



> Anpassungsstrategien in der Klimapolitik

acatech (Hrsg.)

acatech POSITION

September 2012

Herausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012

Geschäftsstelle
Residenz München
Hofgartenstraße 2
80539 München

Hauptstadtbüro
Unter den Linden 14
10117 Berlin

Brüssel-Büro
Rue du Commerce/Handelsstraat 31
1000 Brüssel
Belgien

T +49 (0) 89 / 5 20 30 90
F +49 (0) 89 / 5 20 30 99

T +49 (0) 30 / 2 06 30 96 10
F +49 (0) 30 / 2 06 30 96 11

T + 32 (0) 2 / 5 04 60 60
F + 32 (0) 2 / 5 04 60 69

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

Koordination: Dr. Patrick Pfister

Redaktion: Linda Tönskötter

Layout-Konzeption: acatech

Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS,
Sankt Augustin

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.springer.com

> INHALT

KURZFASSUNG	4
PROJEKT	6
1 EINLEITUNG – WARUM ANPASSUNG?	8
2 ANPASSUNG – HANDLUNGSOPTIONEN IN SCHLÜSSELBEREICHEN	10
2.1 Natürliche Ressourcen	10
2.1.1 Mögliche bzw. erwartete Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich natürliche Ressourcen	10
2.1.2 Übersicht über relevante Anpassungsstrategien und mögliche Marktchancen	12
2.1.3 Handlungsempfehlungen	13
2.2 Stadtentwicklung, Infrastruktur und Küstenschutz	14
2.2.1 Mögliche bzw. erwartete Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Stadtentwicklung, Infrastruktur und Küstenschutz	14
2.2.2 Übersicht über relevante Anpassungsstrategien und mögliche Marktchancen	15
2.2.3 Handlungsempfehlungen	17
2.3 Energie	18
2.3.1 Mögliche bzw. erwartete Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Energie	18
2.3.2 Übersicht über relevante Anpassungsstrategien und mögliche Marktchancen	20
2.3.3 Handlungsempfehlungen	20
2.4 Mobilität	21
2.4.1 Mögliche bzw. erwartete Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Mobilität	21
2.4.2 Übersicht über relevante Anpassungsstrategien und mögliche Marktchancen	22
2.4.3 Handlungsempfehlungen	23
2.5 Gesundheit	23
2.5.1 Mögliche bzw. erwartete Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Gesundheit	23
2.5.2 Übersicht über relevante Anpassungsstrategien und mögliche Marktchancen	24
2.5.3 Handlungsempfehlungen	24
2.6 Internationale Aspekte	25
2.6.1 Mögliche bzw. erwartete Auswirkungen des Klimawandels: Internationale Aspekte	25
2.6.2 Übersicht über relevante Anpassungsstrategien und mögliche Marktchancen	25
2.6.3 Handlungsempfehlungen	27
3 GRUNDSÄTZLICHE HERAUSFORDERUNGEN	28
3.1 Anpassung an Klimawandel und -risiken	28
3.2 Klimawandel und Klimazukünfte	28
4 SCHLUSSFOLGERUNGEN	30
LITERATUR	32

KURZFASSUNG

Eine effektive Klimapolitik muss nicht nur unerwünschten Klimawandel – soweit er anthropogen erzeugt wird – vermeiden (Mitigation), sondern auch Anpassungsstrategien umfassen (Adaptation). Adaptation ist aber auch gegen natürliche negative Veränderungen des Klimas erforderlich. Mitigation und Adaptation sollen die Auswirkungen von Klimaveränderungen für Wirtschaft und Gesellschaft mindern. Die Chancen für den Abschluss eines Weltklima-Abkommens, das die CO₂-Emissionen dauerhaft senkt, stehen aktuell schlecht. Neben der Verfolgung globaler Emissionsminderungsziele sollte sich Deutschland deshalb auf einen Klimawandel einstellen und vorbereiten.

Der Wandel ist beständig, doch geht er bislang langsam vonstatten. Seine Auswirkungen in Deutschland sind nach dem derzeitigen Wissensstand für die kommenden Jahrzehnte grundsätzlich beherrschbar. Es werden hierzulande keine klimatischen Randbedingungen auftreten, die nicht bereits in anderen Regionen der Erde existieren und in der Regel bewältigt werden. Gleichzeitig ergeben sich aus dem Klimawandel auch Chancen, die es zu nutzen gilt. Aufgrund seiner starken internationalen Verflechtungen ist Deutschland verpflichtet, seiner Verantwortung gegenüber Partnern in solchen Regionen gerecht zu werden, die in besonderer Weise von den globalen Folgen des Klimawandels betroffen sind.

Auswirkungen des Klimawandels

Die größten Anpassungserfordernisse bestehen für die Naturräume und für die mit Naturräumen gekoppelten Infrastrukturen und Wirtschaftszweige sowie für die Stadtentwicklung. Auch in Deutschland sind die **natürlichen Ressourcen** von den Veränderungen des Klimas betroffen. Bodenerosion in Mittelgebirgen und Alpen, Waldbrandgefahr, Artenwandel und neue Krankheiten bei Bäumen, Nutzpflanzen und -tieren sind einige der deutlichen Auswirkungen. In der Folge können die landwirtschaftlichen Erträge stark schwanken. Forst-, Boden- und Hochwasserschutz müssen Bestandteil von Anpassung werden. Eine große Rolle spielen neue klimaangepasste Baum- und Pflanzenarten.

Wetterextreme beeinflussen die **Stadtentwicklung und Infrastruktur**. Hagel, Sturm oder starke Hitze beanspruchen das Material von Bauwerken, Starkregen belastet die Kanalisation. In den wärmeren Sommern heizen sich Gebäude und Innenstädte auf, was Klimatisierungskosten erhöht, in den Wintermonaten sinken die Heizkosten. Küstenstädte haben sich auf einen Anstieg des Meeresspiegels einzustellen.

Der Klimawandel wirkt sich auf die gesamte Wertschöpfungskette im Sektor **Energie** aus. Ereignisse wie Sturm und Starkregen beeinträchtigen die Sicherheit freistehender Erzeugungsanlagen, Hitzeperioden die Verfügbarkeit von Kühlwasser.

Verkehrsinfrastruktur und **Mobilität** werden eher nur in begrenztem Maße beeinträchtigt. Hitze beansprucht den Fahrbelag, Stürme verursachen Schäden an Bauwerken wie Brücken.

Hitzestress beeinträchtigt die **Gesundheit** von Kleinkindern, älteren und kranken Menschen. Die klimatische Erwärmung verlängert die Pollenflugzeiten, Allergien verstärken sich. Außerdem können sich Infektionserreger besser verbreiten.

Die Folgen einer möglichen Klimaveränderung – und damit auch die Anpassung – können regional sehr unterschiedlich sein. Während in einigen Regionen durch den Klimawandel Ernteerträge steigen, geht der Ertrag in anderen Regionen selbst bei guter Anpassung zurück.

In den Bereichen, in denen Anpassungsprozesse grenzüberschreitende Wirkungen entfalten oder Wissen über Anpassung international nutzbar gemacht werden kann, ist **internationale Kooperation** angezeigt.

Chancen für Deutschland

Neue Technologien zur Anpassung an den Klimawandel eröffnen deutschen Unternehmen Chancen auf dem

Weltmarkt. Klimaveränderungen machen Anpassungsstrategien auch in anderen Regionen der Erde notwendig. Nach dem Ausbleiben wirksamer Beschränkungen der Emissionen auf einer Reihe von Weltklimakonferenzen wurde das Thema Anpassung von der Bundesregierung 2008 mit der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) und 2011 mit dem Aktionsplan Anpassung (APA) aufgenommen. Eine europäische Anpassungsstrategie befindet sich derzeit in der Entwicklung und soll bis 2013 ausformuliert sein.

Eine effektive Anpassungspolitik steht dabei vor verschiedenen Problemen: Annahmen über den regionalspezifischen bevorstehenden Klimawandel sind mit Unsicherheiten behaftet. Besondere Verantwortung kommt der öffentlichen Hand deshalb bei der Gewinnung von Information über konkrete Klimafolgen und Wirkungszusammenhänge zu. Denn mithilfe dieser Informationen kann die Privatwirtschaft ihre Handlungsoptionen identifizieren und Entscheidungsprozesse effektiver gestalten. Ein Großteil der Anpassungsmaßnahmen wird insbesondere die lokalen und regionalen Gebietskörperschaften betreffen. Diese müssen in die Lage versetzt werden, angemessen auf die damit verbundenen Herausforderungen zu reagieren.

Empfehlungen von acatech

Folgende Empfehlungen gibt acatech:

> Natürliche Ressourcen

- (1) Klima- und Anpassungsforschung verbessern
- (2) Anpassungsstrategien für eine nachhaltige Land- und Forstwirtschaft entwickeln
- (3) Monitoring der sich ändernden Systeme einführen
- (4) Information der Öffentlichkeit stärken

> Stadtentwicklung, Infrastruktur und Küstenschutz

- (5) „Gute Beispiele“ für die klimagerechte Stadtentwicklung etablieren
- (6) Planungsinstrumente und Regelwerke überprüfen
- (7) Sozial verträgliche „No-regret-Maßnahmen“ zum Beispiel in der Wohnungswirtschaft ausbauen
- (8) Anpassung der universitären und beruflichen Bildung

> Energie

- (9) Aktuelle Investitionen für Anpassung nutzen
- (10) Forschung zu regionalen Klimaveränderungen verbessern
- (11) Regionale Unterschiede und mögliche Verteilungskonflikte beachten
- (12) Anpassungsbelange in energiepolitische Regelwerke einbringen

> Mobilität

- (13) Risikomanagement für wichtige Güter- und Transitverkehrsachsen etablieren
- (14) Technische Anpassung im Schienenverkehr
- (15) Anpassung von Entwässerungs- und Kanalisationssystemen in der Straßeninfrastruktur

> Gesundheit

- (16) Medizinische Forschung anpassen
- (17) Technologien und bauliche Entwicklungen gegen Hitzestress vorantreiben

> Internationale Aspekte

- (18) Internationalen Informationsaustausch zu grenzüberschreitenden Wirkungen etablieren
- (19) Entwicklungshilfe auf Anpassung ausrichten

PROJEKT

> STEUERUNGSGRUPPE

- Dr. Ulrich von Deessen, BASF SE
- Prof. Dr. Rolf Emmermann, Deutsches GeoForschungs-Zentrum Potsdam
- Prof. Dr. Reinhard Hüttel, Deutsches GeoForschungs-Zentrum Potsdam, acatech Präsident
- Prof. Dr. Kai Konrad, Max-Planck-Institut für Steuerrecht und Öffentliche Finanzen München
- Prof. Dr. Volker Mosbrugger, Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung und Universität Frankfurt
- Prof. Dr. Ekkehard D. Schulz, ehem. ThyssenKrupp AG
- Prof. Dr. Fritz Vahrenholt, RWE Innogy GmbH

> PROJEKTGRUPPE*

- Prof. Dr. Dieter Ameling, ehem. Präsident der Wirtschaftsvereinigung Stahl und Vorsitzender des Stahlinstituts VDEh
- Dr. Beate Bajorat, Verband der Landwirtschaftskammern
- Prof. Dr. Joachim von Braun, Universität Bonn
- Dr. Werner Brinker, EWE AG
- Prof. Dr. Reinhard Burger, Robert-Koch-Institut Berlin
- Hans-Jürgen Cramer, EIT Climate KIC Berlin
- Dr. Klaus von Dohnanyi, Bundesminister a. D., ehem. Erster Bürgermeister der Freien und Hansestadt Hamburg, Mitglied der Ethikkommission
- Prof. Dr. Hans Ferkel, ThyssenKrupp Steel Europe AG
- Axel Gedaschko, Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen
- Prof. Dr. Gerhard Glatzel, Universität für Bodenkultur Wien
- Prof. Dr. Andreas Graner, Leibniz-Institut für Pflanzen-genetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben
- Philipp zu Guttenberg, Arbeitsgemeinschaft deutscher Waldbesitzerverbände
- Prof. Dr. Peter Herzig, Leibniz-Institut für Meereswissen-schaften Kiel
- Prof. Dr. Brian Horsfield, Deutsches GeoForschungs-Zentrum Potsdam
- Prof. Dr. Michael Hüther, Institut der deutschen Wirt-schaft Köln
- Prof. Dr. Reinhard Hüttel, Deutsches GeoForschungs-Zentrum Potsdam, acatech Präsident
- Martin Jäger, Daimler AG
- Prof. Dr. Kai Konrad, Max-Planck-Institut für Steuerrecht und Öffentliche Finanzen München
- Prof. Dr. Klaus Kornwachs, BTU Cottbus
- Carsten Kratz, The Boston Consulting Group GmbH
- Prof. Dr. Karin Lochte, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven
- Prof. Dr. Volker Mosbrugger, Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung und Universität Frankfurt
- Prof. Dr. Bernhard Müller, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung und TU Dresden
- Hans Hermann Nacke, Verband der Chemischen Industrie
- Prof. Dr. Lucia Reisch, Copenhagen Business School und Zeppelin Universität Friedrichshafen
- Prof. Dr. Mark Stitt, Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie Potsdam
- Rob van der Meer, HeidelbergCement AG
- Prof. Dr. Fritz Vahrenholt, RWE Innogy GmbH
- Prof. Dr. Alfred Voß, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. Carl Christian von Weizsäcker, Max-Planck-Institut zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern Bonn
- Prof. Dr. Christian Witt, Charité Berlin
- Dr. Hartmuth Zeiß, Vattenfall Europe Mining & Generation AG

* In der Projektgruppe haben auch Dr. Paul Becker (Deutscher Wetterdienst, Offenbach), Prof. Dr. Wolfgang Cramer (Institut Méditerranéen d'Écologie et de Paléoécologie, Aix-en-Provence), Prof. Dr. Jürgen Schmid (Fraunhofer IWES, Kassel) und Prof. Dr. Hans von Storch (Helmholtz Zentrum Geesthacht) mit wichtigen Beiträgen mitgewirkt. Da sie jedoch das Gesamtpapier nicht mittragen möchten, haben sie acatech eine Kommentierung in Aussicht gestellt. Diese wird acatech gerne als gesondertes Votum publizieren. Bei der Weiterentwicklung und insbesondere auch bei der öffentlichen Präsentation dieses Themenkomplexes wird acatech, wie es für eine wissenschaftliche Akademie selbstverständlich ist, abweichende Argumentationslinien deutlich machen und angemessen berücksichtigen.

> REVIEWER

- Prof. Dr. Eberhard Umbach, Karlsruher Institut für Technologie (Leiter der Review-Gruppe, acatech Präsidium)
- Prof. Dr. Gerhard Kreysa, ehem. Dechema - Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie
- Prof. Dr. Karen Pittel, Ifo-Institut und Ludwig Maximilians Universität München
- Prof. Dr. Martin Claußen, Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg

acatech dankt allen externen Fachgutachtern. Die Inhalte der vorliegenden POSITION liegen in der alleinigen Verantwortung von acatech.

> PROJEKTKOORDINATION

Dr. Patrick Pfister, acatech Geschäftsstelle

> PROJEKTVERLAUF

Projektlaufzeit: 09/2011 - 08/2012

Diese acatech POSITION wurde im Juli 2012 durch das acatech Präsidium syndiziert.

> FINANZIERUNG

acatech dankt dem acatech Förderverein für seine Unterstützung.

1 EINLEITUNG – WARUM ANPASSUNG?

Eine effektive Klimapolitik muss grundsätzlich sowohl Maßnahmen zur Vermeidung von unerwünschtem Klimawandel („Mitigation“) als auch Anpassungsmaßnahmen in Betracht ziehen. Letztere sollen einerseits negative Auswirkungen von Klimaveränderungen für Wirtschaft und Gesellschaft mindern, andererseits mögliche Vorteile und Chancen nutzen, die sich aus klimatischen Veränderungen ergeben („Adaptation“). Die vorliegende acatech POSITION leistet einen Beitrag zur Fortentwicklung einer Anpassungsstrategie für Deutschland. Sie führt das Engagement von acatech im Bereich des Klimaschutzes fort, das seinen Anfang in den beiden Klimaforschungsgipfeln der Bundesregierung im Mai und Oktober 2007 nahm, bei denen acatech die Dialogprozesse koordinierte. Als Ergebnis dieses Prozesses wurde beispielsweise das CSC (Climate Service Centre) in Hamburg und das IASS (Institute for Advanced Sustainability Studies) in Potsdam sowie das KLIMZUG Anpassungsforschungsprogramm jeweils mit Finanzierung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) eingerichtet.

Die Chancen für den Abschluss eines Weltklimaabkommens und seine Einhaltung durch die Unterzeichner stehen aktuell schlecht. Zu groß sind die Anreize der Einzelstaaten, sich eigennützig zu verhalten.¹ Die geringen Fortschritte, die sich auf den Weltklimagipfeln seit Kyoto erzielen ließen, bestätigen diese skeptische Sichtweise. Auch die mangelnde Bereitschaft der allermeisten Staaten zu völkerrechtlich verbindlichen Emissionssenkungen gibt wenig Anlass, auf ehrgeizige Reduktionsbemühungen zu hoffen. Lediglich Staaten, die zusammen 14,3 Prozent der weltweiten Emissionen ausmachen (EU, Australien, Neuseeland), sind zu kurzfristigen Emissionsminderungen bereit. 85,7 Prozent der CO₂-Emissionen kommen aus Staaten, die keine absoluten Emissionsminderungen vorsehen. Einige große Staaten richten ihre Energiepolitik vielmehr verstärkt auf fossile Brennstoffe aus und wollen deren Nutzung ausweiten. Die Erschließung von schwieriger zu nutzenden Lagerstätten mit

fossilen Brennstoffen schreitet weiter voran. Parallel zur weiterhin notwendigen Verfolgung globaler Mitigationsziele in Form von Emissionssenkungen sollte sich Deutschland auch deshalb auf einen Klimawandel einstellen und vorbereiten.

Vermeidungs- und Anpassungspolitik unterscheiden sich hinsichtlich der institutionellen und politischen Voraussetzungen, die für eine effektive Eindämmung von Klimawandel beziehungsweise für eine wirksame Anpassung an Klimawandel erforderlich sind. Eine effektive Politik der Vermeidung von Klimagasen ist nur global und auf dem Wege internationaler Kooperation möglich. Anpassung an Klimaveränderungen hingegen ist überwiegend dezentral auf lokaler oder regionaler Ebene möglich.² Anpassungsthemen fällt seit dem Bali Action-Plan aus dem Jahr 2007 eine strategische Rolle bei internationalen Verhandlungen zu – sie verändern die Verhandlungspositionen und die Verhandlungsstärken der Teilnehmer an internationalen Klimagipfeln³ und sie können so die Wahrscheinlichkeit des Zustandekommens von internationalen Klimaabkommen verändern.⁴ Doch selbst wenn die Versuche einer internationalen Kooperation in der Klimapolitik scheitern, bestehen gute Aussichten, durch eine wirksame Anpassungspolitik auf nationaler Ebene sowohl negative Auswirkungen zu mildern als auch neue Möglichkeiten und Chancen zu nutzen.

Strategien zur Anpassung an Klimawandel umfassen Initiativen und Maßnahmen, die die Verwundbarkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber bereits vorhandenen oder erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung verringern beziehungsweise die Widerstandsfähigkeit natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme erhalten oder steigern und mögliche Chancen aus Klimaänderungen erkennen und nutzen. Eine Strategie der Anpassung prüft und bewertet auch technologische Möglichkeiten, gesellschaftliche Veränderungen und Wertschöpfungspotenziale. Die Anpassungsfähigkeit wird dabei von der Gesamtheit

¹ Weimann 2012.

² Vgl. Wissenschaftlicher Beirat beim BMF 2010.

³ Zehaie 2009.

⁴ Wissenschaftlicher Beirat beim BMF 2010.

der Fähigkeiten, Ressourcen und Institutionen eines Landes oder einer Region bestimmt, die geeignet sind, auf die Herausforderungen des Klimawandels so zu reagieren, dass negative Auswirkungen gemindert und mögliche Chancen des Klimawandels genutzt werden können.

In Deutschland ist die Frage der Anpassung bis in die 2000er Jahre kaum politisch thematisiert und eher als unerwünschte Ablenkung von der übergeordneten Herausforderung der Mitigation (Energiepolitik) ausgeblendet worden.⁵ Nach dem Ausbleiben wirksamer Beschränkungen der Emissionen auf einer Reihe von Weltklimakonferenzen wurde das Thema von der Bundesregierung 2008 mit der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) und 2011 mit dem Aktionsplan Anpassung (APA) aufgenommen und genießt seitdem vermehrt Aufmerksamkeit. Eine europäische Anpassungsstrategie befindet sich derzeit in der Entwicklung und soll bis 2013 ausformuliert sein.

Eine effektive Anpassungspolitik steht dabei vor verschiedenen Problemen: die Annahmen über den bevorstehenden Klimawandel sind mit Unsicherheiten behaftet, nicht zuletzt deshalb, weil der Umfang des Klimawandels vom Grad des Erfolgs in der Mitigationpolitik abhängt. Weitere Unklarheit besteht noch über den Zusammenhang zwischen Klimawandel und seinen Auswirkungen auf die verschiedenen Bereiche in Wirtschaft und Gesellschaft. Studien zeigen zudem, dass die Wirkungen des Klimawandels kleinräumig regional sehr unterschiedlich ausfallen können. Eine überregionale oder EU-weite „one-size-fits-all“-Anpassungspolitik ist deshalb häufig nicht sinnvoll. Viele konkrete Anpassungsmaßnahmen werden lokal und überwiegend in privater marktwirtschaftlicher oder in regionalpolitischer Initiative, insbesondere in kommunaler Verantwortung erfolgen. Die Analyse der vorliegenden acatech POSITION zeigt, dass neben dem Bund und den Ländern dem privaten Sektor sowie regionalen oder kommunalen Institutionen im Rahmen einer Anpassungsstrategie eine bedeutende Rolle zukommt.

Die POSITION untersucht Anpassungsmöglichkeiten in verschiedenen Bereichen, in denen mögliche Klimafolgen zu erwarten sind. In vielen Sektoren, insbesondere in solchen mit kurzen Gestaltungszyklen, kann die Anpassung an den Klimawandel zeitnah zum eigentlichen Klimawandel erfolgen. Besondere Aufgaben kommen der Politik vor allem dort zu, wo es um die Gewinnung von Information über konkrete Klimafolgen und Wirkungszusammenhänge geht. Die Politik kann durch Bereitstellung von Informationen über den Klimawandel für den privaten Sektor und über die privatwirtschaftlichen Handlungsoptionen die Entscheidungsprozesse des privaten Sektors effektiver gestalten.

Eine zentrale Rolle in der Anpassung an Klimafolgen spielt die Fähigkeit von Wirtschaft und Gesellschaft, sich verhältnismäßig kurzfristig auf Klimaveränderungen einzustellen („adaptive capacity“). Der Wirtschaftsnobelpreisträger Thomas Schelling⁶ betont, dass der technologische Fortschritt und eine höhere wirtschaftliche Leistungsfähigkeit einer Gesellschaft ihre Anpassungsfähigkeit im vergangenen Jahrhundert deutlich gesteigert haben. Ein durch Innovationen getriebenes nachhaltiges Wachstum, ein hoher allgemeiner Kenntnis- und Bildungsstand im privaten Bereich, politische und gesellschaftliche Institutionen, die auf mögliche Veränderungen schnell und wirkungsvoll reagieren, und ein möglichst umfangreicher Bestand medizinischen und technologischen Wissens bilden gute wirtschaftliche und gesellschaftliche Rahmenbedingungen für künftige Generationen, um auf mögliche, heute noch gar nicht oder nur mit hohen Unsicherheiten zu prognostizierende Folgen der Klimaveränderungen schnell und wirkungsvoll zu reagieren. Zur Anpassungsfähigkeit einer Gesellschaft gehören auch Stabilitätsbedingungen für Institutionen, die in der Lage sind, politisch und kulturell über Anpassung und ihre Notwendigkeit aufzuklären und – gerade bei regional unterschiedlicher Betroffenheit – Beteiligungsprozesse zu organisieren.

⁵ Für die wissenschaftliche Aufarbeitung der Anpassungsthematik vgl.: Wechsung/Becker/Gräfe 2005; Mahammadzadeh/Biebeler/Bardt 2009; Endlicher/Gerstengarbe 2010.

⁶ Schelling 1992.

2 ANPASSUNG – HANDLUNGSOPTIONEN IN SCHLÜSSELBEREICHEN

Die vorliegende acatech POSITION bildet keine allumfassende Stellungnahme zur Anpassungsproblematik, sondern greift relevante Bereiche heraus, die nachfolgend hinsichtlich der Folgen des Klimawandels, möglichen Anpassungsmaßnahmen und entsprechenden Handlungsempfehlungen aufbereitet werden. Mit der Fokussierung auf einzelne Maßnahmen sollen exemplarisch spezifische Anpassungsprobleme beleuchtet werden. Dabei wird deutlich, dass in vielen Bereichen bereits intensiv über Anpassungsmaßnahmen diskutiert wird. Es besteht aber noch großer Forschungsbedarf über die Art und das Ausmaß der Bewertung und Priorisierung dieser Maßnahmen sowie zu den systemischen Verknüpfungen zwischen den verschiedenen Schlüsselbereichen. Bedarf zeigt sich auch bei ökonomischen und institutionellen Analysen mit ihren Abschätzungen der wirtschaftlichen Implikationen der Klimafolgen und entsprechender Maßnahmen.⁷

Für die konkrete Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist es zielführend, sich auf einen Rahmen möglicher Klimavariabilität mit einer entsprechenden zeitlichen Entwicklung zu verständigen. Auf dieses grundsätzliche Desiderat wurde jedoch verzichtet, da hierfür regionale Klimamodelle benötigt werden, die sich noch in einer Entwicklungsphase befinden, wofür eine Intensivierung der relevanten Forschungsarbeiten empfohlen wird.⁸

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht möglicher Anpassungsbedarfe in verschiedenen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft. Es blendet dabei eine Reihe wirtschaftlicher Grundfragen zunächst bewusst aus. Viele der Anpassungsmaßnahmen mögen wünschenswert sein, sind aber mit hohen Kosten verbunden. Soweit die Anpassungsmaßnahmen im privatwirtschaftlichen Bereich erfolgen – was für eine große Zahl der Maßnahmen der Fall ist – kann damit die Entscheidung über ihre Implementierung den privatwirtschaftlichen Entscheidungsträgern überlassen werden, da

Kosten und Nutzen der betreffenden Maßnahmen dem jeweiligen Entscheidungsträger direkt zugerechnet sind. Für solche Maßnahmen ist eine Intervention des öffentlichen Sektors nur insofern sinnvoll, als dieser Informationen über den Klimawandel und mögliche Folgen und über mögliche verfügbare Techniken der Anpassung bereitstellen kann. Eine gezielte öffentliche Subvention privatwirtschaftlich erfolgreicher Anpassungsmaßnahmen ist weitgehend verzichtbar. Der öffentliche Sektor hat hingegen in den Bereichen eine besondere Aufgabe, in denen Anpassungsmaßnahmen eine Breitenwirkung haben, die so groß ist, dass man nicht auf eine effiziente privatwirtschaftliche Antwort vertrauen kann. Das ist für einige der nachfolgend diskutierten Anpassungsmaßnahmen der Fall. Gerade im Bereich der Anpassungsmaßnahmen, die mit öffentlichen Mitteln finanziert werden, sollte vor jeder möglichen staatlichen Intervention eine sorgfältige Abwägung von Kosten und Nutzen der betreffenden Maßnahmen stehen. Das gilt sowohl für öffentliche Maßnahmen, die auf konkrete eintretende Folgen des Klimawandels reagieren, als auch für öffentliche Maßnahmen, die mit einem gewissen zeitlichen Vorlauf ergriffen werden. Gerade bei diesem Trade-off muss die staatliche Anpassungspolitik den Ergebnissen der Theorie irreversibler Investitionen unter Unsicherheit Rechnung tragen, die vor verfrühten Investitionsanstrengungen im Kontext möglicher multipler Klimaszenarien warnt.⁹

2.1 NATÜRLICHE RESSOURCEN

2.1.1 MÖGLICHE BZW. ERWARTETE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEN BEREICH NATÜRLICHE RESSOURCEN

Wasserressourcen: Für Deutschland erwartet man im Mittel eine Abnahme der Sommer- und eine Zunahme der Winterniederschläge¹⁰. Entsprechend muss davon ausgegangen

⁷ Vgl. für eine Aufbereitung dieses Forschungskontexts Umweltbundesamt 2011a; Gebhardt/Kumke/Hansjürgens 2011; Heuson et al. 2012.

⁸ Ergebnisse verschiedener Forschungsprojekte auf nationaler und europäischer Ebene werden im März 2013 auf der European Climate Change Adaptation Conference in Hamburg vorgestellt werden (<http://eccaconf.eu/index.php/page/ECCA>).

⁹ Pindyck 1988, 2002; Konrad/Thum 2012 und Kolev et al. 2012.

¹⁰ Vgl. acatech 2012.

werden, dass, insbesondere für die bereits heute trockeneren Regionen Ostdeutschlands, die sommerlichen Trockenperioden zunehmen. Hinzu kommt die deutlich steigende Wahrscheinlichkeit extremer Trockenheit in einzelnen Jahren, verbunden mit einer Zunahme des Hochwasserrisikos durch intensive Niederschläge. Im Zusammenhang mit dem temperaturbedingten Rückgang von Schneedecke und Gletschern im Hochgebirge wird sich die Wasserführung der Flüsse im Alpenvorland stark verändern. Für einige Flusswasserstraßen wie den Rhein ist mit einer Zunahme der Tage mit unzureichender Wasserführung zu rechnen.

Küste und küstennahe Gebiete: Anpassungsbedarf entsteht vor allem durch den Anstieg des Meeresspiegels, der sich derzeit im Bereich der Nord- und Ostsee in der Größenordnung von zwei Millimetern je Jahr bewegt.¹¹ Ebenso verändert sich die Häufigkeit von Sturmfluten, mit Konsequenzen für den Küstenschutz (siehe Kap. 2.2). Aber auch die naturräumliche Ausstattung der Küstenregion wird sich durch Klimawandel und Anpassungsmaßnahmen verändern und entsprechende Folgen für Nutzungspläne und Tourismus nach sich ziehen. Wattflächen können sich verändern; die Fischerei wird von Artenwandel betroffen sein, der bereits heute deutlich nachweisbar ist, steht aber unter dem Druck einer Reihe anderer Faktoren wie Überfischung, sodass der Klimawandel vermutlich von eher nachrangiger Bedeutung sein wird. In diesen Fällen besteht erheblicher Forschungsbedarf.

Mittel- und Hochgebirge: Die Dauer der Schneebedeckung wird aufgrund des Temperaturanstiegs für jedes Grad Erwärmung überall um mehrere Wochen zurückgehen – in den Mittelgebirgen wird es damit häufiger ganz schneefreie Winter geben. Der aktuelle Massenverlust der alpinen Gletscher (Zugspitze) setzt sich fort. Die Biodiversität in Mittel- und Hochgebirgen wird sich verändern, vor allem durch die Verlagerung von Verbreitungsgebieten aus niedrigen in höhere Lagen, was regional zu erheblichen Veränderungen und Verlust an Arten der alpinen Zone führen wird. Der Verlust

an genetischer Vielfalt wird, wie neuere Untersuchungen zeigen, um ein Vielfaches höher sein als der Verlust an Arten. Inwiefern die Veränderung der Pflanzengesellschaften auch wichtige Ökosystemdienstleistungen betrifft, ist weitgehend unbekannt und hängt von vielen Faktoren ab. Ebenso wenig eindeutig ist die Frage zu beantworten, inwiefern Veränderungen von Erosion und Massenbewegungen die Folge von Klimawandel oder weiterer Stressoren wie Übernutzung sind.

Wälder und Forstwirtschaft: Wärmere und zeitweise trockenere, regional auch feuchtere Bedingungen verändern das Waldwachstum und die Produktionsbedingungen im Forstsektor auf unterschiedliche Art und Weise. Durch vielfältige Umweltbelastungen beeinflusste Wälder sind dadurch noch mehr als bisher durch großflächige Massenerkrankungen (Kalamitäten) gefährdet. Schadinsekten, Pilze oder Pathogene breiten sich häufiger und intensiver aus, mit neuen Schadsyndromen ist zu rechnen. Hitze- und Trockenperioden, regional auftretende Extremereignisse wie Starkregen und Stürme sowie die generell steigende Unsicherheit hinsichtlich der Abschätzung der Klimabedingungen über bis zu hundertjährige Produktionszyklen verringern die Planbarkeit im Forstsektor und erhöhen das Ausfallrisiko für einzelne Bestände. Dabei kommt es zum Teil zu großen regionalen Veränderungen. Im Bereich der alpinen Waldgrenze und anderen „Gunstregionen“ (zum Beispiel bestimmten Mittelgebirgslagen) kann sich das Wachstum auch erhöhen, weil die Vegetationsperiode länger wird, die Niederschläge eher zunehmen und der Nährstoffkreislauf bei höheren Bodentemperaturen schneller erfolgt. In Trockengebieten wird die Waldbrandgefahr steigen. Wälder mit einem höheren Mischungsanteil standortgerechter Baumarten werden von den Veränderungen weniger betroffen sein als Wälder, die in Reinbeständen auf maximalen Zuwachs bewirtschaftet werden. Verschiedene Baumarten werden unterschiedlich widerstandsfähig reagieren.

Landwirtschaft: In mit Wasser ausreichend versorgten Regionen (Gunstlagen) lässt die Kombination von Erwärmung,

¹¹ Albrecht et al. 2011 a; BACC 2008.

verlängerter Vegetationsperiode und höherem atmosphärischem CO₂-Gehalt generell eine leichte Zunahme der Produktivität im Ackerbau erwarten. Die Grünlandbewirtschaftung in diesen Regionen könnte hiervon ebenfalls profitieren. In den trockeneren Regionen, wie in Ostdeutschland und im Oberrheingraben, sind Wasserknappheit und Hitze- beziehungsweise Trockenperioden ein Risiko mit zunehmender Häufigkeit und Intensität. Aufgrund der notwendigen Zunahme von künstlicher Bewässerung sind Auswirkungen auf die Wasserführung der Flüsse und das Grundwasser zu beachten. Grundsätzlich können sich heute bestehende Risiken durch Schädlingsbefall oder Krankheiten verstärken oder verringern, meist wirkt jedoch die Kombination von Stressoren intensiver als die Summe der einzelnen Faktoren. Wie im Falle der Wälder und Forste können auch hier neue Schadsyndrome oder invasive Arten auftreten. Entsprechende Probleme und Risiken gelten auch für die Tierproduktion, in der neue Krankheiten augenfällig werden.

Süßwasserökosysteme: Sie sind generell durch die Kombination von Erwärmung und Nährstoffüberschüssen beeinträchtigt. Der Rückgang der winterlichen Eisbedeckung und die steigenden Sommertemperaturen verstärken diese Trends.

Naturschutz und Artenvielfalt: Sie sind überall dort vom Klimawandel betroffen, wo die natürlichen Anpassungsmechanismen erschöpft sind. Beispielsweise ist in manchen naturnahen Offenlandschaften durch zunehmende Trockenheit ein Artenverlust zu erwarten. Vielfach gelten Klimawandel und Eintrag von Luftschadstoffen (Stickstoff) als die wichtigsten Ursachen des aktuellen Artenverlusts und -wandels nach einer nicht nachhaltigen Landnutzung. Der Klimawandel wird auch das Gefährdungspotenzial für Tier- und Pflanzenarten grundsätzlich verändern.

2.1.2 ÜBERSICHT ÜBER RELEVANTE ANPASSUNGSSTRATEGIEN UND MÖGLICHE MARKTCHANCEN

Für den Bereich **Wasserressourcen** beschreibt die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS)¹² eine Reihe von Maßnahmen, die die Resilienz des Wassersektors in allen Bereichen erhöhen. Unter anderem ist bei der Planung wasserwirtschaftlicher Infrastruktur die veränderte Intensität und Häufigkeit von Extremereignissen zu berücksichtigen (vgl. Kap. 2.2) und die Eigenvorsorge im Hochwasserschutz zu unterstützen.

Für die **Küsten von Nord- und Ostsee** enthält die DAS bisher nur allgemeine technische Ziele, die die Absicherung gegen den Meeresspiegelanstieg und das veränderte Sturmflutrisiko erhöhen sollen. Tatsächlich müssen weiter reichende Anpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden, die bei Bedarf auch Nutzungsänderungen von gefährdeten Bereichen einschließen müssen. Hier werden adaptive Strategien nötig, die sich an den tatsächlichen regionalen Veränderungen orientieren.

Für die **Mittelgebirge und die Alpen** besteht Anpassungsbedarf besonders in den Bereichen Erosionsschutz, Land- und Forstwirtschaft, Tourismus und Naturschutz, die von einer stärkeren Integration der verschiedenen Landnutzungen profitieren können. Insbesondere in den Mittelgebirgen wird eine wirtschaftliche Neuausrichtung zu erwarten sein.

Böden sind die Grundlage von Land- und Forstwirtschaft ebenso wie von Naturschutz und sind gleichzeitig in hohem Maße anfällig gegenüber klimatischen Veränderungen. So kann zum Beispiel in vielen Regionen der mittleren Breiten bis 2050 anhand vorliegender regionaler Klimaszenarien von leichtem bis deutlichem Rückgang der Humusgehalte in Böden ausgegangen werden. Verstärkter integrierter Bodenschutz ist daher die Grundlage aller Anpassungsmaßnahmen in diesen Bereichen. Hierzu müssen eine nicht nachhaltige Nutzung vermieden, die

¹² Bundesregierung 2008.

biologische Vielfalt in den Ökosystemen erhalten und Erosion und Bodenverdichtung vermindert werden.

Anpassungsmaßnahmen in der **Forstwirtschaft** durch veränderte Baumartenwahl werden aufgrund der langen Produktionszeiträume von bis zu 100 Jahren erst mit erheblicher Verzögerung wirksam. Die Intensität des Forstschutzes zum Erhalt der Wälder wird in den nächsten Jahrzehnten zunehmen müssen. Es wird erforderlich sein, andere, etwa klimaangepasste Baumarten aus wärmeren und trockeneren Gebieten einzusetzen, deren heutiger Anbau der zukünftigen Risikostreueung dient. Die Waldbrandgefahr ist eines der Risiken, die bei der Waldbewirtschaftung, zum Beispiel mithilfe von Frühwarnsystemen, zu berücksichtigen ist.

Die **Landwirtschaft** in den Produktionsbereichen Pflanzenbau und Tierhaltung ist unmittelbar von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Durch regional ansteigende Temperaturen, Einschränkungen in der Wasserversorgung und allgemein eine höhere Variabilität der klimagesteuerten Standortparameter kann es insbesondere in landwirtschaftlichen Systemen zu Ertragschwankungen und Leistungsveränderungen kommen. Somit sind integrierte Anpassungsstrategien in beiden Sektoren notwendig. Im Pflanzenbau sind folgende Bereiche an den Klimawandel anzupassen: Pflanzenzüchtung, Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung, Sortenstrategie und Bestandsführung, Bodenbearbeitung, Bodenschutz, Pflanzenernährung und Humusproduktion, Erschließung von Beregnung sowie das Wassermanagement und der Pflanzenschutz. Für die Tierhaltung können Anpassungen auf den Gebieten der Tiergesundheit, Tierzucht, Futtergrundlage und Nährstoffversorgung sowie Haltungsverfahren erforderlich sein.¹³

Die Wirkungen des Klimawandels auf **natürliche Ressourcen außerhalb Deutschlands**, insbesondere in den Entwicklungsländern, machen Anpassungsoptionen auch für die deutsche Wirtschaft erforderlich. So können zum Beispiel

sich ändernde Produktionsbedingungen für Nahrungsmittel und Holz in anderen Ländern die Weltmärkte für diese Produkte verändern und Absatzmöglichkeiten für in Deutschland hergestellte Produkte positiv oder negativ beeinflussen. Ebenso wird die deutsche Politik für die internationale Zusammenarbeit und globale Gerechtigkeit durch Klimawirkungen in Entwicklungsländern vor erhebliche neue Anforderungen gestellt, die Unterstützung bei der Anpassung erfordern.

Die oben genannten Anpassungsmaßnahmen sind in ihrer Gesamtheit zu betrachten. So bieten sie die Perspektive, alle Landnutzungssektoren in einem besser integrierten Konzept des Landschaftsmanagements zusammenzuführen. Von dessen Synergien können zahlreiche Sektoren langfristig profitieren – sowohl im Hinblick auf eine Reduktion der Auswirkungen des Klimawandels als auch auf andere Aspekte der Nachhaltigkeit.

2.1.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Grundsätzlich gilt, dass die natürlichen Ressourcen mit am stärksten vom Klimawandel betroffen sind, dass aber für Deutschland die zu erwartenden Effekte durch geeignete und rechtzeitige Anpassungsmaßnahmen in den kommenden Jahrzehnten grundsätzlich beherrschbar bleiben. acatech empfiehlt:

> **Klima- und Anpassungsforschung verbessern:** Die Forschung zur Anpassung in den Bereichen Ökologie, Naturschutz sowie Land- und Forstwirtschaft sollte noch stärker als bisher in ihrer ganzen Breite Aspekte des Klimawandels berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für Fragen der Veränderungen der Klimavariabilität (Hitzewellen, Trockenperioden, Stürme) und der langfristigen Wirkungen von Veränderungen der Böden und der Artenvielfalt. Die Anpassung an klimabedingte Änderungen des Wasserhaushalts muss noch tiefgreifender als bisher vor dem Hintergrund

¹³ Vgl. BÖR 2010.

sich ändernder Rahmenbedingungen im Landschafts- und Flussgebietsmanagement betrachtet werden; ferner muss sie, um nachhaltig zu sein, alle Wassernutzer einschließen und Aspekte von Biodiversität und Naturschutz berücksichtigen. Die Klimaforschung muss darüber hinaus die Abschätzung der Risiken weiter verbessern. Prioritär hierbei sind vor allem die möglichen Extremereignisse.

> **Anpassungsstrategien für eine nachhaltige Land- und Forstwirtschaft entwickeln:** Für die Landwirtschaft, die – unabhängig von der Bewirtschaftungsform konventionell oder ökologisch – zwangsläufig in den Stoffhaushalt von Agrarökosystemen eingreift und die naturräumlichen Ressourcen beeinflusst, sind Anpassungsstrategien zu entwickeln und umzusetzen. Diese müssen insbesondere die regional unterschiedliche Betroffenheit von den Risiken des Klimawandels beachten. Um die Auswirkungen der Risiken des Klimawandels für die Forstwirtschaft zu minimieren, sind Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder gewährleisten.

> **Monitoring einführen:** In allen relevanten Bereichen ist ein verstärktes Monitoring der sich ändernden Systeme erforderlich, um Veränderungen möglichst frühzeitig zu erkennen und Anpassungsstrategien in Abhängigkeit der wesentlichen Einflussfaktoren zu optimieren. Die so festgestellten Änderungen sollten auf ihre Konsistenz gegenüber den durch Modelle beschriebenen erwarteten Änderungen analysiert werden.

> **Information der Öffentlichkeit stärken:** Die Gesellschaft muss den Veränderungen durch die Auswirkungen des Klimawandels Aufmerksamkeit schenken. Diese Aufgabe steht zwei Schwierigkeiten gegenüber. Einerseits gibt es eine Tendenz der Dramatisierung, die in der jüngeren Vergangenheit zu Ermüdungserscheinungen geführt hat, andererseits erfolgen die Veränderungen im Sinne der menschlichen Wahrnehmung eher langsam und sind zudem natürlichen Schwankungen unterworfen. Hier gilt es, nachhaltige Informationsstrategien zu entwickeln, und die

unglückliche Praxis einzudämmen, Einzelfälle in dramatisierende oder abwiegelnde Argumente umzumünzen.

2.2 STADTENTWICKLUNG, INFRASTRUKTUR UND KÜSTENSCHUTZ

2.2.1 MÖGLICHE BZW. ERWARTETE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEN BEREICH STADTENTWICKLUNG, INFRASTRUKTUR UND KÜSTENSCHUTZ

Die vorliegenden Klimaprojektionen lassen Auswirkungen des Klimawandels auf Stadtentwicklung, Infrastruktur und Küstenschutz erwarten. Dabei geht es nicht nur um die Mittelwerte der Temperatur- und Niederschlagsentwicklung, sondern insbesondere auch um Extremereignisse, denn sie haben den größten Einfluss auf die Beanspruchung von beispielsweise Infrastrukturen und Gebäuden, auf Schadensrisiken und das Wohlbefinden von Menschen in Städten. Von besonderer Bedeutung ist die Gefahr einer zusätzlichen Wärmebelastung für die Stadtbewohner. Sie kann die Lebensqualität beeinträchtigen und die Gesundheit einzelner Bevölkerungsgruppen, wie ältere Menschen, Kranke oder Personen mit Herz-Kreislaufproblemen, gefährden (siehe auch Kap. 2.5). Dies bringt ganz besondere Herausforderungen für die Akteure vor Ort und insbesondere die lokalen und regionalen Gebietskörperschaften mit sich. Stadt- und Regionalplanung gewinnen an Bedeutung.¹⁴ Bei der Bauleitplanung geht es unter anderem um das Freihalten von Kalt- beziehungsweise Frischluftschneisen, die Einbindung von Wasserflächen in den Stadtkörper oder die Anordnung, Exposition und Gestaltung von Gebäuden, zum Beispiel deren Verschattung oder den Bau von Arkaden. Die Regionalplanung muss sicherstellen, dass sich Maßnahmen in den unterschiedlichen Handlungsbereichen nicht gegenseitig konterkarieren und dass regionale und kommunale Maßnahmen aufeinander abgestimmt sind. In den Städten wird zudem die öffentliche Grünplanung wichtiger, da Stadtgrün

¹⁴ Vgl. Hutter et al. 2012.

die Temperatur dämpfen kann. Die Unterhaltung und Bewässerung von Grünanlagen findet als Kosten- und möglicher Engpassfaktor, zum Beispiel im Hinblick auf den Wasserverbrauch, zunehmend Beachtung. Darüber hinaus kann sich die (urbane) Biodiversität aufgrund des Klimawandels verändern. Neue schutzwürdige Lebensräume entstehen und die Artenzusammensetzung ändert sich.

Das Material von Bauwerken und Gebäuden wird stärker beansprucht. Weiterhin ist mit der Aufheizung von Gebäuden zu rechnen, der mit entsprechenden Fassadenfarben und mit Fassadenbegrünung nur teilweise entgegengewirkt werden kann. Höhere Temperaturen im Winterhalbjahr bedeuten aber auch zum Teil sinkende Heizkosten. Diesen wiederum können erhöhte Klimatisierungskosten in wärmeren Sommern gegenüber stehen.

Starkregenereignisse belasten die Kanalisation, die Straßen, erosionsgefährdete Böden und Gewässer. Erhöhte Risiken können durch Überschwemmungen von Flüssen entstehen. Die Identifikation vulnerabler Räume wird deshalb zunehmend wichtig. Hochwasserereignisse erfordern eine verstärkt vorsorgeorientierte Planung.

Für Küsten und Küstenstädte ergeben sich zusätzlich besondere Herausforderungen: Eine der Manifestationen des Klimawandels ist der Anstieg des Meeresspiegels, der sich derzeit im Bereich der Nord- und Ostsee in der Größenordnung von zwei Millimetern je Jahr bewegt.¹⁵ Unabhängig davon, ob sich die Sturmtätigkeit verstärken wird – hier sind durchaus Zweifel angebracht¹⁶ –, werden Sturmfluten daher zukünftig höher auflaufen. Auch der Seegang kann sich so stärker auf Küstenerosion und Küstenschutzbauwerke auswirken.¹⁷

Aufgrund der sich abzeichnenden Folgen des Klimawandels gewinnen die vielfältigen Interdependenzen der verschiedenen Infrastrukturbereiche, wie Energie, Verkehr, Kommunikation oder Wasserversorgung, an Bedeutung. In Extremfällen klimabedingter Störungen in einem Bereich könnten sie zu „Kaskadenstörungen“ führen. Die Wechselwirkungen baulicher Infrastrukturen mit anderen Sektoren können an dieser Stelle nicht detailliert behandelt werden, sollten im Sinne einer übergreifenden systemischen Anpassung aller Infrastrukturbereiche jedoch Berücksichtigung finden.¹⁸

Besondere Beachtung muss dem Klimawandel und Klimaanpassungsmaßnahmen auch in der Ausbildung geschenkt werden. Weder in der Ausbildung an Universitäten, zum Beispiel in Studiengängen wie Architektur, Bauingenieurwesen, Stadt- und Regionalplanung, noch im Bereich der beruflichen Bildung, beispielsweise im Handwerk oder Baugewerbe, finden Themen der Klimaanpassung bisher ausreichend Berücksichtigung. Querschnittsaspekte und übersektorale Fragen werden bisher kaum behandelt, obschon sie zunehmend bedeutsam sind.

2.2.2 ÜBERSICHT ÜBER RELEVANTE ANPASSUNGSSTRATEGIEN UND MÖGLICHE MARKTCHANCEN

Kommunalen und regionalen Gebietskörperschaften kommt bei der Anpassung an den Klimawandel eine entscheidende Rolle zu. Anpassungsstrategien im Hinblick auf Stadtentwicklung und Infrastruktur sind vielfältig. Insbesondere im Rahmen des Programms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“, aber auch anderer Programme¹⁹ werden vor allem auf regionaler

¹⁵ Albrecht et al. 2011a; BACC 2008.

¹⁶ Vgl. BACC 2008 oder Weisse 2010.

¹⁷ Weisse et al. 2011.

¹⁸ Royal Academy of Engineering 2011.

¹⁹ Zum Beispiel die folgenden Programme des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Modellvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO), Forschungsfeld des Experimentellen Wohnungs- und Städtebaus „Urbane Strategien zum Klimawandel“ (Klima ExWoSt).

und lokaler Ebene solche Strategien entwickelt und entsprechende Maßnahmen umgesetzt. Dabei geht es teilweise um nicht weniger als die grundlegende Veränderung von Leitvorstellungen, Konzepten und Plänen der Stadtentwicklung. Insbesondere das Verhältnis und die Anordnung von bebauten Flächen und Grünstrukturen werden diskutiert. In Ostdeutschland hat man teilweise mit Erfolg die neuen Potenziale des demografisch bedingten Stadtrückbaus genutzt, um die Städte dem Klima anzupassen.

Im Einzelnen haben Strategien vor Ort unter anderem zum Ziel, Gebäude für den Klimawandel fit zu machen (inklusive der Anpassung von Regelwerken), die Klimawirksamkeit von Grünflächen zu erhalten und zu verbessern, Potenziale städtischer Brachflächen zur Anpassung an steigende Sommertemperaturen und veränderte Niederschlagsverhältnisse zu nutzen und die Aufenthaltsqualität in dicht bebauten Stadtgebieten trotz steigender Sommertemperaturen und Hitzewellen zu erhalten und zu verbessern.

Im Bereich Gebäude und Wohnen haben Bundesländer, Regionen und Städte bereits mit vielfältigen Aktivitäten zur Klimaanpassung begonnen. Beispiele sind das „Handbuch Stadtklima“ aus Nordrhein-Westfalen oder der „Stadtentwicklungsplan Klima“ aus Berlin.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit unterschiedlichen Auswirkungen des Klimawandels auch unterschiedliche soziale Vulnerabilitäten verbunden sind, zum Beispiel wenn Quartiere betroffen sind, in denen überwiegend ältere Menschen leben oder Haushalte mit geringem Einkommen zu finden sind. Klimaanpassungsmaßnahmen, etwa zum Schutz vor Sonne, können genau wie Klimaschutzmaßnahmen Modernisierungskosten verursachen, die vom Mieter getragen werden. Bei Haushalten mit niedrigen Einkommen wird hier schnell die Grenze der möglichen Wohnkostenbelastung erreicht. Dazu kommt, dass Maßnahmen zur Klimaanpassung in der Regel zusätzlich zu Klimaschutzmaßnahmen getätigt werden und dass diesen

Kosten möglicherweise keine Senkung der Betriebskosten gegenübersteht.

In der Energieversorgung kann auch ein Ausbau elektrischer Wärmepumpen mit Erdreichkopplung der Anpassung dienen, insbesondere in ländlichen Gebieten. Bei geeigneter Betriebsweise lassen sich damit sowohl der Bedarf an Heizenergie im Winter als auch der Bedarf an Kühlenergie im Sommer abdecken, wobei das Erdreich den saisonalen Puffer bildet. In dicht besiedelten Gebieten wird auch eine Speicherung überschüssiger Wärme über das Fern- und Nahwärmenetz an Bedeutung gewinnen. Im Gegensatz zu klassischen Klimaanlageanlagen werden durch beide Optionen die mit der Abluft abgegebenen Wärmemengen eliminiert, die sonst zu einer weiteren Aufheizung der Stadtzentren führen.

Durch die Elektromobilität ergibt sich ebenfalls eine spürbare Reduktion der Temperaturen in urbanen Bereichen, wenn anstelle der heute vorhandenen Verbrennungsmotoren, bei denen ein hoher Anteil des Energieeinsatzes in Form von Abwärme an die Umgebung abgegeben wird, hocheffiziente Elektromotoren den Antrieb übernehmen.

Ziel der Anpassungsstrategien in der Stadt ist auch, die Versorgung mit Trinkwasser durch angepasste Wasserversorgungskonzepte in ausreichender Menge und Qualität sicherzustellen oder die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung zu intensivieren. Hinzu kommt die Anpassung an Starkregenereignisse, zum Beispiel durch Rückhaltemaßnahmen, weniger Versiegelung etwa durch Rasengittersteine, Dachbegrünung, Kanalisationsanpassungen oder das Vorhalten von Retentionsflächen. Im Hinblick auf Kanalsysteme gilt es, den bestehenden Entwässerungskomfort und die entsprechenden Standards auch bei extremen Niederschlagsereignissen und hydraulischer Überlastung des Abwassersystems zu gewährleisten sowie bei Trockenperioden und hohen Temperaturen Geruchsbelastungen und Sedimentationsbildungen im Kanalsystem zu vermeiden. Hinzu kommt die Optimierung von Kläranlagen.

Ebenso geht es um die Hochwasservorsorge, die Freihaltung ausreichend dimensionierter Retentionsflächen sowie deren multifunktionale Nutzbarkeit.

Der derzeitige Küstenschutz in Deutschland wird von den Bundesländern weitgehend in Eigenregie²⁰ geregelt. Hier wird ein Sicherheitsstandard zugrunde gelegt, der im politischen Prozess der Bundesländer als angemessen bestimmt wurde und der durch laufende Instandhaltung aufrechterhalten wird. Insofern besteht aktuell kein zusätzlicher Ausbaubedarf.

Da der Küstenschutz aber laufend modernisiert wird, wird in der Planung derzeitiger Baumaßnahmen mit Klimazuschlägen gearbeitet – von zum Beispiel 50 Zentimetern bei derzeitigen Deichen und einer derartigen technischen Auslegung von Bauwerken (einschließlich Deichen), die zukünftig deutliche Erhöhungen technisch ermöglicht.²¹ Auch im Falle der Hafencity in Hamburg sind entsprechende Zuschläge bei der Planung der erhöhten Bereiche verwendet worden.

Neben der naheliegenden Verstärkung der derzeitigen Küstenschutzmaßnahmen werden regional auch andere Strategien diskutiert, wie etwa die Preisgabe von Poldern²² oder die Hinnahme gelegentlicher kontrollierter kurzfristiger Überflutungen bei Vorhaltung geeigneter Bebauung²³.

Im Falle von Ästuaren, gerade der Elbe und Weser, ist es in den vergangenen Jahrzehnten zu einer deutlichen Verschärfung des Sturmflutrisikos gekommen, aufgrund der wasserbaulichen Maßnahmen zur Modernisierung der Wasserstraßen und zur Verbesserung des Küstenschutzes.²⁴ Diese Veränderungen sind vor nicht allzu langer Zeit fälschlich dem Klimawandel zugeschrieben worden, haben damit aber nichts zu tun. Nun wird geprüft, inwieweit geeignete

Eingriffe in das Strömungsregime vor allem im Bereich der Unterelbe eine Minderung der Tideenergie und damit des elbaufwärtigen Stromes im Falle von Sturmfluten bewirken können (Tideelbe-Projekt).

Die Anpassung an den Klimawandel hat häufig zum Ziel, die möglichen Risiken und Gefährdungen zu verringern. Allerdings bringt der Klimawandel im Hinblick auf Stadtentwicklung und Infrastruktur auch neue Chancen mit sich. Diese liegen nicht nur in (technologischen) Innovationen zur Bewältigung der negativen Auswirkungen. So ist damit zu rechnen, dass die Relevanz klimaangepasster Baumaterialien steigt. Dies kann zu Veränderungen in der Bauwirtschaft führen. Es wird einen steigenden Beratungsbedarf der Immobilien-/Wohnungswirtschaft im Hinblick auf klimagerechtes Bauen beziehungsweise entsprechende Investitionen geben. In der Klimatechnik, der Energiewirtschaft und der Mobilität (vgl. Kap. 2.3 und 2.4) wird es zu neuen Entwicklungen kommen können. Die steigende Bedeutung städtischen Grüns und neuer angepasster (trockenresistenter) Sorten wird neue Chancen für Baumschulen und Landschaftsbau eröffnen. Und schließlich kann auch das Gastgewerbe möglicherweise neue Potenziale erschließen.

2.2.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

> **„Gute Beispiele“ für die Stadtentwicklung etablieren:** Im Hinblick auf Stadtentwicklung und Infrastruktur sind „gute Beispiele“ für den klimagerechten Umbau von Siedlungen und Siedlungsstrukturen weiterzuentwickeln. Programme müssen über Pilot- und Modellvorhaben hinaus auf breitere Anwendungen abzielen und diese stärker in den Mittelpunkt rücken. Anpassung an den Klimawandel kann in der Stadtentwicklung nicht losgelöst von der

²⁰ Zum Beispiel Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus MV 2008.

²¹ Vgl. Hofstede 2011.

²² Reise/Oelerich 2007.

²³ Vgl. von Liebermann 2010.

²⁴ Von Storch et al. 2008.

Praxis, das heißt der Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft erfolgen. Zudem ist nicht damit zu rechnen, dass es einen „Königsweg“ der Klimaanpassung auf lokaler beziehungsweise regionaler Ebene geben wird. Insofern sind lokale und regionale „Experimente“ unabdingbar. Dabei sollte es darum gehen, Erfolgsfaktoren der Anpassung (zum Beispiel Rahmenbedingungen, innovative inhaltliche Lösungen, handelnde Akteure beziehungsweise Akteurskonstellationen, institutionelle Faktoren, Instrumente) zu eruieren und auf ihre allgemeine Übertragbarkeit hin zu überprüfen.

> **Planungsinstrumente und Regelwerke überprüfen:**

Weiterhin müssen bisherige Leitbilder, Planungsinstrumente und Regelwerke auf den Prüfstand gestellt und Lösungsansätze entwickelt werden. Bei Stadtentwicklung, Infrastruktur und Küstenschutz spielen Leitbilder, Strategien, Planungsinstrumente und Regelwerke wie technische Normen eine große Rolle, findet doch über sie der größte Teil an Steuerungsleistungen auf kommunaler (und regionaler) Ebene statt. Klimaangepasste Städte sind auch „smart cities“. Entsprechende Empfehlungen²⁵ können wertvolle Hilfestellung leisten.

> **Sozial verträgliche „No-regret-Maßnahmen“ ausbauen:**

Dabei sollte auch die soziale Dimension der Klimaanpassung in die weitere Bearbeitung, zum Beispiel in der Wohnungswirtschaft, stärker einbezogen werden. Sogenannte „no-regret-Maßnahmen“, die sofort einen Nutzen entfalten und auch bei den erwarteten weiteren Klimaänderungen kein Fehler sind, erscheinen bereits heute sinnvoll. Ein Beispiel dafür ist beim Neubau ein Gebäudeentwurf, der den direkten Hitzeintrag minimiert, zum Beispiel durch bauliche Verschattung im Sommer, durch außenliegenden Sonnenschutz oder durch die Möglichkeit nächtlicher Lüftung zur Kühlung. In Bezug auf die Gebäude- und Quartiersinfrastruktur besteht allerdings zu „No-regret-Maßnahmen“ weiterer Forschungsbedarf. Es fehlen belastbare

Empfehlungen, etwa in Reaktion auf regional verstärkt zu erwartende Starkregenereignisse oder andererseits Trockenzeiten. Damit könnte die Klimaanpassung in Neubau- und Sanierungsplanungen für Gebäude und Quartiere besser berücksichtigt werden. Wesentlich ist dabei die Einbeziehung der Immobilienbesitzer sowie Mieterverbände und deren aktive Beteiligung an Verteilungsfragen bei allfälligen zusätzlichen Belastungen.

> **Anpassung der universitären und beruflichen Bildung:**

Schließlich erfordern Klimawandel und Klimaanpassung eine wesentlich umfassendere Berücksichtigung in der Ausbildung. Dies gilt gleichermaßen für Universitäten und für den Bereich der beruflichen Bildung. Hier sind die Lehrpläne nicht nur den neuesten Erkenntnissen anzupassen, sondern es müssen auch übergreifende Themen behandelt und übersektorale Lösungsansätze erprobt und vermittelt werden.

2.3 ENERGIE

2.3.1 MÖGLICHE BZW. ERWARTETE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEN BEREICH ENERGIE

Priorität für sichere, umweltverträgliche und bezahlbare Energieversorgung

Eine sichere, umwelt- und sozialverträgliche sowie wettbewerbsfähige Energieversorgung ist eine Grundvoraussetzung der wirtschaftlichen Entwicklung und des gesellschaftlichen Wohlstands in Deutschland. Sie hat daher hohe Priorität. Sämtliche der Energiewirtschaft nachgelagerten Sektoren sind von Energie abhängig. Die Klimapolitik – auch im Bereich der Anpassungsstrategien – muss dabei berücksichtigen, dass nur wettbewerbsfähige Unternehmen entsprechende Produkte und Dienstleistungen anbieten können, die zur Bewältigung möglicher Auswirkungen des Klimawandels erforderlich sind.²⁶

²⁵ Vgl. acatech 2011.

²⁶ Albrecht et al. 2011b.

Der Energie-Mix in Deutschland ist vielseitig und besteht heute aus Erdgas, Erdöl, Stein- und Braunkohle, Kernenergie sowie erneuerbaren Energien. Während kurzfristig Kernenergie durch fossile Energiequellen und langfristig diese durch erneuerbare Energien reduziert werden sollen, wird aufgrund technischer und wirtschaftlicher Faktoren bis auf Weiteres der Markt mit einem breit gestreuten Energie-Mix bedient werden. Die Strategie, die Zusammenstellung des Energie-Portfolios dem Klimawandel anzupassen, muss daher sowohl fossile als auch erneuerbare Energiequellen berücksichtigen.

Den Umbau der Energieversorgung auf Basis vornehmlich erneuerbarer Quellen erfordert in den nächsten Jahren erhebliche langfristige Investitionen. Gerade bei Infrastrukturen, die noch in der Mitte des Jahrhunderts genutzt werden sollen, müssen mögliche Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Folgen des Klimawandels können die gesamte Wertschöpfungskette des Energiesektors – Abbau beziehungsweise Gewinnung, Transport, Produktion beziehungsweise Umwandlung, Verteilung und Verbrauch – betreffen.²⁷

Rund ein Fünftel – in der Industrie sogar ein Drittel – des hiesigen Endenergieverbrauchs entfällt auf elektrische Energie. Dieser Anteil wird bei einem sich wandelnden Klima eher noch zunehmen: Einem geringeren Heizenergiebedarf in den Wintermonaten steht ein zunehmender Kühlungsbedarf in den Sommermonaten gegenüber, der überwiegend durch elektrisch betriebene Anlagen gedeckt wird.²⁸ Steigende Erwartungen an klimatischen Komfort werden die Verschiebung von Heizöl zu Strom noch verstärken. Elektrische Energie wird auch weiterhin ein Grundpfeiler der Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland sein. Eine verlässliche Stromversorgung muss gerade unter sich wandelnden klimatischen Bedingungen gegeben sein. Daher und aufgrund der höheren Klimaexposition stehen mögliche Klimarisiken für die Stromversorgung im Mittelpunkt der Anpassungsüberlegungen an den Klimawandel.

Dabei sollten Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung im Blick behalten werden. Klimaschutzmaßnahmen wie Gebäudedämmungen zur Verringerung des Heizenergiebedarfs verbessern zugleich im Sommer den klimatischen Komfort in Innenräumen und verringern den Klimatisierungsbedarf von wärmesensiblen Prozessen.

Veränderungen des Energieangebots

Der Klimawandel beeinflusst das Angebot an Energie. Die natürlich-physikalischen Wirkungen des Klimawandels können die Abbau- und Transportbedingungen von Energierohstoffen sowie die Nutzungsmöglichkeiten erneuerbarer Energien und die Verteilung von Elektrizität verändern.

Extremwetter können den Abbau von Erdgas, Erdöl sowie Braun- und Steinkohle beeinträchtigen und deren Weitertransport per Schienen- und Schiffsverkehr beeinflussen. Wasserstraßen können bei zu viel Wasser und in langen Trockenperioden nur eingeschränkt nutzbar sein. Stürme verzögern den Transport von Energierohstoffen über das Meer. Insbesondere beim Erdgas kommt der Transport via Pipelines als potenzielles Risiko hinzu. Der Klimawandel eröffnet aber auch neue, wenngleich unter Umweltaspekten umstrittene Fördermöglichkeiten durch eine Verringerung der polaren und polarnahen Eisschilde – beispielsweise bei fossilen Energieträgern in Alaska und Russland.

Auch auf die Gewinnung von Energie aus erneuerbaren Quellen haben klimatische Veränderungen unmittelbaren Einfluss. So kann die Nutzung der Wasserkraft aufgrund geringerer Wasserführung von Flüssen im Sommer beschränkt sein. Mögliche Veränderungen der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit beeinflussen die Bereitstellung von Windenergie. Darüber hinaus ist die Gewährleistung der Anlagesicherheit von großer Bedeutung. Gerade freistehende Erzeugungsanlagen müssen auf ihre Anfälligkeit gegenüber häufigeren und stärkeren Extremwetterereignissen geprüft werden.

²⁷ Wachsmuth et al. 2012.

²⁸ Becker et al. 2007.

Die Erzeugung von Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft in Deutschland und in Importländern unterliegt wachsenden naturräumlichen Risiken aus einem generellen Temperaturanstieg und Extremwetterereignissen wie der Zunahme der Frequenz schwerer Niederschlagsereignisse und intensiver, längerer Trockenperioden sowie der Verschiebung der Niederschlagsverteilung. In trockenheitsgefährdeten Standorten sind Ernteeinbußen einzukalkulieren, wenn Bewässerungen zu teuer sind oder wegen konkurrierender (und prioritärer) Nutzungen nicht ausreichenden Ausgleich schaffen können.

Bei der Energieumwandlung entstehen durch den Klimawandel neue Risiken in der Stromerzeugung. Längere Trocken- und Hitzeperioden können bei den heute noch verbreiteten Kühlungsverfahren die Kühlwasserverfügbarkeit in thermischen Kraftwerken gefährden.²⁹ Niedrigwasser und steigende Wassertemperaturen zwingen Energieerzeuger, ihre Kraftwerke entsprechend wasserrechtlicher Regelungen herunterzufahren – sowohl im Inland als auch in den Nachbarstaaten, aus denen Deutschland Strom einführt.

Generell wichtig für die Stromversorgung ist die Sicherung der netzgebundenen Übertragungs- und Verteilungsinfrastruktur vor allem gegenüber Extremwetterereignissen. Demgegenüber ist die leicht abnehmende Effizienz des Leitungsnetzes bei höheren Temperaturen von verminderter Bedeutung.

2.3.2 ÜBERSICHT ÜBER RELEVANTE ANPASSUNGSSTRATEGIEN UND MÖGLICHE MARKTCHANCEN

Zur Anpassung der Energieversorgung an ein sich veränderndes Klima gibt es eine Reihe von Ansatzpunkten:

- Die Diversifizierung der Energie- und vor allem der Stromversorgung (breiter Energie-Mix) sowie die Integration dezentraler Stromerzeugung können dazu

beitragen, Risiken zu reduzieren. Auch diese Strategie bedarf einer Anpassung der Netzinfrastruktur.

- Die Reduktion des Energieverbrauchs und Eindämmung des Wachstums des Stromverbrauchs können Abhängigkeiten verringern. Große Potenziale sind im Bereich der Wärmeversorgung von Gebäuden zu sehen, die in Wintermonaten weiter sichergestellt werden muss. Die Potenziale zu heben, erfordert erhebliche Investitionen und Zeit. Ressourcenschonender Leichtbau und effiziente Motoren können im Verkehr einen wichtigen Beitrag leisten.
- Durch Effizienzstrategien kann eine Neudimensionierung von Kühlanlagen im Zuge des Klimawandels unnötig werden. Bei Anlagen, in denen Wärme und Kälte benötigt werden, sollte Kraftwärmekältekopplung genutzt werden. Problematisch ist, dass Wärmesenken in einem wärmeren Klima und mit besser isolierten Gebäuden seltener gebraucht werden.
- Das Anlegen beziehungsweise Vergrößern von Brennstofflagern in der Nähe der Kraftwerke kann Transportrisiken reduzieren.
- Durch die Nutzung von Kühltechnologien müssen fossile Kraftwerke kein erwärmtes Wasser in gegebenenfalls wetterbedingt warme Flüsse einleiten.
- Aufgrund der Belastung der Leitungsnetze durch Extremwetterereignisse ist die Netzinfrastruktur zum Beispiel durch Redundanzen anzupassen.

2.3.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

> **Keine unüberwindbaren Herausforderungen:** Der heute absehbare Klimawandel wird die deutsche Energiewirtschaft in den kommenden Jahrzehnten nicht vor unüberwindbare Herausforderungen stellen. Seine Bedeutung für die Anpassung steht hinter den Herausforderungen der Energiewende deutlich zurück. Insbesondere aus globaler Sicht ist im Energiebereich der Nutzung endlicher Ressourcen besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

²⁹ Rothstein et al. 2008; Umweltbundesamt 2011b.

> **Investitionen für Anpassung nutzen:** Jetzt getätigte Investitionen haben oft Nutzungsdauern, innerhalb derer Klimaveränderungen spürbar werden können. Die anstehenden energiewirtschaftlichen Investitionen sollten für frühzeitige Anpassung genutzt werden.

> **Forschung zu regionalen Klimaveränderungen verbessern:** Die erwarteten Klimaveränderungen machen zwar keine Neuausrichtung der Energiepolitik notwendig, aber sie verschärfen vorhandene Probleme der Energiebereitstellung, des Energietransports und der Energieverwendung.³⁰ Nach wie vor besteht die Notwendigkeit, diese Klimawandelfolgen besser zu verstehen. In der Energiewirtschaft ist dabei ein hohes Maß an Differenzierung, Belastbarkeit und Standortgenauigkeit nötig. Dazu bedarf es einer besseren Abschätzung regionaler Klimaveränderungen.

> **Regionale Unterschiede und mögliche Verteilungskonflikte beachten:** Unter der Belastung von Anpassungsmaßnahmen können ggf. Verteilungskonflikte auftreten, insbesondere dann, wenn regionale Unterschiede des Klimawandels zu unterschiedlichen Anpassungsanforderungen und -kosten führen.

> **Anpassungsbelange in Regelwerke einbringen:** Vor allem sollte die neu auszurichtende Gesetzgebung des Bundes im Energiebereich um Anpassungsbelange erweitert werden, damit jetzt angestoßene Investitionsvorhaben vorausschauend realisiert werden können. Das gilt vor allem im Bereich der Netzregulierung. Das Einbringen von Anpassungserfordernissen in Regelwerke (vor allem zur Anlagensicherheit und der Netzregulierung) hat außerdem den Vorteil, dass diese grundsätzlich für Klimaveränderungen und Klimafolgen sensibilisieren, deren Beobachtung einfordern und den Institutionen Gelegenheit geben, sich auf die Organisation von Konfliktregelungen einzustellen.

2.4 MOBILITÄT

2.4.1 MÖGLICHE BZW. ERWARTETE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEN BEREICH MOBILITÄT

Im Bereich der Mobilität orientieren sich die Ergebnisse der Projektgruppe überwiegend an den Erkenntnissen der DAS und des Aktionsplans Anpassung.³¹ Mobilität ist ein wichtiger Bestandteil des sozialen und wirtschaftlichen Lebens und ist als wirtschaftlicher Erfolgsfaktor eine wesentliche Voraussetzung für den Erhalt und die Steigerung des gesellschaftlichen Wohlstands. Die Sicherstellung einer funktionierenden Mobilität in einem sich wandelnden Klima ist daher von besonderer Bedeutung.

Die mögliche Zunahme extremer Wetterereignisse (zum Beispiel Hitze oder Starkregen) kann die Verkehrsinfrastruktur belasten und die Mobilität temporär einschränken oder gar ganz unterbinden. Um dem entgegenzuwirken, sind infrastrukturelle Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel erforderlich. Die Verkehrsinfrastruktur ist dabei so zu gestalten, dass die Einflüsse extremerer Witterungsbedingungen das Mobilitätsbedürfnis der Gesellschaft möglichst nicht beeinträchtigen.

Der **Straßenverkehr** hat angesichts seines hohen Anteils am Personen- und Güterverkehr eine starke gesamtwirtschaftliche Relevanz. Schon heute hat das Klima Auswirkungen auf den Verkehr: Im Winter entstehen wetterbedingte Verkehrsbehinderungen; vor allem Schneefall und Eisglätte reduzieren die Fahrfunktionalität der Straßeninfrastruktur, führen zu Staus oder Verzögerungen im Personen- und Gütertransport. Diese negativen Effekte werden im Zuge einer Klimaerwärmung tendenziell abnehmen. Dennoch wird es auch im zukünftigen Klima zu Wintern kommen, wie sie heute typisch sind. Im Sommer steigt mit erhöhten Temperaturen die Beanspruchung des Fahrbahnbelags.

³⁰ Vgl. Appelrath et al. 2012.

³¹ Bundesregierung 2008 und 2011.

Auch zunehmende Extremwetterereignisse haben negative Folgen für den Straßenverkehr. Niederschlagsbedingte Hochwasser, Überschwemmungen von Tunneln und Überlastungen von unterdimensionierten Entwässerungseinrichtungen sowie sturmbedingte Beschädigungen an Bauwerken und Brücken können vermehrt auftreten und den Verkehr behindern. Dies kann insbesondere für „Just in Time“-Logistik problematisch werden.

Der **Schienerverkehr** ist allenfalls von extremen Wetterereignissen betroffen. Diese können zu Schäden an Trassen, Gleisen und Oberleitungen führen. Wetterbedingte Störungen der Stromerzeugung können den Bahnverkehr behindern. Zusätzlich gefährden die erhöhten Innentemperaturen in den Zügen im Sommer die Gesundheit der Passagiere. Nur die tendenziell kürzeren Frostperioden lassen potenziell positive Auswirkungen für den Schienenverkehr erwarten.

Der **Luftverkehr** wird prinzipiell, insbesondere bei Start und Landung, durch Gewitter und Stürme beeinträchtigt.

Klimaänderungen haben auch einen unmittelbaren Einfluss auf die **Seeschifffahrt und Seeschifffahrtsstraßen**. Dies gilt insbesondere für Änderungen des Sturmklimas und damit einhergehend der Sturmfluten. Der vermutete Meeresspiegelanstieg betrifft unter anderem Häfen und andere maritime Infrastrukturen.

Auswirkungen des Klimawandels sind auch im Bereich der Wasserstraßen und Mündungsgebiete zu erwarten, insbesondere durch veränderte Strömungen oder Sedimentationsprozesse. Neue Schifffahrtswege, zum Beispiel im Bereich der Arktis, können dabei Chancen bieten. Die Erschließung der Arktis für Exploration und andere Nutzung ist aber auch mit Risiken verbunden.³²

Obschon die Wasserstände der deutschen Flüsse stets beträchtlich variieren, könnten diese Schwankungen im Zuge des Klimawandels zunehmen. Konsequenzen daraus dürften sich insbesondere für frei fließende Wasserstraßen ergeben. Bei extremem Niedrig- und Hochwasser könnten diese kaum für die Schifffahrt nutzbar sein. Die DAS warnt vor einer Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit und Sicherheit der Binnenschifffahrt auf diesen Strecken sowie der Wettbewerbsfähigkeit insbesondere massengutabhängiger Branchen als den Hauptnutzern des Transportwegs.³³ Die Folge wäre eine Verlagerung von der Binnenschifffahrt auf die Straße und zur Bahn. Um diese Verkehrswege nicht weiter zu belasten, sind Anpassungsmaßnahmen in der Binnenschifffahrt dringend geboten.

2.4.2 ÜBERSICHT ÜBER RELEVANTE ANPASSUNGSSTRATEGIEN UND MÖGLICHE MARKTCHANCEN

Straße

Prinzipiell bieten veränderte Baumaterialien und verbesserte Entwässerungstechnologien Anpassungschancen an vermehrte Hitzeperioden und intensivere Niederschlagsereignisse.

Schiene

Die Bahninfrastruktur kann den Folgen des Klimawandels ausgesetzt sein. Beim Fahrzeugpark besteht Anpassungsbedarf vor allem im Hinblick auf die Klimatisierung der Personen befördernden Züge.

Luftfahrt

Der Luftverkehr ist durch die Folgen des Klimawandels im Vergleich zu anderen Bereichen kaum betroffen. Besondere Herausforderungen ergeben sich für den Betrieb von Flughäfen und die Flugsicherung aus der möglichen Zunahme von Extremereignissen.³⁴

³² Vgl. Bundesregierung 2008.

³³ Vgl. ebd.

³⁴ Vgl. ebd.

Schifffahrt (Binnen, See, Häfen)

Bereits heute werden der Betrieb und der Ausbau der Bundeswasserstraßen auf der Grundlage von Analysen mit Bezug auf die Effekte der Klimaveränderungen geplant.

Die bisher vorliegenden Erkenntnisse zur künftigen regionalen Entwicklung des Wasserdargebots sind jedoch noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Daher gilt es zunächst, die Bandbreite von Unsicherheiten gezielt zu verringern.³⁵ Wesentlich wird auch sein, das Spektrum der Anpassungsmaßnahmen zu vergrößern.

2.4.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Bei der Planung von Investitionen in den Bestand oder Neubau von Infrastruktur sind – bezogen auf Materialien, Bauweisen und eventuelle Streckenverlagerungen – künftig Konzepte zum Schutz verwundbarer Infrastrukturen zu entwickeln.³⁶

Insbesondere empfiehlt acatech:

> **Risikomanagement etablieren:** Eine Risikoanalyse wichtiger Güter- und Transitverkehrsachsen unter Verwendung relevanter Klimadaten ist zu etablieren. Gleichmaßen sind Frühwarn- und Informationssysteme zu entwickeln und bereitzustellen.

> **Technische Anpassung im Schienenverkehr:** Konzepte und Maßnahmen zur langfristigen technischen Anpassung von Gleisen im Bereich des Schienenverkehrs

> **Anpassung von Entwässerungs- und Kanalisationssystemen in der Straßeninfrastruktur**

> Entwicklung und Bereitstellung von Frühwarn- und Informationssystemen

2.5 GESUNDHEIT

2.5.1 MÖGLICHE BZW. ERWARTETE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEN BEREICH GESUNDHEIT

Im Bereich der Gesundheit können Auswirkungen auf folgende mögliche Bereiche identifiziert werden:

Hitzestress wirkt sich besonders auf vulnerable Personengruppen wie Kleinkinder, Senioren und Kranke aus. Wie stark die Menschen betroffen sind, hängt dabei von ihrer biologischen Sensitivität (genetische Disposition, chronische Arzneimittelbehandlung), von geografischen Faktoren (Klimaausschläge, innerstädtische Wärmeinseln) und sozioökonomischen Parametern (Familien-, Sozialstatus, Lebensstil und Wohn- und Indoor-Verhältnisse) ab.³⁷ Hitzestress kann bei diesen Personengruppen Krankheitsverläufe verschlechtern und folglich zu einer erhöhten Hospitalisierungs- und Sterblichkeitsrate führen. In Europa nehmen bei Hitzephase die Raten an Notfall-Hospitalisierungen und -Konsultationen von Menschen mit chronischen inneren Krankheiten zu, insbesondere mit Lungen- und Herz-/Kreislaufkrankungen.³⁸

Mit zunehmender Erwärmung und veränderter Vegetationsperiode kann auch die Pollen-Allergen-Exposition ansteigen, also die Ausbreitung von Pflanzen mit hohem allergenem Potenzial, Zunahme an Pollen, verlängerte Pollenflugzeiten, zum Beispiel der *Ambrosia artemisiifolia*³⁹.

³⁵ Vgl. ebd.

³⁶ Vgl. ebd.

³⁷ Interagency Working Group 2010; Lenton et al. 2008.

³⁸ Michelozzi et al. 2009; Robine et al. 2008.

³⁹ Bei der *Ambrosia artemisiifolia* handelt es sich um eine Pflanze aus der Familie der Korbblütengewächse. Ursprünglich aus Nordamerika eingeführt, hat sich die Ambrosia in Europa sehr schnell verbreitet und als Unkraut etabliert. Die Pollen der *Ambrosia artemisiifolia* gelten als besonders aggressiv und allergieauslösend.

Besonders in Metropolen kann dies zu einer Morbiditätszunahme von Allergien führen.

Infolge der Erwärmung könnten sich heimische oder neuartige Infektionserreger zunehmend verbreiten und leichter übertragen werden (zum Beispiel FSME-Virus). Insgesamt ist der Effekt klimatischer Veränderungen auf die Verbreitung von Infektionskrankheiten wegen seiner Komplexität (Erregereigenschaften, Immunität, Vektorverbreitung und -kompetenz) eher schwer quantifizierbar.

2.5.2 ÜBERSICHT ÜBER RELEVANTE ANPASSUNGSSTRATEGIEN UND MÖGLICHE MARKTCHANCEN

Die sorgfältige Beobachtung des Verlaufs sollte dramatischen Entwicklungen in den genannten Bereichen vorbeugen können. Begleitforschung im Zusammenhang mit klimatischen Veränderungen und die Befähigung zu reagieren sind deshalb auch im Gesundheitsbereich relevant. Konkret verstärkt der mögliche Klimawandel den Bedarf nach ohnehin gebotener Forschung in einer Reihe von Bereichen.

Für die Hitzestressproblematik bietet sich eine Untersuchung vulnerabler Bevölkerungs- beziehungsweise Patientengruppen im Rahmen interdisziplinärer klinischer Forschung an. Diese beinhaltet die systematische Erfassung und Modellierung der Klimaveränderung (städtische Agglomerationsräume, vgl. Kap. 2.2), verbunden mit prospektiven klinischen Studien hinsichtlich Vulnerabilität sowie die Entwicklung und Implementierung spezifischer hitzestressbedingter Frühwarn- und Interventionssysteme für vulnerable Patientengruppen. Technologienentwicklungen der Patientenführung, wie Telekommunikation und Telemedizinmonitoring, sollten zusätzlich unterstützt werden. Bauliche Entwicklungen (vgl. Kap. 2.2) ermöglichen das „klimaangepasste“ Krankenhaus.

Um die medizinische Versorgung der erwarteten steigenden Pollen-Allergen-Exposition anzupassen, sind Forschung und Aufklärung der Bevölkerung über Allergien auszuweiten. Das Pollenmonitoring kann durch räumliche und zeitliche Verdichtung und durch neu zu entwickelnde numerische Modelle die Pollenflugvorhersage verbessern. Auch in diesem Bereich ist die Identifizierung vulnerabler Gruppen wichtig.

Bei Infektionskrankheiten sind Surveillance, Epidemiologie, Modellierung, Public Health, in der Vektorüberwachung (speziell Stechmücken) und -kompetenz sowie Diagnostik, Impfstoffentwicklung und Behandlung zu intensivieren, um der steigenden Ausbruchsmöglichkeit zu entsprechen.

Die genannten Anpassungsaktivitäten sind auch wirtschaftlich von Tragweite. Neue Medien (unter anderem Telemedizin, auch spezifische Frühwarn- und Interventionssysteme) und bautechnologische Entwicklungen (bauliche, materielle und personelle Gestaltung, Kühlungstechnik, Filter- und Abdichttechnik, Architektur, Fassadenbegrünung, Bautechnologien beziehungsweise Werkstoffentwicklungen) bieten Wertschöpfungspotenziale. Wertschöpfung entsteht auch im Zusammenhang mit der „klimaadaptierten“ Patientenbehandlung (zum Beispiel klinische Exazerbationsbehandlung bei Hitzewellen, allergischen Reaktionen), der Arzneimitteltherapie (flexible Dosierung bei Hitzestress), beim Bau des „klimaangepassten“ Krankenhauses und der Klimatisierung von Patientenzimmern.

2.5.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

> **Medizinische Forschung anpassen:** acatech empfiehlt Grundlagenforschung und klinische Forschung über den Zusammenhang von Klimaveränderung und Krankheitsverlauf. Der demografische Wandel und die Multimorbidität älterer Patienten verstärken den Forschungsbedarf in diesem Bereich – auch unabhängig vom Klimawandel.

> **Technologien und bauliche Entwicklungen gegen Hitzestress vorantreiben:** Im Zusammenhang mit Hitzestress können die genannten Anpassungsstrategien die Hospitalisierungsfrequenz und Mortalität senken.

Die Gruppe der beteiligten Akteure ist breit und umfasst unter anderem Universitätsmedizin, Versorgungsmedizin, Patientenverbände, Krankenversicherungen, Gemeinsamer Bundesausschuss (GBA), Institut für das Entgeltsystem im Krankenhaus (InEK), Pharmazeutische Industrie, Telekommunikationstechnologie, Bauwirtschaft, Architektur und Politik.

Die möglichen Anpassungsmaßnahmen müssen im Einzelfall unter Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten geprüft und auch gegeneinander abgewogen werden.

2.6 INTERNATIONALE ASPEKTE

2.6.1 MÖGLICHE BZW. ERWARTETE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS: INTERNATIONALE ASPEKTE

Viele Anpassungsmaßnahmen erfolgen dezentral beziehungsweise auf regionaler oder lokaler Ebene. Denn selbst in einem verhältnismäßig „kleinen“ Land wie der Bundesrepublik Deutschland sind die möglichen Folgen einer Klimaveränderung im näheren Nordseeraum zum Großteil andere als im Voralpengebiet. Die Folgen einer möglichen Klimaveränderung können regional sehr unterschiedlich sein und dennoch – in geografisch anderweitigem Kontext – vergleichbare Fragestellungen aufwerfen. Ein Abschmelzen der Gletscher, zum Beispiel, verursacht vermutlich vergleichbare Folgen in Bayern, Österreich, der Schweiz; aber eben auch in Alaska, Norwegen, Zentralasien oder in Regionen auf der Südhalbkugel. Gleichwohl gibt es internationale Aspekte, die auf die nationalen Anpassungsstrategien zurückwirken.

Die Folgen des Klimawandels, aber auch Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen in anderen Ländern verändern die Rahmenbedingungen nationalen wirtschaftlichen und politischen Handelns vor allem über veränderte Knappheit und Preise oder über Veränderungen internationaler wirtschaftlicher Beziehungen. Von besonderer Bedeutung sind die Folgen für die Produktion von Nahrungsmitteln und regenerativen Rohstoffen sowie mögliche, durch klimatische oder klimapolitische Geschehnisse ausgelöste, Migration.

2.6.2 ÜBERSICHT ÜBER RELEVANTE ANPASSUNGSSTRATEGIEN UND MÖGLICHE MARKTCHANCEN

Überregionale Institutionen wie die Europäische Union haben im Bereich der Forschungsförderung besondere Bedeutung. Forschungsergebnisse, die an einem Ort erzielt werden, können weltweit und ohne Nutzungs rivalitäten eingesetzt werden. Das gilt sowohl für spezifische Klima- und Klimafolgenforschung als auch für Forschung und Entwicklung ganz allgemein. Letztere erweitern den Raum möglicher Technologien und Maßnahmen, mit denen die Menschheit in der Zukunft auf die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen des Klimawandels reagieren kann. Forschung und Entwicklung erhöhen die Adaptionfähigkeit der Menschheit an veränderte Umweltbedingungen. Gerade im Bereich der Grundlagenforschung sind die individuellen oder einzelstaatlichen Anreize für die Finanzierung dieser Aktivität zu gering und internationale Kooperation ist geboten.

Das komplexe Forschungsproblem der Wirkungen von Klimaveränderung kann durch gezielte internationale Forschungszusammenarbeit besser bewältigt werden als im nationalen Alleingang. Das gilt selbst dann, wenn Nationalstaaten unterschiedliche Forschungsprioritäten setzen. Internationale Abkommen im Bereich der Grundlagenforschung und ihrer Finanzierung sowie zur Entwicklung von Technologien und deren internationaler Nutzung könnten

der Fragmentierung und der Trittbrettfahrer-Problematik entgegenwirken. Um eine echte Vielfalt der Forschungsansätze zu gewährleisten, sollte bei übernationaler Kooperation indes auch in der Forschungsförderung der Vielfalt Rechnung getragen werden. Dies kann durch dezentrale Konzipierung und Umsetzung der Forschung erfolgen, bei der regionale und nationale Forschung international gefördert wird. Auch ein systematischer Erfahrungsaustausch muss nicht auf der Basis „globaler“ Kooperation stattfinden, sondern sollte auf der Grundlage vergleichbarer Betroffenheit organisiert sein. Die Klimaforschung in internationaler Kooperation und Abstimmung sollte so ausgerichtet sein, dass verantwortliche regionale Politik auch längerfristige Maßnahmen rechtzeitig planen und durchführen kann.

Die regionale Unterschiedlichkeit von Klimafolgen, vor allem aber das unsystematische Auftreten von großen wetterbedingten Schadensereignissen stellt internationalen Versicherungsmärkten und Rückversicherungen besondere wirtschaftliche Adaptationsaufgaben. Klimafolgen in Form von zufällig und lokal oder regional auftretenden Großschäden lassen sich durch internationale Risikodiversifikation besser bewältigen.

Manche Infrastrukturmaßnahme, die für eine Klimaanpassung sinnvoll ist, mag besser in internationaler Kooperation erfolgen. Zu denken ist beispielshalber an Wasserprobleme, die durch Klimawandel entstehen (oder ohnehin vorhanden sind). Insbesondere wäre dies dort sinnvoll, wo durch entsprechende Infrastruktur örtliche Verfügbarkeiten von Wasser in regionale Verfügbarkeiten transformiert werden können (regionale Wassermärkte, die auch Anreize für Privatinvestitionen in Wasserinfrastruktur schaffen).

Klimawandel und Klimapolitik einzelner Länder können die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebensbedingungen in anderen Ländern, Knappheit von Gütern und Funktionsweisen von internationalen wirtschaftlichen

Beziehungen verändern. Adaptationsmaßnahmen können Bedarfe für bestimmte erzeugte Wirtschaftsgüter und für Produktionstechnologien schaffen. Hier liegen Wertschöpfungspotenziale und Marktchancen. Auch Rohstoffe und Nahrungsmittel können sich als Folge dieser Politiken anderer Länder verknappten und Veränderungen der Ströme von Gütern und Kapital und Migrationsbewegungen auslösen.

Die Folgen des Klimawandels werden in globaler Hinsicht spürbar sein und insbesondere bei Extremwetterereignissen internationalen Kooperationsbedarf auslösen. Der wahrscheinliche Anstieg notwendiger internationaler Hilfsaktionen in Regionen, in denen die Fähigkeit zur Selbsthilfe nur schwach ausgeprägt ist, erfordert rechtzeitig international abgestimmte Regularien und schnell greifende Einsatzmechanismen, zu deren Entwicklung Deutschland verantwortungsbewusst beitragen kann. National vorteilhafte Anpassung kann mit bestehenden internationalen Absprachen und regulatorischen Eingriffen im Konflikt stehen. Bestehende Regulierung kann Fehlanreize auslösen und privatwirtschaftliche Anpassungsprozesse verlangsamen.

Die steigende Weltbevölkerung schafft, ebenso wie Veränderungen von Gewohnheiten und Ansprüchen im Ernährungsbereich, Probleme bei der Versorgung der Welt mit Nahrungsmitteln. Während einige Regionen durch den Klimawandel Ertragssteigerungen erfahren, geht der Ernteertrag in anderen Regionen selbst bei optimaler Adaptation zurück. Hier besteht potenziell internationaler Kooperationsbedarf. Die Konkurrenz bei der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen zwischen Nahrungsmittelproduktion und der Produktion nachwachsender Energie, die sich aus bestehenden Vermeidungsstrategien ergibt, bringt eine neue Diskussion in Fragen von Armut und internationaler Verteilung mit sich. Diese Problematik verlangt nach international abgestimmten Konzepten und internationaler Zusammenarbeit im Bereich der Agrar-, Energie- und

Handelspolitik, beispielsweise auch internationale Abkommen zur Regelung der Warenterminmärkte und zu Vorratslagern auf regionaler oder globaler Ebene (wie sie zum Beispiel in Asien und Afrika bereits geplant sind).

Diese Verteilungsproblematik führt auch zur Frage nach möglicher durch Klimafolgen induzierter Migration. In der Literatur wird die große Unsicherheit über den Umfang möglicher klimatisch ausgelöster Migrationsprozesse betont. Myers (2002, 2005) und Stern (2006) erwarten erhebliche Auswirkungen und bis zu 50 beziehungsweise 200 Millionen „Umweltmigranten“. Renaud et al. (2007) und Nordås & Gleditsch (2007) kritisieren die wissenschaftliche Grundlage dieser Schätzungen.

Migrationsbewegungen erfolgten in der Vergangenheit aus verschiedenen Gründen meist innerhalb eines Landes oder zwischen benachbarten Ländern⁴⁰ und sind oft saisonal und zyklisch, und nicht dauerhaft⁴¹. Eine lediglich klima- oder umweltbedingte Massenmigration nach Deutschland erscheint als unwahrscheinlich. Geht man davon aus, dass eine Migration über weite Distanzen kostspielig ist, stellt sie für besonders arme Bevölkerungsgruppen kaum eine Option dar. Mit Auswirkungen für Deutschland wäre dann lediglich im europäischen Kontext zu rechnen.

2.6.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

> **Internationalen Informationsaustausch zu grenzüberschreitenden Wirkungen etablieren:** Adaptationsmaßnahmen wurden überwiegend als von lokaler und regionaler Reichweite identifiziert. Nur wenige Bereiche der Klimaadaptation haben eine europäische oder internationale Dimension. acatech empfiehlt einen europäischen oder internationalen Informationsaustausch und informelle oder formelle Formen der Zusammenarbeit in den Bereichen, in denen Anpassungsprozesse grenzüberschreitende Wirkungen haben oder Anpassungswissen international nutzbar gemacht werden kann.

> **Entwicklungshilfe auf Anpassung ausrichten:** Die deutsche und europäische Entwicklungspolitik kann Beratungsleistungen im Bereich der Klimaadaptation erbringen. Deutsche oder europäische Entwicklungshilfe sollte auch vermehrt Projekte in Betracht ziehen, die auf Adaptationsmaßnahmen gerichtet sind.

Auf europäischer Ebene besteht eine enge Beziehung zwischen Entwicklungshilfe und einer notwendigerweise europäischen Antwort auf mögliche, wenn auch ungewisse Migrationsströme, von denen besonders der Südrand der Europäischen Union betroffen sein könnte.

⁴⁰ Russell 1995; Gemeine 2010; McLeman/Hunter 2010.

⁴¹ Barnett 2003.

3 GRUNDSÄTZLICHE HERAUSFORDERUNGEN

3.1 ANPASSUNG AN KLIMAWANDEL UND -RISIKEN

Entscheidend für die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist die Anerkennung der Tatsache, dass sich der Bedarf und die Möglichkeiten für Anpassung über die Zeit entwickeln – einerseits entfaltet sich der Klimawandel im Laufe der Zeit, andererseits verändern sich gesellschaftliche Präferenzen für und gegen Anpassungsmaßnahmen und schließlich ergeben sich neue technische Möglichkeiten zum Umgang mit veränderten Umwelt Risiken. Eine wesentliche Frage ist daher immer, wann Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden – sodass einerseits eine ausreichende öffentliche Partizipation möglich ist, aber auch technische Fortschritte berücksichtigt werden können, ohne dass es vorher zu einer Zuspitzung der Lage (Risiko, nutzbares Potenzial) kommt.

Die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen geschieht vor allem in der Verantwortung der Länder, der Kommunen und in Betrieben, einfach weil Anpassungsmaßnahmen meist regionalspezifisch und abhängig von regionalen Sektoren sind.

Hier gilt es, dass Sozial- und Kulturwissenschaften ausloten, welche gesellschaftlichen Kräfte wirksam sind, welche divergenten Wissensansprüche (nicht im Sinne von „wissenschaftlicher Wahrheit“ sondern von „gesellschaftlich wirkmächtigem Erklärungssystem“, die „etwas bewegen können“)⁴² vor Ort vorhanden sind, und wie Konflikte über gesellschaftliche Vorstellungen und Ziele konstruktiv bewältigt werden können (vgl. Konflikte zur Einrichtung von Nationalparks).

Diskurse über Anpassung müssen dem Umstand Rechnung tragen, dass auf Gesellschaft, Wirtschaft und Ökosysteme immer diverse Faktoren einwirken. Es gibt multiple Stressoren; Klima ist nur einer davon, wenngleich ein wichtiger. Nicht nur das Klima ändert sich sondern gleichzeitig auch die Demografie, wirtschaftliche und politische Bedingungen

sowie technologische Möglichkeiten. Wenn eines sicher ist über die Zukunft, dann, dass es Entwicklungen geben wird, die als Überraschung auftreten. Anpassungsstrategien müssen so gestaltet sein, dass zusätzlich zu dem vom Menschen mitverursachten Klimawandel und anderen bekannten Herausforderungen auch mit solchen Überraschungen umgegangen werden kann. Es besteht also ein Bedarf nach multi-dimensionalen Szenarien, die mögliche zukünftige klimatische und andere ökologische sowie wirtschaftliche, politische und technologische Entwicklungen möglichst konsistent beschreiben.

3.2 KLIMAWANDEL UND KLIMAZUKÜNFT

Das Klima, also die Statistik des Wetters, verändert sich immer und überall. Bei Änderungen über wenige Jahre kann ein konkreter Grund oft nicht angegeben werden. Für Klimaveränderungen auf geologischen Zeitskalen von vielen Tausend bis zu mehreren Millionen Jahren spielen die Variationen der Faktoren, die die Erdbahn bestimmen, die veränderte Sonnenaktivität sowie die Veränderung der Land-See-Verteilung auf dem Globus eine Rolle.⁴³ Hinzu gekommen sind seit dem Beginn des Industriezeitalters die Veränderungen des Klimas durch anthropogene Treibhausgase sowie durch den zunehmenden Einfluss von Landnutzungsänderungen.

Detektion von Klimawandel und dessen Attribution auf mögliche Ursachen stehen unter dem Vorbehalt, dass die Variabilität des ungestörten Systems (durch externe Einflüsse) ausreichend gut abgeschätzt worden ist, und dass alle relevanten externen Faktoren nicht nur bekannt, sondern auch deren Einfluss auf die globale Temperaturverteilung und deren Änderung zuverlässig in Modellen beschrieben werden können. Obwohl der Wissensstand der Klimaforschung mittlerweile weit entwickelt ist, kann sich die Einschätzung bezüglich Detektion und Attribution

⁴² Von Storch 2009.

⁴³ Van Andel 1994.

zukünftig zumindest theoretisch noch ändern. Die diesbezüglichen Aussagen stehen, wie wissenschaftliche Ergebnisse überhaupt, unter dem Vorbehalt des „derzeitigen Wissens“, insbesondere weil gerade zu dieser Problematik intensiv geforscht wird.

Die Verteilung des Anteils der dekadischen Klimavariabilität und externer Einflussfaktoren (Treibhausgase, Sonnenaktivität, Vulkanausbrüche, Landnutzung und ihre Änderungen) am beobachteten Klimatrend der vergangenen rund 150 Jahre ist nicht bekannt. Andererseits ist für zuverlässige Klimarechnungen die möglichst genaue Kenntnis über den aktuellen (Anfangs-)Zustand und die zukünftige Entwicklung der internen Klimaperiodizitäten von entscheidender Bedeutung.

Neben ernsthaften Bemühungen, die Netto-Emissionen der Treibhausgase oder zumindest deren Zuwachs zu begrenzen, steht die Anpassung an die Gefahren und Möglichkeiten zunächst des derzeitigen Klimas, aber auch seiner zukünftig zu erwartenden Änderungen, als bedeutende Vorsorgeaufgabe im Raum.⁴⁴

Mögliche Klimazukünfte werden zwar oft als „Vorhersagen“, gerade auch im angelsächsischen Bereich, dargestellt, sind aber tatsächlich „Szenarien“ und werden daher als „Projektionen“ bezeichnet.⁴⁵ Der Begriff „Zukünfte“ verweist in diesem Zusammenhang auf denkbare Entwicklungspfade, ohne deren Wahrscheinlichkeit immer hinreichend genau angeben zu können.

Die mittlerweile gegebene Vielfalt für die Untersuchung spezieller Fragestellungen grundsätzlich geeigneter Klimaprojektionen ermöglicht der Klima- und Klimafolgenforschung einen wissenschaftlich sachgemäßen Umgang mit stets vorhandenen Unsicherheiten. Durch Verwendung

des bereits in der numerischen Wettervorhersage erprobten Ensembleansatzes können Modellunsicherheiten und die interne Variabilität des Klimasystems mindestens in Form einer Ergebnisspanne abgeschätzt und somit beispielsweise bei der Konzeption grundlegender Adaptationsmaßnahmen berücksichtigt werden. Diese Ansätze helfen aber nicht gänzlich über die grundsätzlichen Unsicherheiten hinweg, was Sensitivität, Dynamik von Komponenten des Klimasystems (wie Eisschilde, Wolken und Strahlungsdynamik) und Emissionspfade angeht. Ein Teil der Unsicherheit bleibt daher unquantifizierbar, und die Politik muss, ebenso wie in anderen Feldern wie etwa der Wirtschafts- und Sozialpolitik, lernen, bei Folgerungen im Hinblick auf Anpassung und Vermeidung auch mit diesen Unsicherheiten umzugehen.

Szenarien dienen dazu, Anpassungsoptionen auf ihre Wirksamkeit durchzuspielen.⁴⁶ Naturgemäß sind Aussagen zu Änderungen von Mittelwerten zum Beispiel der Lufttemperatur oder des Niederschlags infolge des globalen Temperaturanstiegs dabei einfacher zu treffen als zu Änderungen der Extreme. Daher sind Untersuchungen zu Änderungen zum Beispiel der Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen, Starkniederschlagsereignissen und Stürmen Gegenstand aktueller Klimaforschung.

Die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel beschreibt daher „die möglichen Folgen des künftigen Klimawandels für 15 Sektoren und Bereiche meist qualitativ“ und benennt „Handlungsoptionen in noch unterschiedlicher Detailtiefe“.⁴⁷ Um die Auswirkungen des Klimawandels hinsichtlich der Anforderungen an die verschiedenen Planungs- und Vorsorgebereiche abschätzen zu können, ist der Einsatz von mehr oder weniger aufwändigen statistischen oder dynamischen Wirkmodellen erforderlich.

⁴⁴ Stehr/von Storch 2009.

⁴⁵ Vgl. Bray/von Storch 2009.

⁴⁶ Vgl. Schwartz 1991.

⁴⁷ Bundesregierung 2008.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Kapitel 2 hat für einzelne Schlüsselbereiche spezifische Empfehlungen aufgezeigt. Am Ende dieser POSITION können darüber hinaus folgende allgemeine Schlussfolgerungen für deren Adressaten gezogen werden:

Politik

- Klimawandel erfordert Mitigations- UND Adaptationsmaßnahmen. Die beiden Maßnahmenpakete dürfen nicht gegeneinander ausgespielt werden.
 - Ohne Berücksichtigung der internationalen Verflechtungen ist nach dem gegenwärtigen Wissensstand die Anpassungsproblematik für Deutschland beherrschbar: Es werden in Deutschland keine klimatischen Randbedingungen auftreten, die nicht bereits in anderen Regionen der Erde existieren und in der Regel bewältigt werden.
 - Unabhängig hiervon ist die Entwicklung von Extremwetterlagen mit Blick auf erhöhte Vulnerabilitäten zu beachten.
 - Ein Großteil der Anpassungsmaßnahmen wird insbesondere die lokalen und regionalen Gebietskörperschaften betreffen. Diese müssen in der Lage sein beziehungsweise in die Lage versetzt werden, angemessen auf die damit verbundenen Herausforderungen zu reagieren.
 - Der Klimawandel kann nicht nur eine Verschiebung der Mittelwerte von Klimaparametern zur Folge haben, sondern auch deren Variabilität und Amplituden verändern. Das heißt, Anpassungsmaßnahmen müssen insbesondere auf die Beherrschung der Extreme, von Trockenperioden und Überschwemmungen etwa, ausgerichtet sein. Sicherheitsvorschriften, Regel- und Planungswerke für die verschiedenen Wirtschaftssektoren sind auf ihre Gültigkeit und Sinnhaftigkeit unter Klimawandelbedingungen zu prüfen.
 - Der Klimawandel wird nach heutigem Wissen in den Polarregionen und den semiariden Subtropen deutlich ausgeprägter sein als in Europa oder in Deutschland.
- Die Konsequenzen, die sich daraus für Deutschland, seine Gesellschaft und Wirtschaft ergeben, sind bisher nicht abschätzbar. Grundsätzlich ist weltweit mit einer Zunahme von Mitigations- und Adaptationsmaßnahmen zu rechnen, die gerade auch für Deutschland entsprechende Marktchancen eröffnen, aber auch Herausforderungen in der internationalen Klimapolitik und Entwicklungszusammenarbeit bergen.
- Anpassungsmaßnahmen müssen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Nachhaltigkeit systemisch und nicht nur sektoral geprüft werden. Ziel muss es sein, die Anpassung mit Fortschritten hin zur Nachhaltigkeit beziehungsweise zu einem nachhaltigen Wachstum zu verbinden.
 - Eine Tendenz zu Wanderungsbewegungen aufgrund der klimatischen Veränderungen, die Deutschland direkt betreffen, ist derzeit nicht zu erkennen.

Wissenschaft

- Der erwartete Klimawandel wird nahezu alle Wirtschaftssektoren, gesellschaftliche Gruppen, Naturräume und die Infrastruktur betreffen, allerdings in sehr unterschiedlichem Umfang. Beeinträchtigungen, mitunter aber auch Vorteile durch den Klimawandel können in den meisten Sektoren noch nicht quantifiziert werden. Dies legt ein systematisches Monitoring der klimatischen Veränderungen und ihrer Wirkungszusammenhänge nahe. Es sind besondere Anstrengungen erforderlich, um baldmöglichst belastbares, regionen- und sektorspezifisches Wissen zur Verfügung stellen zu können.
- In Wissenschaft und Bildung müssen Aspekte von Klimawandel und -anpassung stärker Berücksichtigung finden, etwa in der universitären und beruflichen Ausbildung. Lehrpläne sind entsprechend den neuesten Erkenntnissen anzupassen, übersektorale Themen und Lösungsansätze zu behandeln und zu vermitteln.

- Durch Klimaveränderungen können hitzestressbedingte negative Folgen für vulnerable Gruppen sowie Allergien vermehrt auftreten und sich Infektionserreger stärker verbreiten, speziell Erreger, die durch Vektoren wie Stechmücken übertragen werden. Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit sind im Hinblick auf präventive Maßnahmen zu untersuchen.
- Für die übrigen Sektoren erscheinen eher „evolutionäre Anpassungsstrategien“ ausreichend, die im Wesentlichen privatwirtschaftlicher Natur sind, über das Marktgeschehen erfolgen können und teilweise um staatliche „Hilfe zur Selbsthilfe“ ergänzt werden können.

Wirtschaft

- Anpassungen an den Klimawandel können in unterschiedlicher Weise und unterschiedlichen Zeiträumen in allen Sektoren notwendig sein. Ihre genauen Kosten sind bisher noch nicht abschätzbar. Sie bieten zwar viele Marktchancen für innovative Unternehmen, werden jedoch auch gesamtgesellschaftliche Finanzierungsmodelle erfordern.
- Die größten Anpassungserfordernisse bestehen für die Naturräume und für die mit Naturräumen gekoppelten Infrastrukturen und Wirtschaftszweige (Küstenschutz, Forst, Land-, Fischereiwirtschaft, Tourismus) sowie für die Stadtentwicklung. Hier sind aufgrund der langen Planungshorizonte frühzeitig strategische Adaptations- und Investitionsentscheidungen zu treffen, deren aktuelle Unsicherheiten verringert werden müssen.

Gesellschaft

- Für das Konzept der Adaptation muss geworben werden. Anpassungsmaßnahmen mit weitreichenderen Konsequenzen – etwa in der Entwicklung von Städten und Infrastrukturen, in der Land- und Forstwirtschaft oder in der Landnutzung – erfordern einen strukturierten Dialog von Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft unter Einbeziehung der relevanten Stakeholder, insbesondere regionaler Akteure.
- Die Fähigkeit unserer Gesellschaft und Wirtschaft zur Anpassung („adaptive capacity“) basiert auf ökonomischem Wohlstand, umfangreichem technologischen Know-how sowie funktionstüchtigen und entscheidungsstarken Institutionen. Wirtschaftliche Prosperität sowie Forschung und Entwicklung sind von zentraler Bedeutung für eine erfolgreiche Anpassungsstrategie, aber auch die notwendige Fähigkeit zur Veränderung.

LITERATUR

acatech 2011

acatech (Hrsg.): *Smart Cities. Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft. Aufgaben und Chancen* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 10.), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011.

acatech 2012

acatech (Hrsg.): *Geoessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

Albrecht et al. 2011a

Albrecht, F./Wahl, T./Jensen, J./Weisse, R.: "Determining sea level change in the German Bight". In: *Ocean Dynamics*, 61, 2011, S. 2037 – 2050.

Albrecht et al. 2011b

Albrecht, J./Gronwald, M./Karl, H. D./Pfeiffer, J./Röpke, L./Zimmer, M.: *Bedeutung der Energiewirtschaft für die Volkswirtschaft* (Ifo Forschungsberichte Nr. 50), ifo Institut für Wirtschaftsforschung: München 2011.

Appelrath et al. 2012

Appelrath, H.-J./Kagermann, H./Mayer, C. (Hrsg.): *Future Energy Grid. Migrationspfade ins Internet der Energie* (acatech STUDIE), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

BACC 2008

The BACC author team: *Assessment of Climate Change in the Baltic Sea Basin*. Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2008.

Barnett 2003

Barnett, J.: "Security and climate change". In: *Global Environmental Change* 13(1), 2003, S. 7 – 17.

Becker et al. 2007

Becker, P./Deuschländer, T./Namyslo, J./Kobmann, M./Sievers, U./Süßenguth, G./Tinz, B.: *Klimawandel und technische Klimatologie*, Deutscher Wetterdienst, Abteilungen für Klima- und Umweltberatung, Offenbach, Deutschland und Abteilung Seeschifffahrt, Hamburg 2007.

BÖR 2010

BioÖkonomieRat (BÖR): *Gutachten des BioÖkonomieRats 2010: Innovation Bioökonomie*, Berlin 2010.

Bray/von Storch 2009

Bray, D./von Storch, H.: "Prediction' or 'Projection'? The nomenclature of climate science". In: *Science. Communication*. 30, 2009, S. 534 – 543.

Bundesregierung 2008

Bundesregierung: *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel* (Drucksache 16/11595 des Deutschen Bundestages vom 19.12.2008), Berlin 2008.

Bundesregierung 2011

Bundesregierung: *APA Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel* (Drucksache 17/6550 des Deutschen Bundestages vom 7.09.2011), Berlin 2011.

Endlicher/Gerstengarbe 2010

Endlicher, W./Gerstengarbe, F.-W.: *Continents under climate change* (Nova Acta Leopoldina N.F., Bd. 112, Nr. 384), Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2010.

Funtowicz/Ravetz 1985

Funtowicz, S.O./Ravetz, J.R.: "Three types of risk assessment: a methodological analysis". In: Whipple, C./Covello, V.T. (Hrsg.): *Risk Analysis in the Private Sector*, New York, Plenum, 1985, S. 217 – 231.

Gebhardt/Kumke/Hansjürgens 2011

Gebhardt, O./Kumke, S./Hansjürgens, B.: *Kosten der Anpassung an den Klimawandel – Eine ökonomische Analyse ausgewählter Sektoren in Sachsen-Anhalt. UFZ-Bericht 05/2011*, Leipzig 2011.

Gemenne 2010

Gemenne, F.: "Migration as a possible adaptation strategy?". In: *Synthèses*, 3, Paris: Institut du Développement Durable et des Relations Internationales 2010.

Heuson et al. 2012

Heuson, C./Gawel, E./Gebhardt, O./Hansjürgens, B./Lehmann, P./Meyer, V./Schwarze, R.: *Ökonomische Grundfragen der Klimaanpassung. Umriss eines neuen Forschungsprogramms. UFZ-Bericht 1/2012*, Leipzig 2012.

Hofstede 2011

Hofstede, J.: "Climate Change and the Need for Integrated Coastal Risk Management in the Baltic Sea". In: Schernewski, G./Hofstede, J./Neumann, T. (Hrsg.): *Global Change and Baltic Coastal Zones* (Coastal Research Library 1), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011, S. 93 – 102.

Hutter et al. 2012

Hutter, G./Müller, B./Röbber, S./Herlitzius, L.: „Räumliche Planung und Klimaanpassung – Steuerung durch informelle Prozesse oder Verankerung in Plänen.“ In: Mohammadzadeh, M./Chrischilles, E. (Hrsg.): *Klimaanpassung als Herausforderung für die Stadt- und Regionalplanung*, Köln 2012.

Interagency Working Group 2010

The Interagency Working Group on Climate change and Health: *A Human Health Perspective On Climate Change*, 2010. URL: www.niehs.nih.gov/climate-report [Stand: 13.06.2012].

Kolev et al. 2012

Kolev, A./Riess, A./Zachmann, G./Calthrop, E.: *Investment and Growth in the Time of Climate Change*. Published by BRUEGEL on behalf of the European Investment Bank, Brüssel 2012.

Konrad/Thum 2012

Konrad, K./Thum, M., 2012: *The Role of Economic Policy in Climate Change Adaptation* (European Investment Bank Working Paper No. 2), Luxemburg 2012.

Lenton et al. 2008

Lenton, T. M./Held, H. et al.: "Tipping elements in the Earth's climate system." In: *Proceedings of the National Academy of Science (USA)* 105(6), 2008, S. 1786 – 1793.

Mahammadzadeh/Biebeler/Bardt 2009

Mahammadzadeh, M./Biebeler, H./Bardt, H. (Hrsg.): *Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen. Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele*, Köln 2009

McLeman/Hunter 2010

McLeman, R. A./Hunter L. M.: "Migration in the context of vulnerability and adaptation to climate change: insights from analogues". In: *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1, 2010, S. 450 – 461.

Michelozzi et al. 2009

Michelozzi, P./Accetta, G. et al.: "High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities". In: *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 179(5), 2009, S. 383 – 389.

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus MV 2008

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Landes Mecklenburg-Vorpommern: *Studie aufgrund des Landtagsbeschlusses vom 29.3.2007. Klimaschutz und Folgen des Klimawandels in Mecklenburg-Vorpommern*, 2008. URL: http://www.regierungmv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/wm/Themen/Energieland_2020/Erste_Studie_zum_Klimawandel_in_MV/index.jsp?&publikid=1239 [Stand: 13.06.2012].

Myers 2002

Myers, N.: "Environmental refugees: a growing phenomenon of the 21st century". In: *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, 357, 2002, S. 609–613.

Myers 2005

Myers, N.: *Environmental refugees: an emergent security issue* (13th Economic Forum), Prague 23–27 May 2005.

Nordås/Gleditsch 2007

Nordås, R./Gleditsch, N. P.: "Climate change and conflict". In: *Political Geography*, 26(6), 2007, S. 627–638.

Pindyck 1988

Pindyck, R.: "Irreversible investment, capacity choice, and the value of the firm". In: *American Economic Review*, 78(5), 1988, S. 969–985.

Pindyck 2002

Pindyck, R.: "Optimal timing problems in environmental economics". In: *Journal of Economic Dynamics & Control*, 26, 2002, S. 1677–1697.

Reise/Oelerich 2007

Reise, K./Oelerich, J.: „Land aufgeben zum Schutz der Küste?“. In: *Nordfriesland* 159, 2007, S. 23–26.

Renaud et al. 2007

Renaud, F./Bogardi, J. J./Dun, O./Warner, K.: "Control, adapt or flee. How to face environmental migration?". In: *InterSecTions*, 5, Bonn: United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS) 2007.

Robine et al. 2008

Robine, R. M./Cheung, S. L. K./Le Roy, S./Van Oyen, H./Griffiths, C./Michel, J-P./Herrmann, F.R.: "Death toll exceeded 70,000 in Europe during summer of 2003". In: *Comptes Rendus Biologies* 331(2), 2008, S. 171–178.

Rothstein et al. 2008

Rothstein B./Müller U./Greis S./Scholten A./Schulz J./Nilson E.: „Auswirkungen des Klimawandels auf die Elektrizitätsproduktion unter besonderer Berücksichtigung des Aspekts Wasser“. In: *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, Heft 24, 2008, S. 193–214.

Royal Academy of Engineering 2011

Royal Academy of Engineering: *Infrastructure, Engineering and Climate Change Adaptation – ensuring services in an uncertain future*, London 2011.

Russel 1995

Russel, S.: "International migration: implications for the World Bank". In: *Human Resources Development and Operations Policy Working Papers* No. 54, Washington: World Bank 1995.

Schelling 1992

Schelling, T. C.: "Some economics of global warming". In: *American Economic Review*, 82(1), 1992, S. 1–14.

Schwartz 1991

Schwartz, P.: *The art of the long view*, Hoboken: John Wiley & Sons 1991.

Stehr/von Storch 2009

Stehr, N./von Storch, H.: „Klimaschutz und Vorsorge“. In: *forum* 291, 2009, S. 21 – 24.

Stern 2006

Stern, N.: „The Economics of Climate Change“ In: *Stern Review*, London: HM Treasury 2006.

Umweltbundesamt 2011 a

Umweltbundesamt (Hrsg.): *Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel. Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Climate Change 19/2011*, Dessau-Roßlau 2011.

Umweltbundesamt 2011 b

Umweltbundesamt (Hrsg.): *Themenblatt: Anpassung an Klimaänderung in Deutschland. Energiewirtschaft*, Berlin 2011.

van Andel 1994

van Andel, T.: *New views on an old planet: A history of global change*. Cambridge u. a.: Cambridge University Press 1994 (2nd edition), S. 439 ff.

von Lieberman 2010

von Lieberman, N.: „Technische Potenziale zur Anpassung an den Klimawandel“. In: von Storch, H./Claussen, M./KlimaCampus Autoren Team (Hrsg.): *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*, Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2010.

von Storch 2009

von Storch, H.: „Klimaforschung und Politikberatung – zwischen Bringschuld und Postnormalität“. In: *Leviathan, Berliner Zeitschrift für Sozialwissenschaften* 37, 2009, S. 305 – 317.

von Storch et al. 2008

von Storch, H./Gönnert, G./Meine, M.: „Storm surges – an option for Hamburg, Germany, to mitigate expected future aggravation of risk“. In: *Environmental Science & Policy* 11, 2008, S. 735 – 742.

Wachsmuth et al. 2012

Wachsmuth, J./Gleich, A./von, Gößling-Reisemann, S./Lutz-Kunisch, B./Stührmann, S.: „Sektorale Vulnerabilität: Energiewirtschaft“. In: Schuchardt, B.; Wittig, S. (Hrsg.): *Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel (Synthesebericht) (nordwest2050-Berichte 2)*, Bremen/Oldenburg 2012, S. 95 – 112.

Wechsung/Becker/Gräfe 2005

Wechsung, F./Becker, A./Gräfe, P. (Hrsg.): *Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet*, Berlin: Weißensee Verlag 2005.

Weimann 2012

Weimann, J.: *Wie sinnvoll ist der klimapolitische Alleingang Deutschlands?* (Vortrag auf dem Rundgespräch bei der Bayerischen Akademie zum Thema: Die Zukunft der Energieversorgung, Atomausstieg, Versorgungssicherheit und Klimawandel), 2012.

Weisse 2010

Weisse, R.: „Das Klima der Region und mögliche zukünftige Änderungen in der Deutschen Bucht“. In: von Storch, H./Claussen, M./KlimaCampus Autoren Team (Hrsg.): *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg*, Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2010.

Weisse et al. 2011

Weisse, R./von Storch, H./Niemeyer, H.-D./Knaack, H.: „Changing North Sea storm surge climate: An increasing hazard?“. In: *Ocean & Coastal Management*, 2011.

Wissenschaftlicher Beirat beim BMF 2010

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium der Finanzen (BMF): *Klimapolitik zwischen Emissionsvermeidung und Anpassung*, 2010.

Zehaie 2009

Zehaie, F.: "The timing and strategic role of self-protection". In: *Environmental & Resource Economics*, 44(3), 2009, S. 337 – 350.

> BISHER SIND IN DER REIHE acatech POSITION UND IHRER VORGÄNGERIN acatech BEZIEHT POSITION FOLGENDE BÄNDE ERSCHIENEN:

acatech (Hrsg.): *Die Energiewende finanzierbar gestalten. Effiziente Ordnungspolitik für das Energiesystem der Zukunft* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Menschen und Güter bewegen. Integrative Entwicklung von Mobilität und Logistik für mehr Lebensqualität und Wohlstand* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Biotechnologische Energieumwandlung in Deutschland. Stand, Kontext, Perspektiven* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch als Kurzfassung erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Mehr Innovationen für Deutschland. Wie Inkubatoren akademische Hightech-Ausgründungen besser fördern können* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Ansätze und Voraussetzungen für eine integrierte Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Future Energy Grid. Informations- und Kommunikationstechnologien für den Weg in ein nachhaltiges und wirtschaftliches Energiesystem* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Den Ausstieg aus der Kernkraft sicher gestalten. Warum Deutschland kerntechnische Kompetenz für Rückbau, Reaktorsicherheit, Endlagerung und Strahlenschutz braucht* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Smart Cities. Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft* (acatech bezieht Position, Nr. 10), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen* (acatech bezieht Position, Nr. 9), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Nanoelektronik als künftige Schlüsseltechnologie der IKT in Deutschland* (acatech bezieht Position, Nr. 8), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Leitlinien für eine deutsche Raumfahrtspolitik* (acatech bezieht Position, Nr. 7), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann* (acatech bezieht Position, Nr. 6), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2010.

acatech (Hrsg.): *Intelligente Objekte – klein, vernetzt, sensitiv* (acatech bezieht Position, Nr. 5), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009.

acatech (Hrsg.): *Strategie zur Förderung des Nachwuchses in Technik und Naturwissenschaft. Handlungsempfehlungen für die Gegenwart, Forschungsbedarf für die Zukunft* (acatech bezieht Position, Nr. 4), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland. Empfehlungen zu Profilbildung, Forschung und Lehre* (acatech bezieht Position, Nr. 3), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: www.acatech.de

acatech (Hrsg.): *Innovationskraft der Gesundheitstechnologien. Empfehlungen zur nachhaltigen Förderung von Innovationen in der Medizintechnik* (acatech bezieht Position, Nr. 2), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007.

acatech (Hrsg.): *RFID wird erwachsen. Deutschland sollte die Potenziale der elektronischen Identifikation nutzen* (acatech bezieht Position, Nr. 1), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.

> **acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN**

acatech vertritt die Interessen der deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu erleichtern und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um die Akzeptanz des technischen Fortschritts in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft deutlich zu machen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten aus Industrie, Wissenschaft und Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland; das Präsidium, das von den Akademiemitgliedern und vom Senat bestimmt wird, lenkt die Arbeit. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de

> **DIE REIHE acatech POSITION**

In dieser Reihe erscheinen Positionen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Die Positionen enthalten konkrete Handlungsempfehlungen und richten sich an Entscheidungsträger in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie die interessierte Öffentlichkeit. Die Positionen werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.