassertemperatur der Flüsse in den Hochsommermonaten können die Kraftwerkskühlung und damit auch die Stromerzeugung stark beeinträchtigt werden (BMU, 2009, 38). So musste beispielsweise die Leistung der wassergekühlten Kernenergie in der Schweiz (OcCC/ProClim, 2007, 101) im Sommer 2003 für die Dauer von zwei Monaten um 25 Prozent gedrosselt werden; dadurch reduzierte sich die Strommenge um 4 Prozent im Jahr. Des Weiteren können bedingt durch das längere Hoch- und Niedrigwasser auch Versorgungsengpässe bei den konventionellen Kraftwerken auftreten (DAS, 2008, 34), bei denen die Versorgung hauptsächlich über den Schiffsverkehr (siehe hierzu auch Abschnitt 4.5) erfolgt.
- **Schwankungen beim Energieverbrauch:** Durch die Klimaänderungen sind auch Schwankungen bei der Energienachfrage zu erwarten. Tendenziell geht mit den höheren Temperaturen einerseits ein sinkender Bedarf an Heizenergie in den Wintermonaten einher, andererseits aber eine steigende Nachfrage nach Kühlenergie in den Sommermonaten (zum Beispiel für Kühlschränke und Klimaanlage, siehe auch BMU, 2009, 38). Dies führt zu einer Abnahme des Brennstoff- und zu einer Zunahme des Stromverbrauchs (OcCC/ProClim, 2007, 96). Die Folge ist eine Spitzennachfrage nach Elektrizität aufgrund der intensiven Nutzung von Klimaanlage zur Kühlung von Gebäuden in Unternehmen und privaten Haushalten in den heißen Sommermonaten (siehe dazu auch Heymann, 2007, 12 f.; Ott/Richter, 2008, 16 ff.; DAS, 2008, 34).
- **Auswirkung auf erneuerbare Energien:** Der Bereich der erneuerbaren Energien wird durch den Klimawandel ebenfalls stark beeinflusst. Höhere Temperaturen im Sommer und längere Sonnenscheindauer sowie im Durchschnitt stärkere Winde können einerseits den Ertrag von Biomasse, Solaranlagen und Windkraftanlagen erhöhen. Andererseits kann durch extreme Wetterereignisse die Sicherheit von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbaren Energien gefährdet sein. Des Weiteren sind negative Auswirkungen auf den Ertrag beispielsweise bei der Biomassennutzung zu erwarten. Die Veränderungen der Niederschlagsmengen können sich ebenso auf Wasserkraftanlagen auswirken. Der Betrieb von Wasserkraftwerken kann durch Hoch- oder Niedrigwasser stark eingeschränkt und ferner die Sicherheit von Solar- und Windanlagen durch Starkwinde gefährdet werden (BMU, 2009, 38).
- **Sonstige Klimafolgen:** Aufgrund der Klimaänderung und der bereits erwähnten negativen Auswirkungen auf Anlagen, Infrastruktur, Produktion und

Standorte im Energiesektor ist eine Erhöhung der Versicherungskosten für gefährdete Standorte zu erwarten (siehe auch Heymann, 2007, 12).

Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft

Wasser ist eine lebensnotwendige Grundlage für das menschliche Dasein und ein unverzichtbarer Produktionsfaktor für die Land- und Forstwirtschaft sowie die industrielle Produktion. Im Zusammenhang mit der Wasserwirtschaft ergibt sich bedingt durch den Klimawandel eine besondere Problematik in quantitativer Hinsicht. Das Problem zeigt sich im Allgemeinen neben mangelnder Verfügbarkeit aufgrund des Temperaturanstiegs und extremer Trockenheit auch in Form von steigenden Wassermengen und Wasserüberfluss, was zu Hochwasser und Überflutungen mit negativen Folgen für Menschen, Natur und Regionen führt. Klimabedingt können noch weitere Probleme entstehen, die sich insbesondere auf die Wasserqualität beziehen – etwa die Verschmutzung von Grund- und Trinkwasser und die Sanitärversorgung (Biebeler et al., 2008, 49).

Von der Wasserproblematik sind nicht nur Staaten in Afrika, Asien oder im Nahen Osten, sondern auch in Europa betroffen. Künftig wird sich die Wasserverfügbarkeit vor allem in Südosteuropa als ein gravierendes Problem darstellen. Die Europäische Kommission (Europäische Kommission, 2007b, 2) geht davon aus, dass von der Wasserknappheit derzeit europaweit mindestens 11 Prozent der Bevölkerung und 17 Prozent der Gebiete betroffen sind. Neben den ökologischen Schäden entstehen erhebliche ökonomische Kosten. So wurden beispielsweise die infolge von Dürren entstandenen Kosten für die europäische Wirtschaft im Jahre 2003 auf 8,7 Milliarden Euro beziffert.

Der Wassersektor in Deutschland ist von den Klimaänderungen – natürlich-physikalische Dimension des Klimawandels – stärker betroffen als die Energiewirtschaft. Die Betroffenheit des Sektors zeigt sich jedoch regional- und saisonabhängig unterschiedlich. Vor dem Hintergrund der ökologischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Relevanz der Wasserwirtschaft ist die Bedeutung der Anpassungsmaßnahmen hervorzuheben.

- **Wasserverfügbarkeit:** Mit einer verfügbaren nutzbaren Menge an Grund- und Oberflächenwasser – das sogenannte Wasserdargebot – von 188 Milliarden Kubikmetern ist Deutschland ein wasserreiches Land. Wenn auch hinsichtlich der Versorgung mit Trinkwasser und der Sanitärversorgung keine Probleme bestehen, könnte im Bereich der Wasserverfügbarkeit in Zukunft eine negative Betroffenheit vorliegen.

Deutschlandweit sind die Wasservorräte regional aufgrund der hohen räumlichen Variabilität der Niederschläge sehr unterschiedlich verteilt. Künftig ist

insbesondere in den Sommermonaten neben einem Rückgang der Grundwassermengen in Gebieten mit geringer Wasserspeicherkapazität auch eine Abnahme der Grundwasservorräte vor allem in Nord- und Westdeutschland sowie in Teilen von Ostdeutschland zu erwarten (BMU, 2006, 14). Hier können neben der höheren Gefahr von Dürren auch Einschränkungen in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft, Schifffahrt und Energieversorgung entstehen (UBA/KomPass, 2008).

In einigen anderen Gebieten wie etwa in Bayern kann in den Sommermonaten das Vorkommen von kritischen Wassermangelsituationen nicht ausgeschlossen werden. Die jahreszeitlichen Niederschlagsverschiebungen und häufigeren Trockenheitsperioden könnten sich auf die Wasserverfügbarkeit in einzelnen Landesteilen negativ auswirken (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008a, 69 und 2008b, 15). In anderen Gebieten wie in Nordrhein-Westfalen lassen sich zwar keine signifikanten Änderungen bezüglich der Wasserversorgungsmengen erkennen. Hier kann es jedoch regional durch eine Veränderung der konkurrierenden Wasserentnahmen beispielsweise durch erhöhten Wasserbedarf zwecks landwirtschaftlicher Bewässerung zu Wassermangel kommen (MUNLV, 2008, 18).

Trotz der regionalen Unterschiede bei der Verfügbarkeit von Wasser in Deutschland sind in Zukunft auch unter Berücksichtigung der Änderungen des Klimas keine grundsätzlichen Versorgungsprobleme mit dem Trinkwasser zu erwarten. Der Grund hierfür besteht insbesondere darin, dass die Versorgung mit Trinkwasser in Deutschland hauptsächlich aus lokal verfügbaren Ressourcen des Grundwassers und nur teilweise aus Oberflächenwasser oder Uferfiltrat erfolgt (DAS, 2008, 21).

- **Hochwasser:** Deutschland ist oft von Extremwetterereignissen wie Hochwasser mit gravierenden Folgen betroffen. Dies wurde beispielsweise durch das Elbehochwasser im Jahre 2002 deutlich. Dadurch waren in Deutschland 21 Todesfälle zu beklagen; der entstandene volkswirtschaftliche Schaden lag bei 9,2 Milliarden Euro (Jonas et al., 2005, 15 f.). Die Hochwassergefahr kann aufgrund häufigerer und intensiverer Starkregenniederschläge zunehmen. Sturmfluten können öfter und stärker auftreten. Mit steigenden Temperaturen in den Wintermonaten wird der Schneeanteil am Gesamtniederschlag zurückgehen; „es reduziert sich die zeitliche Speicherung als Schnee, sodass Niederschlag zu unmittelbarem Abfluss führt. Die winterliche Hochwassergefahr steigt“ (DAS, 2008, 21).
- **Hitze und Trockenheit:** Mit den höheren Temperaturen in den Sommermonaten steigt auch die Trockenheitsgefahr. Durch die intensiven und häufigen Trockenperioden können die Feuchtgebiete und Moore austrocknen. Dies kann zur Beeinträchtigung der natürlichen Funktionalität und Fähigkeit intakter Feucht-

gebiete beispielsweise beim Abpuffern von Starkregenereignissen führen (DAS, 2008, 21). Mit der steigenden direkten Sonneneinstrahlung und zunehmenden Lufttemperaturen in den Sommermonaten geht ein vermehrter natürlicher Wärmeeintrag in die Gewässer einher (MUNLV, 2008, 18). Dieser führt, wie bereits im Zusammenhang mit der Energiewirtschaft thematisiert, zu höherer Wasserverdunstung und zu mangelndem Kühlwasser, sodass für Kraftwerke und Industriebetriebe bei der Deckung ihres Kühlwasserbedarfs in heißen Sommermonaten Probleme auftreten können. Des Weiteren erhöht sich die Waldbrandgefahr mit zunehmender extremer Trockenheit und Dürre.

- **Schäden an der Infrastruktur:** Die Starkregenereignisse und Überschwemmungen führen vermehrt zu Be- und Überlastungen der Kanalisationen und Abwassersysteme sowie der Rückhaltebecken in den betroffenen Regionen. Durch intensive Hochwasserereignisse nehmen weiterhin die Schäden an Hochwasser- und Küstenschutzanlagen zu. Aufgrund extremer Trockenheit während der heißen Sommermonate ist auch die Bildung von Ablagerungen in den Kanalnetzen möglich.

- **Beeinträchtigung der Wasserqualität:** Nicht zuletzt können sich Extremwetterereignisse negativ auf die Wasserqualität auswirken. Extremer Wind und intensive Niederschläge erhöhen zudem die Erosionsgefahr. Dies kann dazu führen, dass beispielsweise die in der Landwirtschaft verwendeten Dünge- und Pflanzenschutzmittel in Grund- und Oberflächenwasser gelangen.

Des Weiteren verschlechtern Hochwasserereignisse die Qualität des Grundwassers etwa durch Überflutung von Industrie- und Kläranlagen und privaten Heizöltanks. Ferner werden auch die Mischkanalisationen – Kanalsysteme für die Abführung von häuslichem und industriellem Schmutzwasser sowie von Niederschlagswasser – in Siedlungsgebieten durch Starkregenereignisse überlastet. Dadurch erhöht sich die Gefahr der Verschmutzung der Gewässer und die Ausbreitung von Krankheitserregern (DAS, 2008, 21).

Anpassungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf

Aus der vorangegangenen Analyse lässt sich eine Betroffenheit der Energie- und Wasserwirtschaft durch den Klimawandel erkennen. Angesichts der damit verbundenen Risiken und Chancen besteht Handlungsbedarf. Die Anpassungs- und Handlungsmöglichkeiten sind vielfältig. Auf der Basis der beschriebenen Betroffenheitsfelder können zahlreiche Anpassungsmaßnahmen identifiziert werden.

Insbesondere vor dem Hintergrund der starken Betroffenheit des Wassersektors ergeben sich große Herausforderungen für die Wasserwirtschaft und Gewässer-

nutzung. Daraus erwachsen vielfältige „Anpassungserfordernisse für die Wasserwirtschaft, den Hochwasserschutz und den Küstenschutz“ (DAS, 2008, 21). Für die zunehmende Relevanz der Anpassungsmaßnahmen in diesem Sektor spricht neben der Betroffenheit weiterhin die Tatsache, dass die deutsche Wasserwirtschaft bisher nur wenig an die Klimaänderungen angepasst ist. Beispielsweise werden mögliche Klimafolgen im Bereich des Hochwasserschutzes in den meisten Bundesländern kaum in der Planung berücksichtigt (Zebisch et al., 2005, 46). Überdies ist die Sicherstellung der Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität eine elementare Grundlage für Mensch, Umwelt und Wirtschaft. Ebenso besteht in Anbetracht der Betroffenheit eine Anpassungsnotwendigkeit bei der Energiewirtschaft. Das Spektrum der Anpassungsmaßnahmen in beiden Sektoren reicht von technischen über bauliche bis hin zu managementbezogenen und organisatorischen Maßnahmen.

Als Aktivitäten zur Gewährleistung der Wasserverfügbarkeit können neben Maßnahmen zum effizienteren Umgang mit Wasser als knapper Ressource auch die ausreichende Wasserbevorratung in Talsperren durch angepasste infrastrukturelle Vorsorge sowie die Verbesserung der Bereitstellung von Trinkwasser über Fernwasserleitungen aufgeführt werden (Zebisch et al., 2005, 57). In diesem Kontext ist besonders hervorzuheben, wie wichtig und bedeutend es ist, neue Wasserquellen zu erschließen, in der Landwirtschaft sparsame Bewässerungsmethoden und angepasste Anbaukulturen einzusetzen sowie Maßnahmen zu ergreifen, welche die Wasserqualität verbessern und Nutzungskonflikte reduzieren.

Die Problematik des Niedrigwassers und die Verminderung der Trockenheitsgefahr verlangt in den betroffenen Regionen neben dem sparsamen Umgang mit Wasser vor allem die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen – beispielsweise den Bau von Reservoirs und Wiederaufbereitungsanlagen (Ott/Richter, 2008, 19).

Wie bereits im Zusammenhang mit der Energiewirtschaft erwähnt, erfordert auch das mangelnde Kühlwasser eine Anpassungsmaßnahme. Aufgrund des nicht ausreichenden Kühlwassers werden Energieversorgungsunternehmen vor allem in den heißen Sommermonaten häufiger gezwungen sein, aus wasserrechtlichen Bestimmungen und sicherheitstechnischen Gründen die Kraftwerke herunterzufahren und ihre Leistungen zu reduzieren. Alternativ müsste der festgelegte Grenzwert der Temperatur des eingeleiteten Wassers erhöht werden. Im Hitzesommer 2003 erteilten beispielsweise die zuständigen Genehmigungsbehörden wasserrechtliche Ausnahmegenehmigungen bezüglich der Temperatur des eingeleiteten Wassers, um den Betrieb von Anlagen sicherzustellen. So konnten einige Kraftwerke die Einleittemperatur von 28 auf 30 Grad Celsius erhöhen. Dadurch werden jedoch die Flussökosysteme zusätzlich belastet, denn die Wasser-

temperatur ist auch ohne diese Einleitungen in den anhaltenden Hitzeperioden hoch. Eine weitere Anpassungsmaßnahme sind Notwasseranschlüsse, falls eine Flusswasserkühlung der Kraftwerke wegen Trockenheit in den heißen Sommermonaten unmöglich ist (DAS, 2008, 34 f.). Außerdem kann mangelndem Kühlwasser mit alternativen Kühlsystemen und -techniken wie beispielsweise Trockenkühltürmen (Ott/Richter, 2008, 19) begegnet werden, welche zusätzliche Investitionen verursachen.

Durch steigende Temperaturen und anhaltende Hitzewellen im Sommer treten neben der Kühlwasserproblematik auch Schwierigkeiten bei der Kühlung von Anlagen und Gebäuden auf. Der Einsatz von leistungsstarken Klimaanlageanlagen zur Gebäudekühlung sowie Schutzmaßnahmen wie beispielsweise Gebäudedämmung und Außenverschattung können hier entsprechend Abhilfe schaffen. Allerdings erhöht der Einsatz von Klimaanlageanlagen den Strombedarf, wodurch es wiederum erforderlich wird, das Angebot der steigenden Nachfrage anzupassen sowie Kapazitäten und Leistungen zu erweitern.

Im Infrastrukturbereich kommen vor allem die Anpassung von Kanalisations- und die Entlastung von Abwassersystemen und Rückhaltebecken durch entsprechende bauliche Erweiterungsmaßnahmen in Betracht. Die Betroffenheit der Infrastruktur im Energiesektor macht auch Anpassungsmaßnahmen notwendig. Einem besonderen Anpassungsdruck unterliegen dabei die Netzbetreiber aufgrund der Belastung der Leitungsnetze durch Extremwetterereignisse und die dadurch entstehenden Schäden und Kosten. Als eine mögliche Anpassungsmaßnahme bietet sich die unterirdische Kabelverlegung an (Ott/Richter, 2008, 19). Dies kann allerdings nur in einzelnen Fällen durchgeführt werden, da eine flächendeckende unterirdische Kabelverlegung sehr kostspielig ist.

Vor dem Hintergrund der Erfahrungen mit dem Hochwasser in Deutschland lassen sich zahlreiche Anpassungsmaßnahmen im Bereich Hochwasserschutz identifizieren. Dieser Sektor ist schon durch das im Jahre 2005 verabschiedete Hochwasserschutzgesetz reglementiert. Als wichtige Anpassungsmaßnahmen sind vor allem bautechnische Maßnahmen wie beispielsweise der Bau von neuen Deichen sowie die Erhöhung von bereits existierenden Deichen und der Einsatz von mobilen Schutzwänden zu nennen.

Des Weiteren gewinnt insbesondere die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten im Zusammenhang mit vorbeugendem Hochwasserschutz an Bedeutung, denn so entstehen die Rückhalteflächen, in denen sich das Hochwasser gefahrlos ausbreiten kann, was mögliche Schäden reduziert (UBA/KomPass, 2008, 8).

Darüber hinaus sollen eine hochwasserangepasste Bauweise und Stadtentwicklung vorgenommen und Maßnahmen zur Erhöhung des Gefahrenbewusstseins

in der Gesellschaft sowie zum wirksamen Katastrophenschutz und zur Risikovorsorge durchgeführt werden. Damit sind vor allem für die regionalen Entscheidungsorgane vielfältige planerische und organisatorische Aufgaben sowie Informations- und Kommunikationsmaßnahmen verbunden.

In diesem Zusammenhang ist besonders die Weitergabe relevanter Informationen an die Betroffenen in den hochwassergefährdeten Regionen von großer Bedeutung. So ermöglichen die „digitale Karte der hochwassergefährdeten Bereiche“ und die „Hochwasseraktionspläne und -gefahrenkarten“ seit dem Jahr 2001 der Öffentlichkeit und den Fachbehörden in Nordrhein-Westfalen, sich über hochwassergefährdete Zonen und entsprechende Maßnahmen zu informieren (MUNLV, 2008, 19).

Eine weitere relevante Anpassungsmaßnahme im Bereich Wasser- und Energiewirtschaft ist die Versicherung gegen die Folgen von Extremwetterereignissen. Sie tritt beispielsweise ein bei Hochwasserschäden oder Schäden an der Infrastruktur, Bauten und Anlagen oder bei Produktionsausfällen im Energiesektor. Eine Risikoübertragung auf die Versicherungsunternehmen ist eine wichtige flankierende Anpassungsmaßnahme, welche die anderen genannten baulichen und technischen Anpassungsmaßnahmen ergänzt. Allerdings ist vor dem Hintergrund der zunehmenden negativen Klimafolgen künftig mit erhöhten Versicherungsprämien und Selbstbeteiligungen für die betroffenen Standorte zu rechnen.

4.3 Industrie und Gewerbe

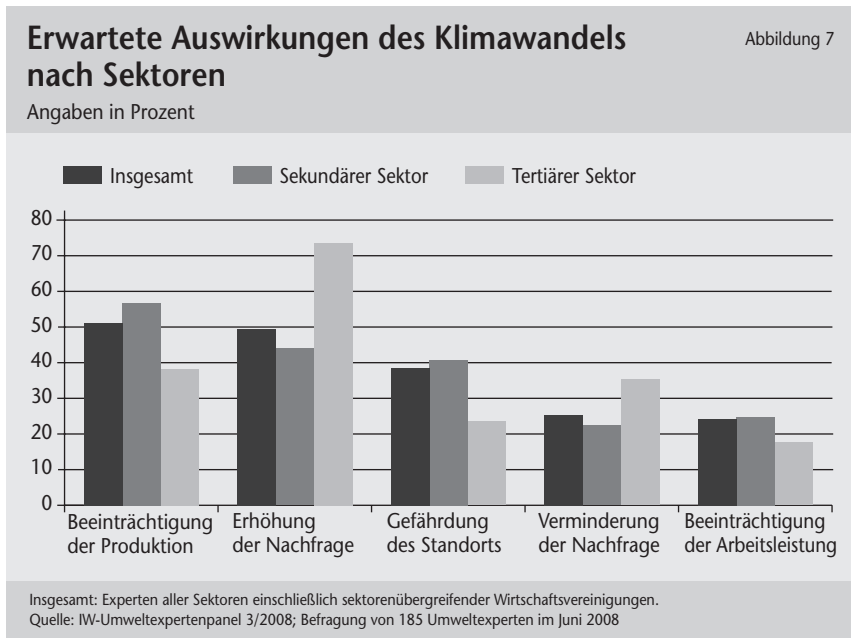
Industrie und Gewerbe weisen eine Reihe von Verletzlichkeiten bezüglich des Klimawandels und seiner Folgen auf. Die Gründe hierfür liegen in der Exposition von Standorten sowie in der Abhängigkeit von Energie und Wasser sowie von Transportwegen. Weniger stark dürfte die Störanfälligkeit von Produktionsprozessen durch höhere Temperaturen, veränderte Niederschläge sowie Starkregen und Stürme sein (Bao, 2006, 366).

Über diesen generellen Trend hinaus können branchenspezifische Besonderheiten herausgearbeitet werden. So muss sich die Ernährungsindustrie an ein verändertes Angebot landwirtschaftlicher Produkte – einschließlich sich verändernder Preisrelationen – und in Teilen an eine sich an anderen Temperaturen orientierende Nachfrage anpassen – etwa an mehr Kühlgetränke und Speiseeis sowie leichtere oder als südländisch geltende Gerichte und Zutaten. Die Bekleidungsindustrie wird aufgrund größerer Wetterschwankungen in steigendem Ausmaß mit Planungsunsicherheiten umgehen müssen, was in einem geradezu paradigmatisch modischen Sektor zu teuren Angebotsüberhängen führen kann.

Der steigende Bedarf an Schutzprodukten für Mensch, Tier und Pflanzen wird der Pharmaindustrie (Lehman Brothers, 2007, 89 ff.) und teilweise auch der Chemischen Industrie eine höhere Nachfrage bescheren (Heymann, 2007, 20). Jedoch werden nicht alle Segmente dieser Industrien auf der Seite der Klimawandelprofiteure stehen. Beispielsweise könnten Erkältungskrankheiten leicht zurückgehen.

In der Überblicksstudie des Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsunternehmens KPMG werden die Risiken des Verarbeitenden Gewerbes durch Veränderungen des Klimas als sehr gering eingestuft (KPMG, 2008, 78). Für den Automobilsektor werden unterdurchschnittliche klimatisch bedingte Risiken festgestellt und kaum höhere für die Chemische Industrie. Allein den Pharmaziebereich sieht man sehr deutlich in der Risikozone.

Welche Auswirkungen der Klimawandel auf Industrie und Gewerbe – etwa im Vergleich zum Dienstleistungssektor – haben dürfte, lässt sich den in Kapitel 3 aufgegriffenen Befragungen im Rahmen des IW-Umweltexpertenpanels entnehmen. Obwohl vom Verarbeitenden Gewerbe Produkte zum Schutz gegen Katastrophen beziehungsweise Schadenereignisse hergestellt werden, sehen die befragten Experten dieser Branche – im Gegensatz zu den Vertretern der Dienstleistungsbranchen – die Klimafolgen häufiger als Risiko denn als



Chance. Für den sekundären Sektor sind diese Ereignisse fast ausschließlich Risiken, während Dienstleister zumindest zum Teil Chancen und Risiken wahrnehmen.

Dies zeigt sich ebenso bei den generellen Fragen nach Angebot und Nachfrage sowie nach der Gefährdung von Produktion und Standorten (Abbildung 7). Produktion und Standorte und im geringeren Ausmaß auch die Arbeitsleistung werden voraussichtlich im sekundären Sektor überdurchschnittlich stark beeinträchtigt. Der Dienstleistungssektor sieht zwar eine stärkere Gefährdung der Nachfrage nach einigen Produkten, aber zugleich eine wesentlich stärkere Zunahme der Nachfrage nach anderen Produkten beziehungsweise die Entstehung neuer Geschäftsfelder.

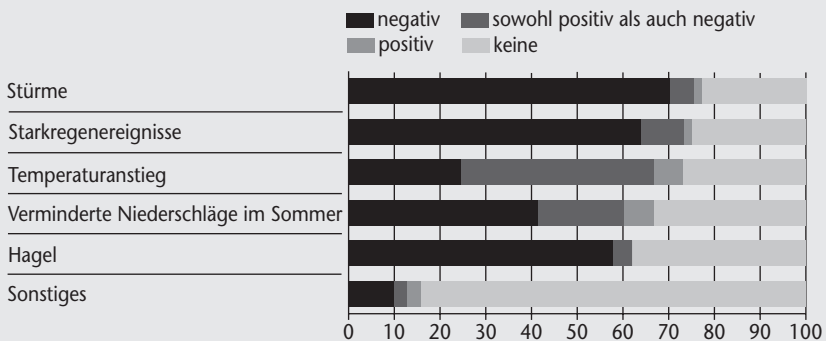
Welche Ereignisse hinter diesen Perspektiven stehen, zeigt eine weitere dem Expertenpanel vorgelegte Frage. Stürme und Starkregenereignisse werden über alle Branchen hinweg ganz überwiegend als Probleme gesehen, ähnlich – nur mit geringerer Intensität – auch Hagel (Abbildung 8). Verminderte Niederschläge im Sommer, noch mehr aber der Temperaturanstieg werden dagegen häufiger sogar als Chance betrachtet.

Auch hier können die Sektoren einander gegenübergestellt werden (Tabelle 3). Generell erkennt man im tertiären viel häufiger als im sekundären Sektor, dass die Klimafolgen sowohl positiv als auch negativ sein können. Beim häufigeren Auftreten von Starkregen und Hagel ist der Dienstleistungssektor allerdings pessimistischer als der sekundäre Sektor beziehungsweise als der

Erwartete zukünftige Betroffenheit von Klimaveränderungen

Abbildung 8

Angaben in Prozent



Quelle: IW-Umweltexpertenpanel 3/2008; Befragung von 185 Umweltexperten im Juni 2008

Durchschnitt, in den auch die Erwartungen von branchen- und sektorenübergreifenden Wirtschaftsvereinigungen wie Industrie- und Handelskammern eingehen. Eine Einzelauswertung für einzelne Branchen ist aufgrund der geringen Fallzahl nicht sinnvoll. Für den Bausektor, der von höheren Anforderungen an Bauwerke und von zusätzlichen Aufträgen profitieren dürfte, liegen beispielsweise Antworten von weniger als zehn Unternehmen und Verbänden vor.

Das Verarbeitende Gewerbe ist durch Wassermangel, wie er regional in Deutschland auftreten könnte, verwundbar. Auf Wasser ist die Energiewirtschaft und dadurch mittelbar fast jede wirtschaftliche Tätigkeit angewiesen (siehe Ab-

Erwartete zukünftige Betroffenheit von Klimaänderungen nach Sektoren

Tabelle 3

Angaben in Prozent

Klimaänderung	Folgen	Sekundärer Sektor	Tertiärer Sektor	Insgesamt
Stürme	negativ	68,0	65,5	70,2
	sowohl negativ als auch positiv	2,5	15,6	5,3
	positiv	2,5	0,0	1,8
	keine	27,0	18,8	22,8
Starkregenereignisse	negativ	59,0	68,8	64,0
	sowohl negativ als auch positiv	8,2	18,8	9,3
	positiv	2,5	0,0	1,7
	keine	30,3	12,5	25,0
Temperaturanstieg	negativ	24,6	28,1	24,6
	sowohl negativ als auch positiv	36,1	53,1	42,1
	positiv	6,6	3,1	6,4
	keine	32,8	15,6	26,9
Verminderte Niederschläge im Sommer	negativ	41,0	37,5	41,5
	sowohl negativ als auch positiv	13,9	31,3	18,7
	positiv	5,7	6,3	6,4
	keine	39,3	25,0	33,3
Hagel	negativ	53,3	62,5	57,9
	sowohl negativ als auch positiv	1,6	15,6	4,1
	positiv	0,0	0,0	0,0
	keine	45,1	21,9	38,0

Insgesamt: Experten aller Sektoren einschließlich sektorenübergreifender Wirtschaftsvereinigungen.

Quelle: IW-Umweltexpertenpanel 3/2008; Befragung von 185 Umweltexperten im Juni 2008

schnitt 4.2). Sofern es nicht als Medium für wasserdampfgetriebene Turbinen, sondern als Kühlwasser eingesetzt wird, sind für das in die Gewässer zurückgeleitete Wasser Grenzwerte von zumeist 25 bis 28 Grad zu beachten, um das ökologische Gleichgewicht von Flüssen und Seen nicht übermäßig zu belasten. Da die Fähigkeit, Sauerstoff zu binden, mit steigender Temperatur abnimmt, verringert sich der Sauerstoffgehalt der Flüsse. Vor allem in Gewässern, in denen gebadet wird, vergrößert sich zudem die bakterielle Belastung, was zu hygienischen Problemen führt. Einen hohen Bedarf an Wasser weisen des Weiteren die Chemische und die Papierindustrie auf. Beide Branchen müssten auf eine schlechtere Wasserqualität bei hohen Temperaturen reagieren, die sich in höherer Konzentration organischer wie anorganischer Substanzen sowohl im Frisch- wie im Prozesswasser manifestiert.

Für die Bauwirtschaft ergeben sich umfangreiche Aufgaben im Küsten- und Hochwasserschutz sowie im Gebäudebereich (siehe Abschnitt 4.4) und in der Verkehrsinfrastruktur (siehe Abschnitt 4.5). Eine Verringerung des Wechsels zwischen Frost- und frostfreien Tagen und der Anzahl der Frosttage insgesamt vermindert darüber hinaus die Materialbelastung und erleichtert die Projektplanung durch weniger Ausfalltage für eine Reihe von Bauarbeiten.

Anpassungsmaßnahmen

Wasserabhängige Wirtschaftszweige sind gefordert, die Wasserverfügbarkeit zu erhöhen und – dort wo es möglich ist – die Abhängigkeit vom Wasser beziehungsweise die Quantität des Wassereinsatzes zu verringern. In letzter Instanz stellt sich in schwierigen Fällen die Standortfrage. Damit wird zugleich die Regionalpolitik herausgefordert, eine auch in Trockenzeiten ausreichende Wasserversorgung zu gewährleisten.

Gravierende Gefahren werden schon heute durch die Störfallverordnung geregelt. Zu den darin berücksichtigten sogenannten umgebungsbedingten Gefahren zählen Gefährdungen durch Windlasten und durch Hochwasser, vor allem aber Gefährdungen des Oberflächenwassers durch Verunreinigungen im Zuge von Überflutungen. Hier ist laufend zu überprüfen, ob die heute geltenden Sicherheitszuschläge ausreichend bemessen sind.

Überdies liegt es auch im Interesse der Unternehmen, kleine Gefahren wie Sturmschäden an Gebäuden gering zu halten. Ein sicherer Anlagenzustand wird durch häufigere Überprüfung gefährdeter Bereiche oder möglicher Schwachstellen erreicht – etwa durch störungsfreie Abflussvorrichtungen oder fest montierte Schutzdächer (siehe hierzu Abschnitt 4.4). Versicherungsschutz gegenüber Schäden ist eine wichtige ergänzende einzelwirtschaftliche Anpassungsmaßnahme.

4.4 Gebäude

Der Gebäudebereich wird derzeit vorrangig unter der Perspektive des Klimaschutzes diskutiert, da hier noch viele wirtschaftlich nutzbare Energieeinsparpotenziale liegen (BDI/McKinsey, 2009). Im Gegensatz zur Industrieproduktion ist es im Gebäudebereich nicht gelungen, durch Effizienzsteigerung den Energieverbrauch und damit die Emission von Treibhausgasen zu vermindern (Statistisches Bundesamt, 2008, 5). Neben einer eher mäßigen energetischen Modernisierung von Gebäuden ist hierfür eine steigende Wohnfläche pro Kopf – nicht zuletzt als Folge der Ausweitung der Zahl von Ein-Personen-Haushalten – verantwortlich.

Der prognostizierte Temperaturanstieg, Extremwetterereignisse und mögliche Engpässe in der Wasserversorgung stellen auch den Gebäudesektor vor Herausforderungen. Hierfür muss zum Ersten eine breite Palette von Schutzmaßnahmen eingesetzt werden. Zum Zweiten sind Maßnahmen gefragt, die Komfort und Lebensqualität auch unter belastenden klimatischen Bedingungen aufrechterhalten. Zum Dritten sollten diese Maßnahmen so gestaltet sein, dass sie nicht ihrerseits zu einem höheren Energieverbrauch und damit zu einer Beschleunigung des Klimawandels führen. Regionen mit heutigen klimatischen Bedingungen, wie sie für die kommenden Jahrzehnte in Deutschland erwartet werden, liefern Beispiele gelungener Anpassung, aber auch klarer Fehlplanungen.

Stadtplanerische Maßnahmen

Mit dem Klima ändern sich die Anforderungen an die Stadtplanung. Hitzeperioden mit dem städteigenen Wärmeinseleffekt sowie Starkregenereignisse bedürfen je eigener Vorkehrungen auf der Stadt- und Quartiersebene.

Extreme Hitzewellen sind für den Menschen belastend und für geschwächte Personen zudem gefährlich. Städtebauliche Maßnahmen können helfen, den Hitzestress zu verringern. Dies bedeutet unter anderem, das Leitbild der kompakten Stadt in Teilen zu modifizieren und der Stadt – im übertragenen Sinne – das Atmen zu erleichtern. Dem Problem des Hitzestaus kann mit Durchlüftungsschneisen begegnet werden – am effektivsten dort, wo es starke natürliche Luftbewegungen gibt. Grün- und Wasserflächen verbessern zusätzlich das Stadtklima. Pflanzen, aber auch Bauwerke können Menschen und Gebäuden Schatten und damit Kühlung spenden. Bei der Auswahl der Pflanzen – bezogen auf Bruch- und Standsicherheit sowie Hitzeverträglichkeit – sind die erwarteten Klimaänderungen zu berücksichtigen.

Die Gelegenheiten zur Neuplanung urbaner Lebensräume und zur Durchsetzung geeigneter Maßnahmen sind freilich nicht sehr häufig anzutreffen. Eine intensive

Diskussion mit den Beteiligten und ein möglicher Interessenausgleich sind hierbei ebenso von hoher Bedeutung wie eine ressortübergreifende Planung.

Mit der Stadtplanung ist einerseits auf Starkregenfälle, andererseits auf Wassermangel zu reagieren. Häufiger und in stärkerem Ausmaß können in Zukunft die Kanalisation überlastet, tief gelegene Gebäudeteile geflutet und Verkehrswege und Flächen zu Seen und Bächen werden, sei es unmittelbar durch große, nicht abfließende Wassermassen oder durch uferübertretende Flüsse. Deichbau und Barrieren, stärker geneigte Flächen, vergrößerte Abflusssysteme und Retentionsflächen können diese Auswirkungen in Grenzen halten. Auch hier besteht die Notwendigkeit eines Interessenausgleichs.

In heißen und regenarmen Sommern kann die Versorgung mit Trinkwasser bedroht sein. Deshalb sind Maßnahmen, die zu einer Verringerung des Frischwasserverbrauchs beitragen, ein wichtiger Bestandteil der Anpassung an den Klimawandel. An regenreichen Orten ist dagegen mit mehr Nässestauungen zu rechnen. Auch wenn ein einfacher Ausgleich zwischen diesen beiden Problemen kaum wirtschaftlich zu realisieren ist, sind Formen einer verbesserten integrierten Wasserwirtschaft ein Mittel zur Entschärfung dieser Probleme.

Bauliche Maßnahmen

Durch bauliche Maßnahmen sollen Menschen vor Wetterunbill geschützt werden. Jedoch bedürfen die Bauwerke selbst ebenfalls des Schutzes vor Witterungseinflüssen. Dies betrifft vor allem den Schutz vor Überschwemmungen, Stürmen sowie Blitz und Hagel. In einer aktuellen Unternehmensbefragung der Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern zum Klimawandel billigten fast 70 Prozent der über 1.000 Befragten möglichen Schäden an der Infrastruktur eine wichtige Rolle zu (IHK München und Oberbayern, 2009, 6). Es ist zu überprüfen, ob Flächen genügend geneigt sind, um ein hohes Wasser- aufkommen schnell abzuleiten, ob an den Zielpunkten die Weiterleitung des Wassers – etwa in Dachrinnen oder Entwässerungsgräben – mit möglichst geringer Gefahr der Verstopfung durch festes Material gewährleistet ist und ob das anschließende Abwassersystem auf größere Wassermassen ausgelegt und gegebenenfalls mit Rückstauventilen versehen ist. Möglicherweise kann der Abfluss durch Rückhaltebecken verlangsamt werden. In einem weiteren Rahmen stellt sich die Frage, wo Wasser zur Vermeidung von Schäden und zur Aufrechterhaltung von Verkehrsflüssen zwingend schnell abgeleitet werden muss und welche Flächen gegebenenfalls zur vorübergehenden Aufnahme von überschüssigem Wasser genutzt werden können. Es ist also auch abzuwägen, welchen Komfort man in diesen Bereichen gewährleisten will.

Mit häufigeren und an Intensität zunehmenden Extremwetterereignissen wird es wichtiger, dass Bauwerke dieser Wetterexposition standhalten. Sturmsicherheit betrifft dabei Materialien und Befestigungen. Starke Winde können außerdem den Wasserfluss verändern und beispielsweise zum Eindringen von Wasser an sonst wenig exponierten Stellen führen. Gerade für technische Anlagen besteht eine Gefährdung durch Blitzschlag. Treten heftige Gewitter oder Hagel häufiger auf, könnten bauliche Vorkehrungen sinnvoll sein.

Diese Vorsorge kann dadurch ergänzt werden, dass Vermeidungs- und Schutzmaßnahmen – wie das Räumen von Tiefgaragen – unmittelbar vor einem potenziellen Schadensereignis getroffen werden. Das bedeutet, Unwetterwarnungen und Hochwasserstände möglichst schnell an die voraussichtlich Betroffenen weiterzuleiten, in extremen Fällen auch Einsatzkräfte rechtzeitig an besonders gefährdete Orte zu schicken.

Hohe Temperaturen beeinträchtigen Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit, wobei auch Gewöhnung, Erwartungshaltungen und wahrgenommene Kontrollmöglichkeiten einen Einfluss auf diese Zielvariablen haben. Bei höheren Temperaturen in der warmen Jahreszeit, zumal im Bereich von Wärmeinseln und in Zeiten extremer Hitze, sind Orte, die weniger der Hitze ausgesetzt sind, verstärkt gefragt. Innerhalb und außerhalb von Gebäuden können schattenspendende Bäume, Bauwerke und Verkleidungen die gewünschten Entlastungseffekte bringen. Die Palette möglicher künstlicher Schattenspenden reicht von Jalousien und Sonnenschirmen über Dachüberstände und Mauern bis hin zu einer Architektur, die auf Fenster in südlicher Richtung verzichtet. Ein großer Teil dieser Reaktionsweisen ist kurzfristig zu verwirklichen – in einigen Fällen bedarf es jedoch eines längeren Vorlaufs.

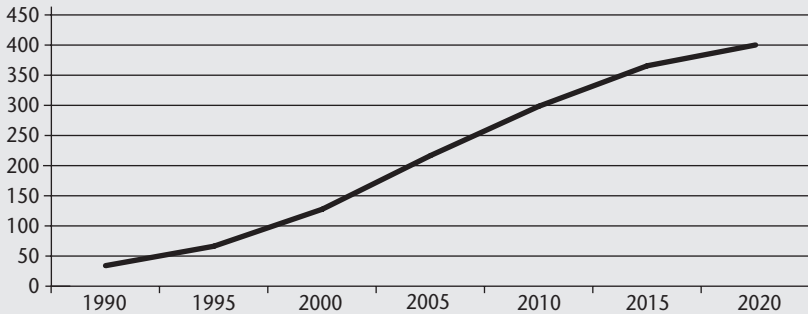
Ein anderer Weg, die negativen Auswirkungen von Hitze zu verringern, liegt in der Nutzung von Luftbewegungen. Durch Lüftungsschneisen werden aufgeheizte gegen kühlere Luftmassen ausgetauscht; die Zugluft unterstützt die körpereigene Kühlung. Zudem ist es möglich, Luftaustausch und Zugluft nach dem Prinzip eines einfachen Ventilators auch künstlich zu erzeugen.

Denkbar sind ferner Maßnahmen der aktiven Kühlung. Hier kann beispielsweise die Verdunstungskälte von Wasser genutzt werden. Zudem ist es möglich, vielfältige künstliche Kühlungen einzusetzen – von Klimaanlage bis zur Kühlung von Wänden und Decken, durch die kühleres Wasser zirkuliert. Nach Schätzungen einer Studie für die Europäische Kommission (ARMINES, 2003, 51) könnte sich in den nächsten 20 Jahren die gekühlte Fläche in Deutschland, die in den vergangenen Jahren bereits stark zugenommen hat, verdoppeln (siehe Abbildung 9), was nicht zuletzt einen hohen zusätzlichen Energiebedarf impliziert. Da der

Entwicklung der gekühlten Fläche in Deutschland

Abbildung 9

in Millionen Quadratmetern



Quelle: ARMINES, 2003, 51

Bedarf an Kälte an sonnenreichen Tagen am höchsten ist und diese für die Zukunft häufiger zu erwarten sind, wird derzeit verstärkt über Techniken des solaren Kühlens geforscht. Eine Effizienzsteigerung versprechen auch Steuerungstechniken von Kühlanlagen, die anhand von Wetterprognosen einen steigenden oder sinkenden Kühlungsbedarf berücksichtigen können.

Im Gebäudebereich dominiert derzeit der Gedanke des Klimaschutzes den der Anpassung an den Klimawandel. Ein Weg zu einer verstärkten Anpassung in diesem Bereich könnte in der Einbeziehung von Elementen der Anpassung an den Klimawandel in Labels liegen, wie sie derzeit im Gebäudebereich unter den Stichpunkten Klimaschutz, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit Verbreitung finden. Da die konkrete Ausformung des Klimawandels und besonders der Extremwetter noch Unsicherheiten unterliegt, sind bauliche Maßnahmen, die ein hohes Maß an Flexibilität gewährleisten, von besonderem Interesse.

Veränderte Lebensweisen

Eine Anpassung an den Klimawandel kann auch über eine Veränderung von Verhaltensweisen erreicht werden – wie es teilweise an heißen Tagen bereits gängige Praxis ist: Es werden beschattete Plätze aufgesucht beziehungsweise längere Aufenthalte in der Sonne vermieden und körperlich anstrengende Tätigkeiten in die Morgen- oder Abendstunden verlegt, die ihrerseits für Beruf und Freizeit an Wert gewinnen. Stark von mittäglicher Hitze betroffene Regionen kennen seit langem die Siesta. Eine Reihe von Aktivitäten wird freilich auch einfach unterlassen, weil sie als zu anstrengend oder unangenehm empfunden wird.

Bestimmte Extremwetterereignisse können auch zu veränderten Raumnutzungen führen: Veranstaltungen werden zum Beispiel ins Freie verlegt, ein Zelt wird in der Nacht zum Schlafen aufgeschlagen oder ein Kellerraum als Schlafzimmer genutzt. Als Vorkehrung für den Fall von Überschwemmungen werden Heizungsanlagen im Dach statt im Keller installiert und leichtes beziehungsweise leicht transportierbares Mobiliar für Keller- und Erdgeschossräume angeschafft sowie leicht zu reinigende Bodenbeläge und Wandverkleidungen gewählt.

4.5 Verkehr und Logistik

Die Verkehrs- und Logistikbranche ist in unterschiedlichem Ausmaß vom Klimawandel betroffen. Neben der Betroffenheit in Bezug auf die klimatischen Bedingungen ist im Verkehrssektor zukünftig mit einer starken Betroffenheit hinsichtlich regulatorischer Maßnahmen zu rechnen (siehe auch Heymann, 2008, 69). Mit dem Klimawandel und dessen Folgen gehen für die Unternehmen Chancen und Risiken einher. Nach Einschätzung von Umweltexperten überwiegen dabei die Risiken die Chancen. So gaben 40 Prozent der 182 befragten Umweltexperten aus Unternehmen und Wirtschaftsverbänden im Rahmen des IW-Expertenpanels in September 2008 an, dass sie für den gesamten Verkehrssektor durch die natürlich-physikalischen und marktinduzierten Klimafolgen eher Risiken erwarten. Halb so viele sahen dadurch Chancen für den Verkehrssektor.

Wie zeigt sich der Klimawandel im Verkehrssektor? Welche Risiken und Chancen können damit verbunden sein? Die Auswirkungen sind angesichts der Diversifikation des Sektors vielfältig. Er umfasst verschiedene Verkehrssegmente. Entsprechend dem betrachteten Verkehrssegment können die Klimafolgen in Abhängigkeit von der Jahreszeit unterschiedlich sein. Als wesentliche Verkehrsbereiche sind der Straßen-, Schienen- und Luftverkehr sowie die Schifffahrt (siehe auch Zebisch et al., 2005, 150) zu nennen.

Auswirkungen des Klimawandels

Durch Extremwetterereignisse wie Stürme, Hagel und Starkregen sind vor allem zunehmende Schäden an der verkehrsrelevanten Infrastruktur – etwa an Straßen, Brücken, Schienen, Häfen, Flughäfen und Kanalisationen – zu erwarten. Die Extremwetterereignisse können einen negativen Einfluss auf die Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Pünktlichkeit im gesamten Verkehrssektor haben (Koller et al., 2007, 81).

Der Klimawandel wirkt sich auf den Straßenverkehr in besonderer Weise aus, da dieser stark wetterabhängig ist. In den Wintermonaten kommt es zu wetterbedingten Verkehrsbehinderungen durch Schneefall, Glatteis, Gewitter und Hagel.

Die Konsequenzen sind ein geringeres Fahrtempo und die Bildung von Staus oder Verzögerungen im Personen- und Gütertransport. Zudem ist der Straßenverkehr auch von Überschwemmungen und niederschlagsbedingtem Hochwasser stark betroffen. Als weitere negative klimabedingte Auswirkungen sind Schäden an Bauwerken und Brücken sowie Straßensperrungen und Fahrzeitverluste zu nennen. Besondere Probleme können bei Just-in-Time-Lieferungen und den darauf folgenden Produktionsprozessen eintreten. Dadurch entstehen bei denjenigen Branchen Wettbewerbsnachteile, die diese Beschaffungsstrategie aus wettbewerbsorientierter Sicht – etwa zur Vermeidung von Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten und zur Reduzierung von Durchlaufzeiten – zunehmend anwenden.

Aufgrund höherer Temperaturen und anhaltender Hitzewellen in den Sommermonaten und den damit einhergehenden steigenden Innenraumtemperaturen in den Fahrzeugen kann es zu Konzentrationsschwächen der Verkehrsteilnehmer kommen, in deren Folge die Unfallhäufigkeit zunimmt. Eine positive Korrelation zwischen Unfallhäufigkeit und Innenraumtemperatur des Fahrzeugs wurde bereits in einer Untersuchung der Bundesanstalt für Straßenwesen nachgewiesen. Der Studie zufolge nimmt die Unfallhäufigkeit im Außerortverkehr bei einer Innenraumtemperatur des Fahrzeugs von über 32 Grad Celsius um 13 Prozent und im Stadtverkehr um 22 Prozent zu. Es wurde sogar eine Zunahme der Unfallzahlen um ein Drittel bei extremen Temperaturen von über 37 Grad Celsius festgestellt (Zebisch et al., 2005, 151).

Die Betroffenheit des Straßenverkehrs hat aufgrund des hohen Anteils dieses Verkehrsbereichs am Personen- und Güterverkehr eine starke gesamtwirtschaftliche Bedeutung. Der Anteil dieses Sektors an den Verkehrsleistungen im Güterverkehr wurde 2006 auf rund 70 Prozent beziffert (BMVBS, 2007b, 243). Nicht nur der Straßenverkehr, sondern auch der Schienenverkehr hat in Zukunft unter den Extremwetterereignissen zu leiden. Der Schienenverkehr kann durch Schäden an Oberleitungen und Gleisen infolge von Stürmen, Erdbeben und Überschwemmungen erheblich beeinträchtigt werden. Extreme Vereisungen können zudem zu großen Problemen bei der Stromversorgung führen. Hinzu kommen Schäden an Schienen durch extreme Hitze. Aber auch der Luftverkehr bleibt nicht von den negativen Wetterereignissen verschont. Er kann beispielsweise durch veränderte Luftströmungsverhältnisse, Gewitter, Stürme, Starkregen und zunehmende Wirbelstürme stärker betroffen sein, als dies heutzutage der Fall ist. Dadurch werden die Luftverkehrssicherheit – zum Beispiel wegen erhöhter Gefahr bei Starts und Landungen – oder der Lufttransport negativ beeinflusst (Zebisch et al., 2005, 151; Koller et al., 2007, 81).

Der Klimawandel hat außerdem Auswirkungen auf die Schifffahrt. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung dieser Branche im Logistiksektor (Güterverkehr) gewinnen die gegenwärtigen und zukünftigen Folgen des Klimawandels erheblich an Bedeutung. „Rund 90 Prozent aller weltweit gehandelten Güter legen einen Teil der Strecke vom Produzenten zum Konsumenten per Schiff zurück“ (Kazim, 2008). In Europa erfolgen 90 Prozent des EU-Außenhandels und 40 Prozent des Binnenhandels über den Seeweg. Allein in deutschen Nord- und Ostseehäfen wurden nach Angaben des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Jahre 2006 ungefähr 3.000 Millionen Tonnen Güter umgeschlagen (BMVBS, 2007a, 6).

Nicht nur die Küsten- und Sportschifffahrt, die Häfen und Industrieanlagen sowie der Küstenschutz, sondern auch das Offshore-Gebiet werden von Extremwetterereignissen betroffen sein. Dadurch können neben der Gefährdung der Anlagen und Investitionen auch Probleme bei der Öl- und Gasförderung sowie bei der Windenergiegewinnung entstehen. Ebenso ergeben sich negative Auswirkungen für die Fischereibranche. Des Weiteren kann die Zugänglichkeit der Binnen- und Seehäfen gefährdet sein (BMVBS, 2007a, 6).

Durch extreme Schwankungen der Wasserstände im Sommer aufgrund von Trockenheit oder umgekehrt Hochwasser wird die Binnenschifffahrt negativ beeinflusst. Diese Gefahr besteht vor allem für Flüsse wie den Rhein oder die Elbe (Zebisch et al., 2005, 151). Die Folgen sind eine erhebliche Einschränkung des Schiffverkehrs und im Extremfall eine vollständige Einstellung aus Sicherheitsgründen. So sank die Verkehrsleistung der deutschen Binnenschifffahrt im Gesamtjahr 2003 aufgrund der niedrigen Wasserpegel der wichtigsten deutschen Schifffahrtswege wie beispielsweise dem Rhein im Sommer 2003 um über 9 Prozent (Heymann, 2007, 25). Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch die Binnenschifffahrt auf dem Rhein im Jahr 2003 eine Verkehrsleistung in Höhe von gut 39 Milliarden Tonnenkilometern erbracht wurde. Bezogen auf alle Verkehrsleistungen im Bereich des Güterverkehrs wies die gesamte Binnenschifffahrt im Jahr 2003 einen Anteil von fast 11 Prozent auf (BMVBS, 2007b, 241f.).

Jedoch sind neben diesen Risiken auch Chancen für den Verkehrssektor zu erwarten. Mit Blick auf die Tendenz zur globalen Erwärmung ist anzunehmen, dass der gesamte Verkehrssektor aufgrund der abnehmenden Frost- und Eistage in den Wintermonaten eher vom Klimawandel profitieren wird (siehe auch Zebisch et al., 2005, 150). Die steigenden Temperaturen im Sommer wiederum werden zu einer erhöhten Nachfrage nach leistungsfähigen Klimaanlage in den Fahrzeugen führen. Des Weiteren wird der Bedarf an Sicherheitstechnologien und Frühwarnsystemen steigen, ebenso die Nachfrage nach kleineren und flach ge-

henden Schiffen für den Binnenverkehr (Koller et al., 2007, 82). Durch die zunehmende Betroffenheit des Verkehrssektors ist ein erhöhter Investitionsbedarf im Zusammenhang mit neuen Technologien, Dienstleistungen oder Baumaßnahmen im Bereich der gesamten Verkehrsinfrastruktur zu erwarten. Hinzu kommen die schutz- und anpassungsbezogenen Baumaßnahmen in den Küstengebieten. Mit den erforderlichen Investitionen gehen positive Produkt- und Markimpulse einher.

Anpassungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf

Im Hinblick auf den Umwelt- und Klimaschutz werden in den Sektoren Verkehr und Logistik zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz zahlreiche Maßnahmen im Bereich der Produkt- und Prozessoptimierung durchgeführt. So steht beispielsweise neben der Minderung von Schadstoffen im Verkehrsbereich – seit 1979 verzeichnet Deutschland eine Reduktion der meisten Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs um über 80 Prozent – die Effizienzsteigerung der Antriebe und damit auch die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und die CO₂-Emissionsminderung im Fokus der Forschung und Entwicklung von Motoren (Puls, 2006, 23 f.). Auch im Logistiksektor tragen zahlreiche Strategien und Maßnahmen zum Klimaschutz bei. Hierbei ist besonders auf die Modernisierung von Fuhrparks, Prozessoptimierungen, den Einsatz von alternativen Kraftstoffen, die bessere Auslastung von Kapazitäten, die Optimierung der Routenplanung oder die Kombination von verschiedenen Verkehrsträgern zur Lösung von Transportproblemen hinzuweisen.

Aber auch unter dem Aspekt der Anpassung an die Klimafolgen bewegt sich der Sektor langsam nach vorn. Es werden sowohl technische als auch organisatorische Anpassungsmaßnahmen ergriffen oder geplant, beispielsweise:

- Entwicklung von hochleistungsfähigen Klimaanlageanlagen und Klimatisierung von Fahrzeugen;
- Entwicklung und Verwendung von hitzeresistenten Materialien im Straßen- und Schienenverkehr oder im Hoch- und Brückenbau;
- Überlegungen zur langfristigen technischen Anpassung von Gleisen beim Schienenverkehr;
- vorbeugende Maßnahmen gegen witterungsbedingte Umsturzgefahr von Bäumen;
- Baumaßnahmen zum Schutz von Infrastrukturen oder Trassenverlegungen;
- Bereitstellung von Frühwarn- und Informationssystemen;
- Anpassung der Raum- und Stadtplanung;
- Anpassung von Entwässerungssystemen in der Straßeninfrastruktur;

- Anpassung von Infrastrukturen an Flughäfen und Häfen sowie
- Nutzung von neuen Schiffsrouten.

Natürlich ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei oft um langfristige Maßnahmen mit hohen Investitionskosten handelt, die angesichts der volkswirtschaftlichen Bedeutung des gesamten Verkehrssektors sowie der Mobilität und Versorgungssicherheit der Bevölkerung in Kauf genommen werden müssen. Die Anpassung des Verkehrssektors – als eine integrierte Strategie – stellt alle Verkehrsträger vor neue Herausforderungen. Die technische Sicherheit muss gewährleistet sein, gesellschaftliche Interessen sollten einbezogen werden, Kosten und Nutzen aus betriebs- und volkswirtschaftlicher Sicht sowie die klimabezogenen Aspekte müssen Berücksichtigung finden.

4.6 Tourismus

Wirtschaftliche Bedeutung des Tourismus

Der Tourismussektor gilt für viele Regionen der Welt als der dominierende wirtschaftliche Faktor und auch in Zukunft ist mit einem Bedeutungszuwachs zu rechnen (Matzarakis/Tinz, 2008, 247). Nicht zuletzt in vielen europäischen Staaten stellt die Tourismusbranche einen sehr wichtigen Wirtschaftszweig dar. So kommt die Tourismuswirtschaft im Jahre 2007 beispielsweise in Malta auf circa 19 Prozent, in Zypern auf 18, in Spanien und Kroatien auf gut 17 und in Griechenland auf etwa 16 Prozent des jeweiligen Bruttoinlandsprodukts. In den Inselstaaten Malta und Zypern beträgt der Anteil des Tourismussektors gemessen an der gesamten Beschäftigung dieser Länder sogar jeweils mehr als 25 Prozent (Ehmer/Heymann, 2008, 15 f.).

Der Tourismussektor spielt auch in Deutschland aus wirtschaftlicher Sicht eine wichtige Rolle. So wird nach Angaben des Statistischen Bundesamts der im Jahr 2006 erzielte Umsatz des deutschen Beherbergungsgewerbes – beispielsweise Hotellerie und Campingplätze – und des Gaststättengewerbes – etwa Gastronomie – zusammen auf rund 44 Milliarden Euro beziffert (Statistisches Bundesamt, 2009). Die Zahl der Beschäftigten in diesen Sektoren lag im Jahr 2006 bei rund 1,2 Millionen.

Unbestritten ist, dass trotz der regionalen und saisonalen Verschiebungen der Tourismus eine Wachstumsbranche bleiben wird (Heymann, 2008, 69). Eine Aussage, wie sich die deutsche Tourismusbranche in Zukunft konkret entwickeln wird, kann nur unter der Berücksichtigung verschiedener Einflussgrößen getroffen werden. Unabhängig von den klimatischen Bedingungen ist der Tourismus im Allgemeinen starken Schwankungen und Veränderungen unterworfen. Zahl-

reiche sozioökonomische Einflussfaktoren können bei der zukünftigen Entwicklung eine Rolle spielen (siehe auch Zebisch et al., 2005, 137). Zu nennen wären hier unter anderem: die Altersstruktur, das Einkommen, das Reiseverhalten, der Lebensstil und der Bildungsstand der (potenziellen) Touristen, aber auch die politische Lage in den touristisch attraktiven Regionen bezogen auf Kriege, politische Instabilitäten und Terroranschläge in den Urlaubszielen – beispielsweise in Ägypten, Djerba oder Bali. Der Tourismussektor ist aber auch zunehmend direkt und indirekt vom Klimawandel betroffen.

Auswirkungen des Klimawandels

Mit Blick auf die unterschiedlichen Bestimmungsfaktoren kann die Branche in Zukunft verstärkt durch regulatorische Rahmensetzung beeinflusst werden, so beispielsweise durch die Verschärfung der Regulierungen im Mobilitätsbereich oder die Einbeziehung des Luftverkehrs in den EU-Emissionshandel spätestens ab dem Jahr 2012 (siehe auch Heymann, 2008, 69). Eine unmittelbare Betroffenheit liegt insbesondere durch die natürlich-physikalische Dimension des Klimawandels vor. Damit lassen sich auch marktinduzierte Auswirkungen auf den Tourismus erwarten.

Eine starke Abhängigkeit des Tourismussektors vom Klimawandel wurde durch die aktuelle KPMG-Studie „Climate Changes Your Business“ festgestellt. Auf der Basis der Analyse von 50 wissenschaftlichen Studien zu ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Wirtschaftssektoren stuft diese Studie den Tourismussektor neben fünf weiteren Branchen und Bereichen – Erdöl/Erdgas, Luftfahrt, Gesundheit, Transport und Finanzen – unter der höchsten Risikokategorie „danger zone“ ein (KPMG, 2008, 52 f.). Hierbei wurden vier Risikokategorien berücksichtigt: regulatorische Risiken, physikalische Risiken, Reputationsrisiken sowie Prozess- und Rechtsrisiken. Auch mit Blick auf allein die natürlich-physikalische direkte Betroffenheit „physical risk“ durch den Klimawandel gehört der Tourismus nach der Studie neben den Bereichen Land- und Forstwirtschaft, Gesundheit, Pharma und Versicherung ebenfalls zur höchsten Risikokategorie „danger zone“ (KPMG, 2008, 45).

Aufgrund der Vielfalt von Einflussfaktoren ist für die Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus eine differenzierte Vorgehensweise erforderlich. Hierbei ist neben den klimatologischen Einflussfaktoren insbesondere der Zeitaspekt zu berücksichtigen. Die Zeitdimension bezieht sich vor allem auf die Jahreszeiten Sommer und Winter. Des Weiteren spielt bei der Analyse der Auswirkungen auch die Reiseform wie beispielsweise Städte- oder Kulturreisen, Badeurlaub oder Wandertourismus eine große Rolle.

Im Kontext der klimatischen Bedingungen kommen vor allem den meteorologischen Größen Sonne, See und Sand beim Sommertourismus und Schnee beim Wintertourismus eine besondere Rolle zu (Matzarakis/Tinz, 2008, 248). Wie Übersicht 1 zeigt, sind hierbei viele Faktoren – beispielsweise Luft- und Wassertemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Sonnenintensität und Sonnenscheindauer sowie Schneedecke und Schneereflexion – zu berücksichtigen. Diese Faktoren wirken auf den Tourismus. Sie können ihn sowohl fördern als auch hemmen. Die Betroffenheit des Tourismus soll jedoch in Abhängigkeit von der Form des Tourismus oder der „Reiseform“ (zum Beispiel Städtereisen, Badetourismus, Wintersport) beurteilt werden, denn der Klimawandel kann sich bei den verschiedenen Reiseformen sehr unterschiedlich auswirken. Darüber hinaus ist bei der Analyse der Betroffenheit auch das Reiseziel oder der Urlaubsort zu berücksichtigen.

Sommertourismus. Im Vergleich zum Wintertourismus ist der Sommertourismus in Deutschland teilweise Gewinner des Klimawandels. Mit zunehmenden Temperaturen und abnehmenden Niederschlägen wird der Sommerurlaub attraktiver als je zuvor. Die extremen Hochsommertemperaturen in anderen Zielgebieten insbesondere in den gegenwärtig beliebten Mittelmeerregionen könnten sogar zur Verlagerung der Tourismusströme ins milde Deutschland führen (siehe auch Zebisch et al., 2005, 141; Heymann, 2007, 26). Die positiven klimatischen Auswirkungen auf den Sommerurlaub in Deutschland wurden auch in den exemplarisch durchgeführten Untersuchungen zur Quantifizierung der regionalen Klimaauswirkungen bestätigt. Eine derartige Untersuchung wurde in Baden-Württemberg beispielsweise für die zwei Bereiche „Badetourismus am Bodensee“ und „Wandertourismus im Schwarzwald“ durch-

Wichtige meteorologische Größen beim Tourismus Übersicht 1

Sommertourismus	
Sonne	Sonnenscheindauer
	Sonnenintensität
	Wolkenbedeckung
	Lufttemperatur
	Luftfeuchtigkeit
	Windgeschwindigkeit
Meer/See	Wassertemperatur
	Windgeschwindigkeit
	Lufttemperatur
Sand	Oberflächentemperatur
	Windgeschwindigkeit
Wintertourismus	
Schnee	Schneedecke
	Lufttemperatur
	Schneereflexion
	Windgeschwindigkeit

Quelle: In Anlehnung an Matzarakis/Tinz, 2008, 248

geführt. Den Ergebnissen dieser Studie zufolge (Wolff et al., 2005, 107 ff.) ist für die Bodensee-Region im Untersuchungszeitraum von 2001 bis 2055 eine positive Entwicklung der badetourismusrelevanten Klimaparameter wie etwa Maximaltemperatur und tägliche Sonnenscheindauer zu erwarten. Daher ist auch mit einer steigenden Anzahl der potenziellen Badetage und einer verlängerten Badesaison zu rechnen. Im Untersuchungszeitraum wurden für den südlichen Schwarzwald ebenfalls häufiger Tage mit günstigen Wetterverhältnissen für den Wandertourismus wie Maximaltemperatur, relative Feuchte und Sonnenscheindauer prognostiziert.

Wintertourismus. Vom Klimawandel ist vorwiegend das ökonomisch bedeutsame Segment des Wintertourismus negativ betroffen. Insbesondere in den tieferen Lagen der Alpen und in den deutschen Mittelgebirgen zeichnet sich schon heute ein Rückgang der Schneesicherheit ab. Daher wird auch damit gerechnet, dass Wintersport in Zukunft in den Alpen nur noch in Höhen ab 1.500 Metern und in den Mittelgebirgen in Lagen über 800 bis 1.000 Metern möglich sein wird (UBA, 2008; BMU, 2009, 41). Mangelnder Schnee wirkt sich auf den Wintertourismus negativ aus, denn gerade die Schneequalität und Schneesicherheit sind unverzichtbare Voraussetzungen für die Sportaktivitäten im Winter. Es ist jedoch anzumerken, dass schneesichere Regionen wiederum besonders profitieren werden, da eine Verlagerung des Wintertourismus auf diese Gebiete zu erwarten ist. Diese Regionen werden noch mehr Wintertouristen anziehen als bisher.

Des Weiteren sind infolge des Klimawandels Schäden an der touristischen Infrastruktur in Wintersportregionen zu erwarten. So könnten beispielsweise Infrastruktureinrichtungen wie Skilifte und die Stabilität der Anlagen durch das Auftauen der Böden aufgrund der zunehmenden Erwärmung gefährdet werden (Ehmer/Heymann, 2008, 7).

Städtetourismus. Für diesen Bereich stellen die Extremwetterereignisse wie Hochwasser oder anhaltende Hitzewellen ebenfalls ein großes Risiko dar. Trotzdem sind die Auswirkungen des Klimawandels auf das Segment Städtetourismus oder Kulturreisen sehr gering. Durch eine verlängerte Saison erhöht sich sogar die Attraktivität des Städtetourismus (UBA, 2008). Das Segment der Städtereisen nimmt einen großen Platz innerhalb aller Urlaubsreisen ein. So haben Städtereisen im Jahr 2003 nach Angaben der International Tourism Consulting Group 19 Prozent aller Urlaubsreisen der Deutschen ausgemacht (IPK, 2004). Es ist künftig weiterhin mit einer zunehmenden Bedeutung zu rechnen, denn diese Reiseform kann beispielsweise auch bei den vom Klimawandel negativ betroffenen touristischen Segmenten als eine mögliche alternative Lösung genutzt werden.

Anpassungsmöglichkeiten und Handlungsbedarf

Wie bereits beschrieben, ist der Tourismus – wenn auch die verschiedenen Segmente unterschiedlich – vom Klimawandel betroffen. Neben der Betroffenheit der touristischen Infrastruktur und den zunehmenden Planungsunsicherheiten bei Kunden und Tourismuswirtschaft könnte der globale Klimawandel grundsätzlich nach Einschätzung der Tourismusorganisation der Vereinten Nationen (UNWTO) „langfristig das Reiseverhalten weltweit spürbar verändern. Er könnte einerseits den Tourismus in zahlreichen Zielgebieten gefährden und andererseits die Tourismusströme verlagern“ (DAS, 2008, 41). Hierbei wird es sowohl Gewinner als auch Verlierer geben. Demzufolge entstehen für die Tourismuswirtschaft sowohl Risiken als auch Chancen. So waren vor diesem Hintergrund fast 29 Prozent der 182 befragten Umweltexperten aus Unternehmen und Wirtschaftsverbänden im Rahmen einer IW-Onlinebefragung im September 2008 der Ansicht, dass die Tourismuswirtschaft (ohne Verkehr) von natürlich-physikalischen und marktbezogenen Risiken des Klimawandels betroffen ist. Dadurch sahen allerdings auch 22 Prozent der Experten Chancen für die Branche.

Vor diesem Hintergrund ist die Anpassung des Tourismus an die Klimafolgen – insbesondere in stark verletzbaren Segmenten wie dem Wintertourismus – erforderlich. Die Relevanz einer rechtzeitigen Anpassung ist nicht zuletzt unter dem Aspekt der ökonomischen Bedeutung des Tourismus hervorzuheben. Werden mit den vorhandenen oder künftig zu erwartenden tourismusrelevanten Klimaparametern größere Veränderungen im Reiseverhalten einhergehen, können erhebliche „Auswirkungen auf die Wirtschafts- und Sozialstruktur in den Zielländern“ (DAS, 2008, 41) etwa in der Infrastruktur oder bei den Unterkünften oder im Verkehrsbereich der betroffenen Reiseziele nicht ausgeschlossen werden.

Entsprechend des Betroffenheitssegments können verschiedene Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden, um die Verletzbarkeit zu reduzieren. Die Anpassung kann sowohl in technischer als auch in einer verhaltensorientierten Art erfolgen. Im Bereich des Wintertourismus entsteht die wesentliche Betroffenheit durch die Schneeunsicherheit in den Wintersportgebieten. Eine Anpassungsmaßnahme ist es, in diesen Gebieten durch Schneekanonen künstliche Beschneigungen vorzunehmen. Hierbei ist auf die Problematik des Zielkonflikts zwischen Klimaschutz und Anpassung hinzuweisen. Die künstliche Beschneigung mit Schneekanonen kann zwar das Problem der Schneeunsicherheit lösen, allerdings ist dies nur mit dem Einsatz von größeren Mengen an Energie und Wasser möglich. Darüber hinaus stößt die künstliche Beschneigung mit höheren Temperaturen an ihre technischen und wirtschaftlichen Grenzen. So könnte diese bei „steigenden Temperaturen in tieferen Lagen künftig nicht mehr möglich sein“ (DAS, 2008, 41). Sie

ist mit höheren Investitionskosten verbunden und nur bei Temperaturen unter minus 4 Grad Celsius ökonomisch vertretbar (Zebisch et al., 2005, 144; Koller et al., 2007, 75). Somit kann durch die künstliche Beschneigung das Problem der Schneeunsicherheit zwar kurz- und mittelfristig behoben werden, langfristig ist aber nach alternativen Lösungen zu suchen. In diesem Kontext wird für stark betroffene Gebiete wie etwa die Mittelgebirge ein grundsätzlicher Strategiewechsel durch eine Umstellung des schneegebundenen Wintersports auf andere Formen wie Wanderungen oder Kulturreisen (beispielsweise Zebisch et al., 2005, 144; UBA, 2008; BMU, 2009) empfohlen. Durch diese alternativen Angebote können die tiefer gelegenen Regionen ihre Attraktivität erhöhen, jedoch ist zu berücksichtigen, dass hier die Möglichkeiten zur Kompensation begrenzt sind, da die Skiurlauber im Endeffekt nur Ski fahren wollen (Heymann, 2007, 26).

4.7 Gesundheit

Der Hitzesommer 2003, dem in Europa rund 55.000 und in Deutschland circa 7.000 Todesfälle zugeschrieben werden (Jendritzky, 2007, 108), ist ein markanter Anknüpfungspunkt für das Thema Klimafolgen und Gesundheit. Die Zahl der weltweiten Todesfälle durch ein vermehrtes Auftreten von Malaria und Durchfall wird für das Jahr 2030 auf rund 200.000 geschätzt (Global Humanitarian Forum, 2009, 90). Die Wirkungsbeziehungen sind jedoch vielfältig und beinhalten häufig indirekte Effekte wie eine schnellere Verkeimung von Wasser und Lebensmitteln oder verstärkte allergische Reaktionen aufgrund eines vermehrten beziehungsweise länger andauernden Pollenflugs. Auch positive Effekte wie eine Verringerung der Zahl von Kältetoten gehören in dieses Bild.

Hitzeeffekte

Die größten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit werden bei den wahrscheinlich längeren und häufigeren Hitzewellen in den Wärmeinseln der Städte erwartet, in denen es bis zu zehn Grad heißer werden kann als in benachbarten ländlichen Gebieten. Im Vergleich zur gesundheitlich günstigsten Temperatur steigt die durchschnittliche Todeswahrscheinlichkeit bei 35 Grad Celsius um 15 bis 20 Prozent. Eine Schweizer Studie zeigt, dass die günstigste Temperatur für Menschen nördlich der Alpen bei 21 Grad Celsius liegt, südlich der Alpen hingegen bei 24,5 (Grize et al., 2005). Im Norden wird bei hohen Temperaturen eine höhere Sterblichkeit beobachtet als im Süden. Dies zeigt die langfristige Anpassungsfähigkeit des menschlichen Organismus und seiner Umgebung an klimatische Bedingungen, wobei offen ist, in welchen Zeiträumen sich Anpassungen dieser Art vollziehen. Wenn es nur um ein – mehr oder weniger ange-

nehmes – Temperaturempfinden geht, erfolgt die Anpassung recht schnell: Sie folgt dem Gang der Jahreszeiten, was bedeutet, dass im Frühjahr eine um zwei Grad geringere Temperatur als angenehm warm empfunden wird als im Herbst nach sommerlicher Wärmegewöhnung.

Hitze beeinträchtigt das Herz-Kreislauf-System des Menschen. Der Organismus kann unter Dehydrierung leiden. Hitzschläge und Überhitzung des Körpers sind möglich. Betroffen sind vorwiegend alte Menschen und Personen in schlechtem Gesundheitszustand (UBA/DWD, 2008, 5; WHO, 2007). Durch den auch in Zukunft steigenden Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung wird sich die Zahl der Betroffenen in den kommenden Dekaden vergrößern. Todesfälle während Hitzewellen sind zumeist nur mittelbar durch die hohen Temperaturen verursacht, da die Regulation der Körpertemperatur die Versorgung lebenserhaltender Systeme wie das Herz-Kreislauf-System verschlechtert (Jendritzky/Koppe, 2008, 152). Inwieweit solche Belastungen getragen werden müssen, hängt nicht zuletzt von Anpassungsmaßnahmen ab, so von der Wahl der Kleidung, des Aufenthaltsorts, der Klimatisierung von Räumen und einer angemessenen Versorgung mit Flüssigkeit. Diese Aspekte entscheiden auch darüber, ob Hitzewellen zu einer Verringerung der Arbeitsleistung führen: Bekannt ist die Lockerung von Kleidungs Vorschriften in Japan, die nicht nur zu einem größeren Wohlbefinden, sondern auch zu einem verringerten Einsatz von Kühlenergie beitragen soll. Je weniger Arbeit im Freien verrichtet wird, desto eher ist an eine klimatische Verbesserung des Arbeitsplatzes zu denken. Wo dies baulich nicht möglich ist, wird durch den Einsatz von Ventilatoren die auf der Haut erzeugte Verdunstungskühle genutzt. Aber auch im Freien sind Anpassungsmaßnahmen nicht ausgeschlossen. Man denke etwa an Zeltdächer, wie sie bei Ausgrabungen in heißen Ländern sehr häufig von Archäologenteams verwendet werden. Anpassungen im Gebäudebereich und in der Stadtplanung werden im Abschnitt 4.4 beschrieben.

Extremwetterereignisse

Durch Extremwetterereignisse können Menschen unmittelbar Schaden nehmen. Hierzu zählen Überschwemmungen, Erdbeben und schwere Stürme, die Menschen aller Altersklassen bedrohen. Die Konsequenzen solcher Ereignisse können schwer bewältigt werden, wenn zugleich die Möglichkeiten zur Bergung und zum Transport von Verletzten beeinträchtigt sind.

Vielfältige Maßnahmen zur Vorsorge sind möglich: Orte können einen Hochwasserschutz erhalten, die Kanalisation ist entsprechend auszubauen. Gegen Geröll und Lawinen können Barrieren errichtet werden, umsturzgefährdete Bäume und Bauwerke lassen sich sichern oder beseitigen, die Bauleitplanung ist anzu-

passen. Notfallpläne können überarbeitet und Einsatzkräfte und -geräte aufgestockt werden. Darüber hinaus können Menschen darauf achten, dass sie sich – nach entsprechenden Warnungen – nicht an gefährdeten Orten aufhalten.

Ausbreitung von Krankheiten

Höhere Temperaturen können auf mehreren Wegen die Ausbreitung von Krankheiten beschleunigen. Wärme begünstigt die Vermehrung und die Lebensdauer von Keimen wie Salmonellen und Coli-Bakterien (*Escherichia coli*) und coliformen Keimen. Erkrankungen werden bei Nachlässigkeiten in der Hygiene und bei der Lagerung und Verarbeitung von Lebensmitteln wahrscheinlicher. Diesbezüglich ist der Wissensmangel im Bereich der privaten Haushalte am stärksten. In der Lebensmittelindustrie und im Handel dürfte der Anpassungsbedarf geringer sein, da hier bereits hohe Standards eingeführt sind.

Eine weitere Gefährdung der Gesundheit geht von bodennahem Ozon aus (Mücke, 2008). Es entsteht in für Hitzewellen typischen Wetterlagen. Bei hohen Konzentrationen verstärken sich Erkrankungen der Atemwege. Auch die Lungenfunktion und damit die Leistungsfähigkeit selbst gesunder Erwachsener kann beeinträchtigt werden. Die Emission von Vorläufersubstanzen, die vor allem in Klimaanlageanlagen verwendet werden, kann zu einer zusätzlichen Erhöhung der Ozonbelastung führen. Festzuhalten ist weiterhin, dass der Umgang mit diesen Problemen in den letzten Jahren bereits erprobt und beispielsweise ein gut funktionierendes Frühwarnsystem aufgebaut wurde.

Veränderungen des Klimas haben auch Auswirkungen auf den Pollenflug und damit ebenfalls auf Atemwegsbeschwerden (Menzel/Behrendt, 2008, 121 f.). Sehr wahrscheinlich ist eine Verschiebung der Pollenflugzeiten, wahrscheinlich auch eine Verlängerung dieser Perioden. Eine Verfrühung der Pollenflugsaison ist bereits seit über 30 Jahren zu beobachten, und zwar um ein bis drei Tage je Dekade (Rosenzweig et al., 2007). Möglich sind ferner höhere Konzentrationen von Pollen in der Luft, wenn im Zuge einer generellen Temperaturerhöhung vermehrt Pflanzen, die starke Pollenproduzenten sind, gesetzt werden beziehungsweise sich wie derzeit das Traubenkraut (*Ambrosia*) unkontrolliert ausbreiten. Beispiele für Kulturpflanzen mit einem hohen Allergiepotezial sind Platanen, Glaskräuter (*Parietaria*), Zypressen, Olivenbäume und Gänsefußgewächse (*Chenopodiaceae*). Aber auch dadurch ergibt sich nicht sofort eine Verstärkung von Allergien, da zumindest der Gehalt an Allergenen nicht zuzunehmen scheint.

Eine ungleich größere Gefahr könnte in einer stärkeren Ausbreitung von Viren liegen. So wird derzeit eine weitere Verbreitung der Virenkrankheiten Denguefieber und Westnilfieber nach Norden beobachtet (Knobloch, 2008, 161 f.).

Möglich ist auch, dass mit Malaria infizierte Mücken an heißen Tagen in Flughafenbereichen länger überleben können. Außerdem sind in den letzten Jahren Fälle der Blauzungenkrankheit bei Rindern festzustellen, bislang jedoch „nur“ in Italien und Frankreich.

Hohe Bedeutung ist schließlich bakteriellen Erkrankungen wie Borreliose und Hirnhautentzündung beizumessen, die durch infizierte Zecken übertragen werden. Höhere Temperaturen in den Wintermonaten verringern die Sterblichkeit von Zecken und damit auch von infizierten Zecken. Höhere Sommertemperaturen steigern das Risiko des Zeckenbefalls beim Menschen, da er sich häufiger und zudem verstärkt in luftiger Kleidung in gefährdeten Gebieten aufhält. Hieran können wirksame Schutzmaßnahmen anknüpfen.

Die erwarteten Klimaveränderungen bringen eine Reihe von Belastungen für das gesundheitliche Wohlergehen mit sich, denen jedoch auch positive Veränderungen gegenüberstehen. Von Hitzewellen abgesehen dürften höhere Temperaturen in Deutschland von der Mehrheit der Bevölkerung als positiv empfunden werden. Zu dieser subjektiv empfundenen Verbesserung tritt die geringere Gefahr des Erfrierens von Obdachlosen. Anpassungsmaßnahmen im Siedlungsbereich einerseits und im Gesundheitswesen andererseits können die negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit in engeren Grenzen halten. Zu den Anpassungsmaßnahmen im Gesundheitswesen zählt eine verstärkte Ausrichtung der Ausbildungsgänge auf das Problem der Hitzebelastungen und eine Erhöhung der Personalkapazitäten in den Sommermonaten.

5 Fazit

Anders als der Klimaschutz ist die Anpassung an den Klimawandel nicht oder nur geringfügig mit Anreizproblemen, wie sie Kollektivgüter mit sich bringen, behaftet. Dennoch gibt es bei der Anpassung ebenfalls Hindernisse für das Handeln. Diese liegen vor allem im als ungesichert eingestuften Wissen über Zeitpunkt und Ausmaß des Auftretens von Klimaänderungen und darin, dass sich viele Investitionen zur Klimaanpassung voraussichtlich erst in späteren Jahrzehnten auszahlen, sofern sie nicht zugleich Effizienzgewinne versprechen.

Bei der Bilanzierung der Auswirkungen der erwarteten klimatischen Veränderungen auf die Bedingungen menschlichen Lebens und Wirtschaftens zeigt sich ein Übergewicht der Risiken gegenüber den Chancen. Am stärksten sind die

Bedingungen für die Erzeugung von Lebensmitteln und nachwachsenden Rohstoffen sowie für menschliches Wohlbefinden berührt. Sobald Veränderungen auf einem geografisch begrenzten Gebiet auftreten – sei es über Änderungen im Angebot oder der Nachfrage oder über Wanderungsbewegungen – betrifft dies in einer globalisierten Welt zumindest indirekt alle Regionen. Zudem wird es verbreitet zu Mehrfachbelastungen kommen, in einigen Regionen aber auch gleichzeitig zu Verschlechterungen und Verbesserungen.

Ein guter Wissensstand über die wahrscheinlichen Änderungen der Rahmenbedingungen kann helfen, auf diese vorbereitet zu sein und die sich ergebenden Chancen zu nutzen sowie die entstehenden Risiken zu vermeiden. Es hilft, die Anpassungsfähigkeit zu erhöhen und die Kosten der Anpassung zu reduzieren. Der durch den Klimawandel verstärkte Strukturwandel kann weniger schmerzlich und mit niedrigeren Kosten, nicht zuletzt auch geringeren versunkenen Kosten, erfolgen und von Maßnahmen der öffentlichen Hand begleitet werden. Eine gute Datenlage hilft, neue Chancen schneller zu ergreifen. Es ist nicht vernünftig, sich darauf zu verlassen, dass notwendige Ressourcen immer und überall zur Verfügung stehen, wenn die Verletzlichkeiten offenbar geworden sind. Für die Mehrzahl der Menschen auf diesem Globus ist dies ohnehin höchstens ein frommer Wunsch. Gleichwohl sind materielles und Humankapital als die grundlegenden und am wenigsten spezifischen Elemente einer hohen Anpassungsfähigkeit zu betrachten.

Wichtige Ansatzpunkte in der Land- und Forstwirtschaft sind die frühzeitige Entwicklung beziehungsweise Auswahl von Pflanzensorten, die sich für ein wandelndes Klima eignen, einschließlich der Gewinnung von Erfahrungen in ihrem Anbau und eine weitere Steigerung der Produktivität pro Fläche in den klimatisch bevorzugten Regionen für eine wachsende Nachfrage nach hochwertigen Lebensmitteln und nachwachsenden Rohstoffen. Darüber hinaus sind Ernteausfälle bei Extremwetterereignissen auszugleichen, und zwar in den geernteten Mengen wie in den Erlösen der Land- und Forstwirte.

Die Wasserwirtschaft muss sich in Deutschland in erster Linie an einen temporären Wasserüberschuss anpassen. Die wichtigsten Ansatzpunkte sind der vermehrte Einsatz von Rückhaltebecken und Retentionsflächen auf der einen Seite und die Schaffung schnellerer Abflussmöglichkeiten auf der anderen Seite. Ein sparsamerer Umgang mit Wasser ist dagegen in einigen Regionen im Nordosten Deutschlands erforderlich. Die Energiewirtschaft kann durch verbesserte Technologien zur Energieumwandlung und durch die Kombination von Energieträgern ihre Abhängigkeit von einzelnen Primärenergieträgern und vom Wasser verringern.

Produktionsstätten und Transportwege von Industrie und Gewerbe müssen und können durch Sicherungen gegen Überschwemmungen, sturmfeste Befestigungen, größere Sicherheitszuschläge für Windlasten, die Erschließung alternativer Verkehrswege und geringere Abhängigkeiten von schnellen Lieferungen klimasicherer gemacht werden. In besonders gefährdeten Gebieten – etwa im Hinblick auf Hochwasser – muss über die Erhaltung von Standorten nachgedacht werden. Für die Bauwirtschaft stehen hier die Chancen im Vordergrund, und zwar sowohl vorsorgend als auch bei der Reparatur von witterungsbedingten Schäden.

Für den Gebäudesektor liegen die Hauptherausforderungen in der Aufrechterhaltung des Wohlbefindens der Menschen bei höheren sommerlichen Temperaturen – insbesondere bei Hitzewellen – und in Vorkehrungen vor Beschädigungen von Gebäuden durch Stürme und Starkregen. Hinzu kommt ein verstärkter Schutz vor Hochwasser.

Die wegegebundene Mobilität auch unter ungünstigen Wetterbedingungen und bei Beschädigungen von Trassen (Straßen oder Schienen) aufrechtzuerhalten, stellt für den Verkehrsbereich die Hauptaufgabe dar. Die technischen Maßnahmen sind durch organisatorische zu ergänzen. Die Erschließung zusätzlicher Verkehrsoptionen und angepasste Lieferzeiten können die Abhängigkeit von einzelnen Verkehrsträgern verringern.

Die Tourismuswirtschaft steht in einigen Regionen vor der Aufgabe, sich auf eine größere Nachfrage vorzubereiten und dabei attraktiv zu bleiben. Andernorts muss geprüft werden, ob sich die touristische Infrastruktur umnutzen lässt, dies vor allem vom Winter- zum Sommertourismus.

Maßnahmen für einen verbesserten Gesundheitsschutz im Zeichen des Klimawandels umfassen beispielsweise stadtplanerische Ansätze einer durchlüfteten und begrünter Stadt zur Vermeidung sommerlichen Hitzestresses. Vor allem von medizinischer Seite sind das Monitoring von Krankheiten und Erregern sowie die entsprechenden Vorkehrungen auszuweiten.

Durch welche natürlichen Klimafolgen die Branchen direkt betroffen sein werden, fasst Übersicht 2 zusammen. Dabei sind nur Branchen aufgeführt, für die eine wesentliche Betroffenheit zu erwarten ist. In der Zusammenstellung der wichtigsten Klimafolgen für die Branchen zeigen sich die negativen Wirkungen von Hagel und Stürmen sowie die wechselnde Zuordnung von hohen Temperaturen und verminderten Niederschlägen im Sommer zu Chancen oder Risiken – zumindest mit Blick auf Deutschland. Die Chancen und Risiken, die für die Branchen durch den Klimawandel entstehen, schematisiert Übersicht 3. Sie beschränkt sich auf die Anpassungsleistungen, die durch die klimatischen Veränderungen induziert werden, gibt also nicht wieder, welche Chancen und Risiken aus dem

Wesentliche natürliche Klimafolgen für verschiedene Branchen

Übersicht 2

Branche	Häufigere und stärkere Stürme	Häufigerer Hagelschlag	Steigende Temperaturen	Veränderte Niederschläge
Landwirtschaft	-	-	+/-	-
Forstwirtschaft	-	0	-	-
Wasserwirtschaft	-	0	-	-
Energiewirtschaft	-	0	-	-
Erneuerbare Energien	-	0	+/-	-
Pharmaindustrie	0	0	+	0
Bauwirtschaft	+	0	+	0
Immobilienwirtschaft	-	0	0	0
Verkehr	-	0	0	0
Logistik	-	0	0	0
Sommertourismus	0	0	+	+
Wintertourismus	0	0	-	0

- : starke negative Folgen; 0 : weder starke negative noch starke positive Folgen; + : starke positive Folgen.
Eigene Darstellung

Bereich der Klimaschutzpolitik entstehen. Die klare Zuordnung in vier Bereiche wird nicht allen Branchen gleich gerecht, vereinfacht aber die Schlussbilanz.

Überblick über Anpassungschancen und -risiken der Branchen*

Übersicht 3

	Hohe Chancen	Geringe Chancen
Hohe Risiken	<i>Verwandlungsbereich</i> Landwirtschaft	<i>Risikobereich</i> Forstwirtschaft Wasserwirtschaft Energiewirtschaft Ernährungsindustrie Papierindustrie Immobilienwirtschaft Verkehr Logistik Wintertourismus
Geringe Risiken	<i>Chancenbereich</i> Erneuerbare Energien Pharmaindustrie Bauwirtschaft Sommertourismus	<i>Bereich geringer Anpassung</i> Textilindustrie Chemieindustrie Metall- und Elektroindustrie Sonstige Dienstleistungen

* Ohne Effekte durch Klimaschutz.
Eigene Darstellung

Die größte Zahl der Branchen findet sich im Risikobereich wieder. Hier stehen hohen Risiken geringe Chancen gegenüber. Kaum halb so lang ist die Liste der Branchen im Chancenbereich, der aber auch dafür steht, dass es nicht nur Verlierer des Klimawandels gibt. Eine Reihe von großen Branchen muss sich nur in Maßen anpassen und gehört weder eindeutig zu den Gewinnern noch klar zu den Verlierern. Gewinner wie Verlierer wird es auch in der Landwirtschaft geben, nur auf einem deutlich höheren Niveau von Veränderungen. Der hohe Anpassungsdruck wird vielfältige Entwicklungen anstoßen, die hohe Chancen neben hohe Risiken stellen werden.

Die Anpassungslasten des Klimawandels können durch rechtzeitiges Handeln verringert werden: durch wirksame Maßnahmen zur Milderung des Klimawandels, durch frühzeitiges Anstoßen von Entwicklungen für neue klimatische Bedingungen beziehungsweise durch die Übernahme von klimaangepassten Lebensweisen und Wirtschaftsformen. Die Nutzung von Chancen durch den Klimawandel kann die gewiss hohen Lasten, die er verursachen wird, ebenfalls verringern. Mit Offenheit, Flexibilität und vorausschauendem Handeln wird man sich auf die Veränderungen im Land und in der Welt, die sich zeitgleich mit dem Klimawandel ereignen, einstellen können.

Literatur

Ainsworth, Elisabeth A. / Long, Stephen P., 2005, What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂, *New Phytology*, Vol. 165, No. 2, S. 351–372

ARMINES – Association pour la Recherche et le Développement des Méthodes et Processus Industriels, 2003, Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC), Final Report, Vol. 2, Study for the D. G. Transportation-Energy of the Commission of the E.U., URL: <http://www-cep.ensmp.fr/english/themes/mde/pdf/EECCAC-finalvol2.pdf> [Stand: 2009-06-29]

Bao, Manzhu et al., 2006, Global Climate Projections, in: IPCC, 2006, Climate Change 2007 – Industry, Settlement and Societies, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC, S. 357–390, URL: http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg2/Report/AR4WG2_Print_Ch7.pdf [Stand: 2009-06-24]

Bardt, Hubertus, 2005, Klimaschutz und Anpassung – Merkmale unterschiedlicher Politikstrategien. Die ökonomischen Kosten des Klimawandels und der Klimapolitik, in: Vierteljahresschrift zur Wirtschaftsforschung, 74. Jg., Heft 2/2005, S. 259–269

Bardt, Hubertus / Selke, Jan-Welf, 2007, Klimapolitik nach 2012, IW-Positionen, Nr. 29, Köln

Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), 2008a, Bayerns Klima im Wandel – erkennen und handeln, Augsburg

Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), 2008b, Klimaanpassung Bayern 2020. Der Klimawandel und seine Auswirkungen – Kenntnisstand und Forschungsbedarf als Grundlage für Anpassungsmaßnahmen, Kurzfassung einer Studie der Universität Bayreuth, Augsburg

BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. / **McKinsey**, 2009, Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasen in Deutschland, Berlin

Biebeler, Hendrik / Mahammadzadeh, Mahammad / Selke, Jan-Welf, 2008, Globaler Wandel aus Sicht der Wirtschaft. Chancen und Risiken, Forschungsbedarf und Innovationshemmnisse, IW-Analysen, Nr. 36, Köln, URL: http://www.klimazwei.de/Portals/0/IW-Analyse_36_Globaler_Wandel.pdf [Stand: 2009.02.05]

BMELF – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1958, Der Grüne Plan 1958, URL: http://www.bmelv-statistik.de/fileadmin/sites/030_Agrarb/1958/GrPlan_Tabteil1.pdf [Stand: 2009-07-07]

BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2007, Agrarbericht 2007, URL: http://www.bmelv-statistik.de/fileadmin/sites/030_Agrarb/2007/AB07kompl.pdf [Stand: 2009-07-07]

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2006, Umweltpolitik, Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil 1, Grundlagen, Berlin, URL: http://www.bmu.de/files/gewaesserschutz/downloads/application/pdf/broschuere_wasserwirtschaft_teil1.pdf [Stand: 2009-02-16]

BMU (Hrsg.), 2009, Dem Klimawandel begegnen. Die Deutsche Anpassungsstrategie, Berlin

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), 2007a, Schiffahrt und Wasserstraßen in Deutschland – Zukunft gestalten im Zeichen des Klimawandels, Bestandsaufnahme, Bonn

BMVBS (Hrsg.), 2007b, Verkehr in Zahlen 2007/2008, 36. Jg., Hamburg

Chmielewski, Frank-Michael, 2007, Folgen des Klimawandels für die Land- und Forstwirtschaft, in: Endlicher, Wilfried / Gerstengarbe, Friedrich-Wilhelm (Hrsg.), Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, Berlin, S. 75–85. URL: <http://edoc.hu-berlin.de/miscellanies/klimawandel-28044/108/PDF/75.pdf> [Stand: 2009-01-15]

Collins, William D. et al., 2006, Global Climate Projections, in: IPCC, 2006, Climate Change 2007 – The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, S. 747–845, URL: http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_Ch10.pdf [Stand: 2009-06-24]

DAS – Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, 2008, herausgegeben von der Bundesregierung, beschlossen vom Bundeskabinett am 17. Dezember, URL: www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt.pdf [Stand: 2009-05-03]

Ehmer, Philip / **Heymann**, Eric, 2008, Klimawandel und Tourismus. Wohin geht die Reise? Deutsche Bank Research, Aktuellen Themen 416, 5. März, Frankfurt am Main

Eulenstein, Frank / **Werner**, Armin / **Fischer**, Andreas, 2008, Produktions- und landschaftsökologische Folgen, in: Lozán, José et al. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken, Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen, Hamburg, S. 257–267

Europäische Kommission, 2007a, Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU, Grünbuch der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, KOM (2007) 354, Brüssel

Europäische Kommission, 2007b, Antworten auf die Herausforderung von Wasserknappheit und Dürre in der Europäischen Union, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat, Brüssel, URL: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2007/com2007_0414de01.pdf [Stand: 2009-10-24]

Europäische Kommission, 2009, Weißbuch, Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen, KOM (2009) 147, Brüssel

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations / **OECD** – Organisation for Economic Co-operation and Development, 2008, Agricultural Outlook 2008–2017, URL: <http://www.oecd.org/dataoecd/54/15/40715381.pdf> [Stand: 2009-06-09]

Gerbens-Leenes, P. Winnie / **Nonhebel**, Sanderine, 2002, Consumption patterns and their effects on land required for food, Ecological Economics, Vol. 42, No. 1-2, S. 185–199

Global Humanitarian Forum, 2009, Human impact report: Climate change – the anatomy of a silent crisis, Genf. URL: http://www.ghfgeneva.org/Portals/0/pdfs/human_impact_report.pdf [Stand: 2009-06-30]

Grize, Leticia / **Hussa**, Anke / **Thommen**, Oliver / **Schindler**, Christian / **Braun-Fahrländer**, Charlotte, 2005, Heat wave 2003 and mortality in Switzerland, Swiss Medical Weekly, 135. Jg., Heft 13/14, S. 200–205

- Hauff**, Michael von / **Rübbelke**, Dirk, 2009, Marktchancen durch die Anpassung an den Klimawandel, in: Wirtschaftsdienst 2009/1, S. 42–45
- Heymann**, Erich, 2007, Klimawandel und Branchen: Manche mögen es heiß!, Deutsche Bank Research, Aktuelle Themen 388, 4. Juni, Frankfurt am Main
- Heymann**, Erich, 2008, Welche Branchen sind besonders vom Klimawandel betroffen?, in: UmweltWirtschaftsForum, 16. Jg., Heft 2, S. 65–70
- Holling**, Crawford Stanley, 1973, Resilience and Stability of Ecological Systems, in: Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 23, No. 4, S. 1–23
- IEA** – International Energy Agency, 2008, CO₂ emissions from fuel combustion, Paris
- IHK München und Oberbayern** – Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern, 2009, Die Wirtschaft und der Klimawandel – Reaktionen der Unternehmen, München
- IPCC** – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001, Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge
- IPCC**, 2008, Klimaänderung 2007, Synthesebericht, Berlin
- IPK** – International Tourism Consulting Group, 2004, Deutscher Reisemonitor 2003, München
- Jacobeit**, Jucundus, 2007, Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Klimasystem, in: Endlicher, Wilfried / Gerstengarbe, Friedrich-Wilhelm (Hrsg.), Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, Berlin, S. 1–16, URL: <http://edoc.hu-berlin.de/miscellanies/klimawandel-28044/108/PDF/1.pdf> [Stand: 2009-01-15]
- Jendritzky**, Gerd, 2007, Folgen des Klimawandels für die Gesundheit, in: Endlicher, Wilfried / Gerstengarbe, Friedrich-Wilhelm (Hrsg.), Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, Berlin, S. 108–118, URL: <http://edoc.hu-berlin.de/miscellanies/klimawandel-28044/108/PDF/108.pdf> [Stand: 2009-01-15]
- Jendritzky**, Gerd / **Koppe**, Christine, 2008, Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität, in: Lozán, José et al. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken, Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen, Hamburg, S. 149–153
- Jonas**, Martin / **Staeger**, Tim / **Schönwiese**, Christian-Dietrich, 2005, Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen, Schwerpunkt Deutschland, herausgegeben vom Umweltbundesamt, Climate Change 07/05, Forschungsbericht 201 41 254, UBA-FB 000845, Dessau
- Kazim**, Hasnain, 2008, Antrieb ohne Öl, Reeder planen das Hochsee-Schiff der Zukunft, in: Spiegel Online, 11. August, URL: <http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,569312,00.html> [Stand: 2008-11-24]
- Kemfert**, Claudia, 2007, Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden, in: DIW-Wochenbericht, 74. Jg., S. 165–170
- Knobloch**, Jürgen, 2008, Globale Zunahme von Tropenkrankheiten, in: Lozán, José et al. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken, Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen, Hamburg, S. 159–164
- Koller**, Cornelia / **Pflüger**, Wolfgang / **Blohmke**, Julian, 2007, Probleme, Herausforderungen und Strategieansätze aus der Sicht von Unternehmen und Investoren, in: Berenberg Bank / HWWI – Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut (Hrsg.), Klimawandel, Strategie 2030, Vermögen und Leben in der nächsten Generation, Hamburg, S. 46–102

- KPMG**, 2008, Climate Changes Your Business, KPMG's review of the business risk and economic impacts at sector level, KPMG International, Amstelveen, Niederlande
- Lehman Brothers**, 2007, The business of climate change, URL: http://www.treevestors.com/media/pdfs/business_of_climate_change.pdf [Stand: 2009-06-25]
- Matzarakis**, Andreas / **Tinz**, Birger, 2008, Tourismus an der Küste sowie in Mittel- und Hochgebirge: Gewinner und Verlierer, in: Lozán, José et al. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken, Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen, Hamburg, S. 247–252
- Max-Planck-Institut für Meteorologie**, 2008, Regionale Klimasimulationen für Deutschland, Österreich und die Schweiz, URL: <http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/ueberblick/atmosphaere-im-erdsystem/regionale-klimamodellierung/remo-uba.html> [Stand: 2009-10-26]
- Menzel**, Annette / **Behrendt**, Heidrun, 2008, Zunahme des Pollenflugs und die Gefahr von Allergien, in: Lozán, José et al. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken, Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen, Hamburg, S. 132–135
- Mücke**, Hans-Guido, 2008, Gesundheitliche Auswirkungen von klimabeeinflussten Luftverunreinigungen, in: Lozán, José et al. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken, Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen, Hamburg, S. 121–125
- MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen** (Hrsg.), 2008, Klimawandel in Nordrhein-Westfalen, Wege zu einer Anpassungsstrategie, Düsseldorf
- Nakicenovic**, Nebojsa / **Swart**, Robert (Hrsg.), 2000, Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge
- OcCC – Organe consultatif sur les changements climatiques / ProClim – Forum for Climate and Global Change, Platform of Swiss Academy of Sciences** (Hrsg.), 2007, Klimaänderung und die Schweiz 2050, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft, Bern, URL: http://www.proclim.ch/products/ch2050/PDF_D/CH2050.pdf [Stand: 2009-02-22]
- Ott**, Hermann E. / **Richter**, Caspar, 2008, Anpassung an den Klimawandel – Risiken und Chancen für deutsche Unternehmen, Kurzanalyse für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Projekts „Wirtschaftliche Chancen der internationalen Klimapolitik“ (FKZ 90511504), herausgegeben von Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal, URL: http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/WP171.pdf [Stand: 2009-02-05]
- Paeth**, Heiko, 2007, Klimamodellsimulationen, in: Endlicher, Wilfried / Gerstengarbe, Friedrich-Wilhelm (Hrsg.), Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, Berlin, S. 44–55, URL: <http://edoc.hu-berlin.de/miscellanies/klimawandel-28044/108/PDF/44.pdf> [Stand: 2009-1-15]
- Puls**, Thomas, 2006, Alternative Antriebe und Kraftstoffe. Was bewegt das Auto von morgen?, IW-Analysen, Nr. 15, Köln
- Rosenzweig**, Cynthia et al., 2007, Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems, in: Parry, Martin L. et al. (Hrsg.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, S. 79–131

Schaller, Eberhard, 2008, Wird Brandenburg trockener? Vortrag im Rahmen des CLM-Forums am 11. Dezember in Cottbus, URL: <http://www.mad.zmaw.de/projects-at/md/sg-adaptation/workshops/clm-forum-2008/> [Stand: 2009-07-06]

Schönwiese, Christian-Dietrich, 2003, Klimatologie, Berlin

Statistisches Bundesamt, 2008, Energieverbrauch der privaten Haushalte, Wiesbaden

Statistisches Bundesamt, 2009, Binnenhandel, Gastgewerbe, Tourismus, Fachserie 6, Reihe 7.3, Wiesbaden, URL: <https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1024137> [Stand: 2009-06-23]

Stehr, Nico / **Storch**, Hans von, 2008, Zeppelin Manifest zum Klimaschutz, URL: <http://coast.gkss.de/staff/storch/pdf/Zeppelin-Manifest-2008.pdf> [Stand: 2009-02-05]

Stern, Nicholas, 2006, Stern Review: The Economics of Climate Change, London, URL: http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm [Stand: 2009-02-10]

Stern Review, 2007, Die wirtschaftlichen Aspekte des Klimawandels, URL: http://www.weingarten.ihk.de/artikel/download/merkblaetter/standortpolitik/umwelt/Gu_titel_stern_report_wirtschaftliche_Folgen_der_Erderwaermung.pdf [Stand: 2009-06-17]

UBA – Umweltbundesamt, 2008, Klimafolgen und Anpassung im Bereich Tourismus, URL: <http://www.anpassung.net/fachinformationen/Tourismus.html> [Stand: 2009-05-15]

UBA / DWD – Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), 2008, Klimawandel und Gesundheit. Informationen zu gesundheitlichen Auswirkungen sommerlicher Hitze und Hitzewellen und Tipps zum vorbeugenden Gesundheitsschutz, Dessau und Offenbach, URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3519.pdf> [Stand: 2009-01-15]

UBA / KomPass – Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (Hrsg.), 2008, Deutschland im Klimawandel, Anpassung ist notwendig, Dessau-Roßlau, URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3468.pdf> [Stand: 2009-06-17]

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008, National greenhouse gas inventory data for the period 1990–2006, Genf, URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2008/sbi/eng/12.pdf> [Stand: 2009-05-26]

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, 2006, Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer, Berlin

WHO – World Health Organization, 2007, Bedrohungen und Herausforderungen im Bereich Gesundheit in der Europäischen Region der WHO. Wachsende Zahl von Naturkatastrophen und Krisensituationen, Kopenhagen

Wolff, Markus / **Walkenhorst**, Oliver / **Stock**, Manfred, 2005, Tourismus, in: Stock, Manfred (Hrsg.), 2005, KLARA. Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung, PIK Report, Nr. 99, Potsdam, S. 107–133

Zebisch, Marc et al., 2005, Klimawandel in Deutschland, Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, herausgegeben vom Umweltbundesamt, Forschungsbericht 201 41 253, UBA-FB 000844, Dessau

Kurzdarstellung

Der Klimawandel hat aus Sicht der Wirtschaft eine natürlich-physikalische, eine marktliche und eine regulatorische Dimension. Seine direkten und indirekten Folgen werden je nach Region und Branche sehr unterschiedlich ausfallen. Dem Klimawandel ist durch eine Doppelstrategie zu begegnen: Neben Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen von klimarelevanten Gasen ist eine Klimaanpassung gefragt. Ausgehend von globalen und regionalen Klimamodellen skizziert diese Analyse zunächst grundsätzliche Anpassungsoptionen und -hindernisse. Daraufhin werden für die wichtigsten Wirtschaftssektoren der Anpassungsbedarf für die kommenden Jahrzehnte sowie die damit verbundenen Chancen und Risiken erörtert. Nach der Identifikation der relevanten Handlungsfelder auf sektoraler Ebene werden mögliche Anpassungsmaßnahmen beschrieben. Die Untersuchung ergibt, dass starke Veränderungen für die Landwirtschaft zu erwarten sind. Doch auch die Sektoren Energie, Wasser, Ernährung, Papier, Pharma, Bau, Immobilien, Verkehr, Logistik und Tourismus werden betroffen sein. Geringer Anpassungsbedarf lässt sich dagegen für die Textil-, die Chemie- sowie für die Metall- und Elektroindustrie vermuten. Frühzeitige Anpassungsmaßnahmen und der Ausbau materieller wie immaterieller Ressourcen können die Verletzlichkeit gegenüber dem Klimawandel begrenzen und die Reaktionsmöglichkeiten vergrößern.

Abstract

From an economic point of view climate change has natural/physical, market and regulatory dimensions. Its direct and indirect consequences will vary considerably by region and industry. Climate change should be met with a two-pronged strategy. Whilst measures need to be taken to reduce the emissions of climate gases, it will also be necessary to adapt to the changing climate. Using global and regional climate models, this analysis first of all sketches out fundamental options for, and obstacles to, such adaptation. This is followed by a discussion of the need for adaptation in the most important sectors of the economy over the coming decades and the concomitant opportunities and risks. Having established where action is necessary, the authors then describe possible adaptation measures. The study shows that considerable changes are to be expected in the agricultural sector. However, the energy, water, food, paper, pharmaceutical, construction, real estate, transport, logistics and tourist industries will also be affected. By contrast, little need for adjustment is expected in the textile, chemical, and metalworking and electrical industries. Adapting early and increasing both tangible and intangible resources will make it possible to limit the economy's vulnerability to climate change and expand the range of potential responses available.

Die Autoren

Dr. rer. pol. **Mahammad Mahammadzadeh**, geboren 1957 in Uromieh/Iran; Studium der Landmaschinentechnik im Iran; Studium der Betriebswirtschaftslehre und Promotion an der Universität zu Köln; von 1997 bis 2002 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität zu Köln am Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Operations Research; von 2000 bis 2002 Propädeutikbeauftragter der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät an der Universität zu Köln; seit 2002 im Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Forschungsstelle Umwelt- und Energieökonomik innerhalb des Wissenschaftsbereichs Wirtschaftspolitik und Sozialpolitik; von Oktober 2002 bis April 2004 Lehrbeauftragter an der Universität zu Köln und seit September 2004 Lehrbeauftragter an der Rheinischen Fachhochschule Köln.

Dr. rer. pol. **Hendrik Biebeler**, geboren 1969 in Köln; Studium der Volkswirtschaftslehre und der Soziologie an der Universität zu Köln; von 1995 bis 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Angewandte Sozialforschung der Universität zu Köln; 2000 Promotion ebenda zum Thema „Soziale Normen und Umweltverhalten“; 2000/2001 Studienleiter in einem Marktforschungsinstitut; seit 2002 im Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Forschungsstelle Umwelt- und Energieökonomik innerhalb des Wissenschaftsbereichs Wirtschaftspolitik und Sozialpolitik.