

Mahammad Mahammadzadeh / Esther Chrischilles /
Hendrik Biebeler

Klimaanpassung in Unternehmen und Kommunen

Betroffenheiten, Verletzlichkeiten und
Anpassungsbedarf

Mahammad Mahammadzadeh / Esther Chrischilles /
Hendrik Biebeler

Klimaanpassung in Unternehmen und Kommunen

Betroffenheiten, Verletzlichkeiten und
Anpassungsbedarf

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek.

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

ISBN 978-3-602-14904-9 (Druckausgabe)

ISBN 978-3-602-45522-5 (E-Book|PDF)

Die Studie wurde gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Fördermaßnahme „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“.

Herausgegeben vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln

Grafik: Dorothe Harren

© 2013 Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH

Postfach 10 18 63, 50458 Köln

Konrad-Adenauer-Ufer 21, 50668 Köln

Telefon: 0221 4981-452

Fax: 0221 4981-445

iwmedien@iwkoeln.de

www.iwmedien.de

Druck: Hundt Druck GmbH, Köln

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Problemstellung	5
1.2	Gang der Untersuchung	8
2	Globaler und regionaler Klimawandel	9
2.1	Modelle und ihre Annahmen	9
2.2	Erwartete Klimaveränderungen	12
3	Regionen im Klimawandel	17
3.1	Regional Governance und Bedeutung von Akteuren	17
3.2	Verletzlichkeit und Betroffenheit	18
3.3	Integrative Strategien von Klimaschutz und Klimaanpassung	26
3.4	Anpassungsmaßnahmen	30
4	Klimaanpassung als mehrdimensionales Entscheidungsproblem	34
4.1	Anpassungszeit	34
4.2	Anpassungskosten	37
4.3	Anpassungsträger	42
5	Untersuchungsdesign	46
5.1	Befragungsdesign	46
5.2	Beschreibung der Stichproben	48
6	Unternehmen und Gemeinden im Klimawandel	54
6.1	Unternehmen	54
6.1.1	Stellenwert des Klimawandels in Unternehmen	54
6.1.2	SWOT-Analyse der Wertschöpfungskette	64
6.1.3	Betroffenheit der Unternehmen durch den Klimawandel	75
6.2	Gemeinden	86
6.2.1	Stellenwert des Klimawandels in Gemeinden	87
6.2.2	Klimawissen der Gemeinden	89
6.2.3	Betroffenheit der Gemeinden durch den Klimawandel	91
7	Verletzlichkeitsanalyse	105
7.1	Methodik	105
7.2	Verletzlichkeit der Unternehmen	110
7.3	Verletzlichkeit der Gemeinden	121

8	Klimaanpassung: Status quo und Bedarf	134
8.1	Klimaanpassung in Unternehmen	134
8.1.1	Maßnahmenanalyse	134
8.1.2	Anpassungshemmnisse der Unternehmen	139
8.1.3	Anpassungsbedarf der Unternehmen	143
8.2	Klimaanpassung in Gemeinden	151
8.2.1	Stand der Klimaanpassung	152
8.2.2	Anpassungsmotive und -hemmnisse der Gemeinden	157
8.2.3	Anpassungsbedarf der Gemeinden	163
9	Schlussfolgerungen und Ausblick	170
	Literatur	175
	Kurzdarstellung	183
	Abstract	184
	Die Autoren	185

1

Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Menschen beginnen zu begreifen, dass sich das Klima wandeln wird – dass sie selbst dazu beitragen und dass sie auch davon betroffen sein werden. Sie selbst, das heißt die eigene Person, Menschen in der Nachbarschaft, in der Region, in anderen Teilen der Welt und künftige Generationen. Dies bedeutet zweierlei: Wir müssen versuchen, das Ausmaß des Klimawandels zu begrenzen, und wir müssen auch Vorsorge treffen, um für einen sich verstärkenden Klimawandel gerüstet zu sein. Denn nach allem, was wir wissen, reicht schon der bislang durch menschliche Aktivitäten verursachte Ausstoß an Treibhausgasen aus, um den Prozess des Klimawandels für Jahrzehnte in Gang zu halten. Neue Erkenntnisse sprechen für einen schnelleren Klimawandel als im mittleren Bereich bisheriger Projektionen errechnet, und sie stufen zugleich die Gefährdungen wichtiger Komponenten des natürlichen Erdsystems größer ein als bislang angenommen.

Damit ist der Ausgangspunkt für alle weiteren Aktivitäten genannt: Zunächst gilt es, die Veränderungen im Klimasystem zu verstehen und mithilfe von Modellen zu simulieren, welche Veränderungen in Zukunft bei erwartbaren Treibhausgasemissionen auftreten werden. Nach dem Verständnis des globalen Klimasystems schließt sich die Frage an, welche Änderungen regional und lokal wahrscheinlich sind und welche Folgen sich aus den Veränderungen in Temperatur, Niederschlägen, Sonneneinstrahlung und weiteren Ausgangsklimagrößen ergeben, etwa für den Grundwasserspiegel, für die Flusspegel oder für das Pflanzenwachstum. Hier steigt der Wert von Untersuchungsergebnissen mit dem Grad ihrer räumlichen Auflösung.

Auf dieser Grundlage lässt sich folgern, welche Konsequenzen dies alles für den Menschen hat, beispielsweise für die landwirtschaftlichen Erträge, für die Gefährdung der Infrastruktur durch Hochwasser und Stürme oder für das menschliche Wohlbefinden in heißen Sommern. Sich einerseits hiergegen zu wappnen und andererseits aus günstigen Gelegenheiten auch Vorteile zu ziehen heißt, sich an den Klimawandel anzupassen. Der Zwischenstaatliche Ausschuss zu Klimaänderungen – oder in der Mediensprache: der Weltklimarat – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) definiert Anpassung an den Klimawandel als „adjustment in natural or human systems in response to actual or expected climatic stimuli or their effects, which

moderates harm or exploits beneficial opportunities“ (IPCC, 2001). In vier Punkten steht diese Definition für ein weites Verständnis der Anpassung. Es kann

- um die Natur und um den Menschen gehen (etwa Wälder und Städte),
- um gegenwärtige wie künftige Klimaänderungen,
- um diese Änderungen selbst und um ihre Folgen (beispielsweise andere Niederschlagsverteilungen und damit andere Flusspegel) und
- sowohl um Chancen als auch um Risiken.

Die klimatischen Stimuli schließen zudem Veränderungen in der Breite – wie trockenere Sommer – und solche in engen zeitlichen und räumlichen Grenzen – wie vermehrte Starkniederschläge in insgesamt trockeneren Sommermonaten – ein. Vereinfachend wird in der vorliegenden Veröffentlichung auch von „Klimaanpassung“ gesprochen. Damit ist die Anpassung an den Klimawandel gemeint und nicht die Anpassung des Klimas an irgendwelche Bedürfnisse.

Klimafolgen können für den Menschen positiv wie negativ sein. Im stärker beachteten negativen Fall können sie unterschiedlich gravierend ausfallen. Möglicherweise entsteht eine tragbare Kostenbelastung; im schlimmsten Fall geht es um irreversible Schäden mit weitreichenden Auswirkungen. Nach der Feststellung von Gefährdungen und Potenzialen ist zu prüfen, welche effektiven Maßnahmen getroffen werden können. Beispielsweise ist zu klären, welche Küsten- und Binnendeiche zu erhöhen sind, wie sich Stromleitungen, Straßen und Bahnstrecken vor Stürmen und vor umknickenden Bäumen schützen lassen, aber auch, wie sich längere Vegetationsperioden in der Land- und der Forstwirtschaft oder wie sich bessere Bedingungen für den Sommertourismus nutzen lassen. Nun stehen praktische Fragen im Raum: Wer kann und soll das machen, wann sollte gehandelt werden und welche Kosten sind damit verbunden? Diese Kosten können mit den erwarteten Schadenskosten verglichen werden. Im Fall der Chancennutzung steht eine klassische Investitionsentscheidung an: Versprechen Maßnahmen eine positive Rendite, die höher ist als die von alternativen Investitionsprojekten?

Klimaschutz und Klimaanpassung verfolgen unterschiedliche Ziele. Sie unterscheiden sich zudem stark in ihren Wirkungen. Klimaschutz, also die Verminderung des Treibhauseffekts, wirkt immer global. Klimaanpassung schützt einen begrenzten Raum oder dient einem begrenzten Personenkreis. Von den Konsequenzen des Klimaschutzes kann man niemanden ausschließen: die nicht, die entsprechende Beiträge verweigern, und auch nicht jene, die vom Klimawandel profitieren, da sie etwa in polaren oder subpolaren

Gegenden leben. Außerdem verringern sich diese Effekte nicht, nur weil auch andere von ihnen betroffen sind. Klimaschutz ist also ein globales Kollektivgut (Olson, 1969). Klimaanpassung dagegen nutzt einem Hausbesitzer oder einem Hausbewohner oder einem Unternehmen oder einer Kommune, ist also entweder ein privates Gut oder ein Clubgut (Bardt, 2005). Eine für höhere Windlasten ausgelegte Anlage schützt nur diese eine Anlage und nicht zugleich alle übrigen. Überschneidungen zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung sind dennoch möglich, da Maßnahmen mehr als eine Folge haben können. Das klassische Beispiel der Gebäudeisolierung, die im Winter wie im Sommer die für eine angenehme Temperierung benötigte Energie senkt oder das Wohlbefinden steigert, dient dem Klimaschutz wie der Anpassung. Sie stiftet sowohl auf globaler wie auf individueller Ebene Nutzen. Anders ist es bei Eindeichungen. Diese schützen zumeist ganze Siedlungen und Anlagen, bleiben aber in dieser Funktion lokal oder regional beschränkt. In einem weiteren Beispiel hat es Auswirkungen auf das Mikroklima und somit auch auf umliegende Nutzer, ob Flächen bebaut, versiegelt oder bewachsen sind oder eine Wasseroberfläche aufweisen. Es gibt hier also externe Effekte kommunaler oder privater Entscheidungen. In diesen Fällen der Klimaanpassung sind Akteur und Nutznießer nicht identisch, sodass sich die Frage stellt, ob und wie eine Steuerung durch eine übergeordnete Instanz vorgenommen werden sollte.

Akteure der Klimaanpassung sind Privatpersonen, Unternehmen und Kommunen. Sie müssen sich mit bestehenden und gegebenenfalls zu modifizierenden Strukturen und mit den verfügbaren Ressourcen auf die neuen Herausforderungen einstellen. Kommunen und Unternehmen sind die wichtigsten Entscheidungsträger für die Anpassung an den Klimawandel auf lokaler und regionaler Ebene. Sie bilden die zentralen Untersuchungsgegenstände in der vorliegenden Analyse.

In dieser Arbeit steht die vorausschauende oder antizipatorische Anpassung im Vordergrund. Thematisiert werden Maßnahmen in Voraussicht auf die erwarteten Klimaveränderungen (Smit/Pilifosova, 2001). Aber auch Maßnahmen in Reaktion auf Extremwetterereignisse der Vergangenheit, die mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht werden, sind ein Teil dieser Untersuchung.

Die vorliegende Analyse zeigt anhand der Antworten von Vertretern aus Unternehmen und Kommunen in standardisierten Befragungen, welche direkten und indirekten Wirkungen des fortschreitenden Klimawandels und welche damit verbundenen Herausforderungen und Chancen sie wahrnehmen

und wie sie sich diesen Veränderungen stellen können. Die Untersuchung gibt auch Hinweise auf den Stand der Anpassung in Unternehmen sowie in der kommunalen Verwaltung und zeigt weiteren Bedarf an Informationen, Bewertungen und Handlungsoptionen auf.

1.2 Gang der Untersuchung

Nach diesen Vorbemerkungen beginnt die Untersuchung im Kapitel 2 mit einer Darstellung der Klimamodelle und Klimaprojektionen, welche den Ausgangspunkt der Analyse des Anpassungsbedarfs bilden. Diese Beschreibung beruht dabei vor allem auf den Szenarioprozessen des IPCC. Es werden die wesentlichen Modellzusammenhänge und die wichtigsten Klimawirkungen vorgestellt.

Kapitel 3 zeigt, inwiefern die Anpassung an den Klimawandel als ein Problem der regionalen Steuerung aufgefasst werden kann und welche Potenziale der regionale Ansatz birgt. Die theoretischen Verhältnisse zwischen der Exponiertheit gegenüber dem Klimawandel, der Klimaempfindlichkeit (Sensitivität) und der Verletzlichkeit (Vulnerabilität) sowie der Anpassungsfähigkeit (Anpassungskapazität) werden im Weiteren erläutert. Der Zusammenhang zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung wird diskutiert. Ferner wird das Spektrum der Anpassung an den Klimawandel dargestellt.

In Kapitel 4 werden Entscheidungen zur Anpassung an den Klimawandel entlang der Parameter Anpassungszeit, Anpassungskosten sowie Träger und Nutzer der Anpassung strukturiert.

Kapitel 5 beschreibt das vor diesem Hintergrund gewählte Befragungsdesign, das einer Befragung von Entscheidungsträgern in Unternehmen und Gemeinden in Deutschland zugrunde liegt. Das Kapitel gibt ferner einen Überblick über die beiden realisierten Stichproben.

In Kapitel 6 wird dargelegt, welche Bedeutung der Klimawandel in Unternehmen und Kommunen hat und wie er aufgegriffen wird. Dabei werden zunächst die wahrgenommenen und erwarteten Betroffenheiten durch Klimaveränderungen und Klimafolgen herausgearbeitet. Anhand dessen werden Chancen und Risiken sowie Stärken und Schwächen der Unternehmen und Gemeinden analysiert.

In Kapitel 7 werden Verletzlichkeitsanalysen für Unternehmen und Gemeinden durchgeführt. Nach der Beschreibung der angewendeten Methodik werden zunächst die Anpassungskapazitäten erläutert. In den Verletzlichkeitsanalysen wird die wahrgenommene negative Betroffenheit durch den Klimawandel den Anpassungskapazitäten gegenübergestellt, die zum Umgang

mit den Betroffenheiten zur Verfügung stehen. Auf dieser Basis lassen sich unterschiedliche Verletzlichkeitssituationen der Unternehmen und Kommunen aufzeigen und im Rahmen eines Portfolios visualisieren.

Kapitel 8 stellt den Anpassungsbedarf dar und nennt mögliche Anpassungsmaßnahmen. Der Anpassungsbedarf wird im Zusammenhang mit den negativen Betroffenheiten von Unternehmen und Gemeinden betrachtet.

Im Abschlusskapitel werden Schlussfolgerungen aus den vorgenommenen Analysen gezogen und ein Ausblick in die weitere Erforschung der Anpassung an den Klimawandel gegeben.

2

Globaler und regionaler Klimawandel

2.1 Modelle und ihre Annahmen

Aussagen über die künftigen Veränderungen des Klimas und ihre Begleiterscheinungen sind die Grundlage jeder vorausschauenden Anpassung an den Klimawandel. Bereits Aussagen zum gegenwärtigen Klima gehen über schlichte Beobachtungen des aktuellen Wetters hinaus, da in der Meteorologie unter Klima das über 30 Jahre gemittelte Wetter verstanden wird. Verschiebt sich der Zeithorizont auf die Zukunft, werden Vorhersagemodelle benötigt. Deren Leistungsfähigkeit kann an Klimadaten der Vergangenheit getestet werden. Dabei führen systematische Fehler allerdings nicht zu einer sofortigen Verwerfung eines Modells. Vielmehr werden sie zur Entwicklung von Korrekturmodellen herangezogen.

Klimamodelle können sehr viele Komponenten und Beziehungen enthalten (Jacobbeit, 2007). In ihrer wachsenden Komplexität und in einer immer höheren räumlichen Auflösung liegt der Fortschritt der Klimamodelle. Die Resultate aus den Klimamodellen hängen jedoch ebenso von den eingespeisten Daten ab, für die ihrerseits Modelle erstellt werden müssen. Hier verwenden die Naturwissenschaftler Szenarien zu künftigen sozialen, politischen und wirtschaftlichen Entwicklungen, die ihnen von Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlern zur Verfügung gestellt werden. Diese Szenarien enthalten Daten zum Ausstoß von Treibhausgasen in den kommenden Jahrzehnten, jedoch auch zur Landnutzung, also zu den Anteilen von Siedlungsflächen, Weiden, Äckern, Wäldern und Ödland sowie von Wasser, Schnee

und Eis. Die Szenarien können auch Reaktionen des Menschen auf den wahrgenommenen Klimawandel in Form von Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel einbeziehen. Mit dem Ausmaß, in dem solche Wechselwirkungen berücksichtigt werden, steigen der Integrationsgrad der Modelle und die Herausforderungen an den Bau von Modellsystemen. Zwar gibt es Theorien zur weiteren gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung der Welt. Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler werten die Prognosegüte ihrer Modelle aber wesentlich zurückhaltender, als dies Naturwissenschaftler bezüglich ihrer Modelle tun. Aus diesem Grund versucht man, eine Mehrzahl von denkbaren und in sich konsistenten Entwicklungspfaden zu beschreiben. Diese Szenarien sollten ein breites Spektrum an möglichen Entwicklungen vor allem im Hinblick auf die Emission von Treibhausgasen abdecken (Moss et al., 2010).

In der vom IPCC bewerteten und zusammengefassten Forschung hat sich die Diskussion in den letzten Jahren auf sieben Szenariofamilien verdichtet (IPCC, 2000). Die Reihe beginnt mit einer klimafreundlichen Entwicklung im sogenannten B1-Szenario mit einer Erderwärmung um 1,8 Grad Celsius und einem Meeresspiegelanstieg von rund 24 Zentimetern zum Ende des Jahrhunderts. Sie endet bei dem klimafeindlichen A1FI-Szenario mit einem Temperaturanstieg von etwa 4 Grad Celsius und einer Erhöhung des Meeresspiegels um etwa 43 Zentimeter im selben Zeitraum (IPCC, 2008, 50). Besonders häufig verwenden Forscher und Nutzer das mittlere A1B-Szenario. In diesem Szenario ergeben sich eine Temperaturzunahme von 2,8 Grad Celsius und ein Meeresspiegelanstieg von 35 Zentimetern.

Für die Klimaforscher ist dabei die Zunahme der Konzentration von Treibhausgasen in der Luft entscheidend. Temperaturerhöhung und Meeresspiegelanstieg sind zwei zentrale Folgen der Emissionen. Vermittelnd zwischen der Konzentration von Treibhausgasen und der Temperatur ist der sogenannte Strahlungsantrieb des Treibhauseffekts. Das ist die Strahlungsenergie, die pro Zeit und Fläche durch die bodennahe Atmosphäre hindurchkommt. An dem Verlauf dieses Strahlungsantriebs ist die neue Generation von Szenarien orientiert, die derzeit für den Bericht des IPCC vorbereitet wird, der 2014 vorgelegt werden soll. Im Zentrum stehen vier sogenannte repräsentative Konzentrationswege (Representative Concentration Pathway – RCP), anhand welcher die politischen Klimaschutzziele diskutiert werden können. Die Vorgehensweise bei der Erstellung der neuen Modellfamilien unterscheidet sich von der bisherigen unter anderem in der simultanen Berücksichtigung der Teilmodelle (Imbery/Plagemann, 2011). Den derzeit noch verwendeten

Modellen liegt eine Aneinanderreihung ohne Rückkopplungen zugrunde. Durch die Neuerung wird in einem deutlich stärkeren Maße der Anforderung nach interner Konsistenz Rechnung getragen.

Die vier RCPs können wie folgt charakterisiert werden (Vuuren et al., 2011): Das optimistische Modell „IMAGE“ basiert auf der Annahme sehr geringer Emissionen und geringer Luftverschmutzung. Es erreicht in diesem Jahrhundert den maximalen Strahlungsantrieb von 3,1 Watt pro Quadratmeter und verringert sich bis zum Jahr 2100 auf 2,6 Watt pro Quadratmeter (RCP 2.6). Das zweitoptimistischste Modell „GCAM“ (Global Change Assessment Model) mit weniger Klimaschutz und mittlerer Luftverschmutzung erreicht seine Stabilisierung von 4,5 Watt pro Quadratmeter erst nach der Jahrhundertwende. Noch weniger optimistisch ist das Modell „AIM“ mit einer Maximalstrahlung von 6 Watt pro Quadratmeter. Für hohe Emissionen an Treibhausgasen und Partikeln steht schließlich das pessimistischste Modell „MESSAGE“, das im Jahr 2100 eine Strahlungsintensität von 8,5 Watt pro Quadratmeter überschreiten wird und für das keine Stabilisierung berechnet wurde. Diesen Modellen sind zwar bereits Treibhausgaskonzentrationen zugeordnet, nicht jedoch Temperaturen. Hierzu fehlen die Berechnungen unter Verwendung der sozioökonomischen Szenarien.

Zu diesen sozioökonomischen Szenarien gibt es bereits eine grundlegende Übereinkunft (Arnell/Kram, 2011). Fünf geteilte sozioökonomische Bezugspfade (Shared Socio-economic Pathway – SSP) werden anhand der Kombinationsmöglichkeiten aus hohem und niedrigem Klimaschutz und starker und geringer Klimaanpassung festgelegt, mit einem mittleren Szenario für beide Dimensionen. Es gibt Analogien zu den bisherigen Szenarien. Eine sich wirtschaftlich, technisch und gesellschaftlich weiterentwickelnde Welt mit starken klimapolitischen Zielen (SSP1) ermöglicht einen hohen Klimaschutz sowie eine hohe Anpassung an den Klimawandel und hat Entsprechungen zum optimistischen B1-Szenario. Das ungünstigste Szenario (SSP3) steht für ein starkes Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum bei geringem technischen Fortschritt und ähnelt dem wenig klimafreundlichen A2-Szenario.

Auch das Vorgehen bei der Regionalisierung der Daten für Deutschland wird sich ändern. In der Vergangenheit wurden für Deutschland mehrere Regionalisierungsmodelle für ein und dasselbe globale Klimamodell berechnet, jeweils mit mehreren Läufen, das heißt mit verschiedenen Startjahren. Künftig sollen diese Regionalisierungsmodelle auf mehrere Globalmodelle angewandt werden, sodass es Ergebnisse aus noch unterschiedlicheren Modellierungen geben wird.

Es deutet viel darauf hin, dass die pessimistischeren Szenarien der tatsächlichen Emissionsentwicklung am nächsten kommen. Das nach wissenschaftlichen Vorgaben gesteckte Ziel, im Vergleich mit dem vorindustriellen Niveau die Erderwärmung unter 2 Grad Celsius zu halten, dürfte verfehlt werden. Die Emissionen wuchsen im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts weiter, und zwar vom Jahr 2005 bis zur Finanz- und Wirtschaftskrise auf dem Niveau des ungünstigen A1FI-Szenarios (Peters et al., 2012). Allein im Jahr 2009 sanken nach dem jetzigen Kenntnisstand die globalen Treibhausgasemissionen. Dabei unterschritten sie das mittlere A1B-Szenario. Die deutsche Entwicklung, die seit Jahren fallende Zahlen verzeichnet (UBA, 2012, 57), gilt weder für die Industriestaaten allgemein noch für die Welt als Ganzes. Die globalen Kohlendioxidemissionen aus Verbrennungsprozessen, die einen wesentlichen Teil der Treibhausgasemissionen darstellen, lagen nach Berechnungen der Internationalen Energieagentur im Jahr 2010 um 5 Prozent höher als 2008, also unmittelbar vor der Krise (IEA, 2011).

2.2 Erwartete Klimaveränderungen

In der Zukunft der Klimamodellierer bestehen keine grundlegenden Zweifel am anthropogenen, das heißt vom Menschen verursachten Klimawandel. Unsicherheiten gibt es aber bezüglich vieler Inhalte von Klimaprojektionen. Diese Unsicherheiten sind besonders groß, wenn Aussagen über

- Niederschläge,
- kleinräumige Ereignisse oder
- enge Zeitintervalle

gemacht werden. Grundsätzlich ist es immer fragwürdig, von einzelnen, wenn auch in ihrem Ausmaß besonders hervortretenden oder in ihrer lokalen Erscheinung neuartigen Ereignissen auf den Fortgang des Klimawandels zu schließen. Eine weitere Unsicherheit wird in den sogenannten Kipppunkten gesehen (Mäder, 2008). Dies sind vom Klimawandel ausgelöste Ereignisse, die ihrerseits groß dimensionierte Folgen in Gang setzen. Beispiele dafür wären eine Abschwächung des Golfstroms, der für das vergleichsweise milde Klima in Europa verantwortlich ist, oder ein Auftauen des sibirischen Permafrostbodens, welches große Mengen gespeicherten Methans freisetzen und damit den Treibhauseffekt erheblich verstärken würde.

Die Temperaturen werden nicht überall in dem gleichen Maße steigen wie in den szenariospezifischen Bandbreiten wiedergegeben. Über den temperatenausgleichenden Meeren wird die Erhöhung geringer ausfallen als auf dem Land (Meehl et al., 2007, 767). Mehr als doppelt so stark wie im Durchschnitt

dürften die Temperaturen in den Wintermonaten im nördlichen Polarkreis einschließlich der nördlichen Teile Alaskas und Kanadas zunehmen. Die in vielfacher Hinsicht bedeutsamen Niederschläge verändern sich ebenfalls nach räumlich unterschiedlichen Mustern (Meehl et al., 2007, 769). Eine Abnahme der Niederschläge wird dabei gerade dort erwartet, wo heute schon Wassermangel herrscht. Dazu gehören auf der Nordhalbkugel das nördliche Mexiko, die westafrikanische Küste und der europäische wie arabische Mittelmeerraum. Auf der Südhalbkugel trifft dies die Südspitze Afrikas, schwächer Australien sowie östliche Teile Brasiliens, die bislang zu den wasserreichen Gebieten zählen. Um das verfügbare Wasser zu bestimmen, müssen die Bodenfeuchte, der Regenwasserabfluss und die Verdunstung ermittelt werden.

Weitere Modellierungen zeigen unter anderem, wie stark sich die Ernterträge verändern. Das PESETA-Projekt (Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis) weist beispielsweise für die Iberische Halbinsel, die Westhälfte Frankreichs, Italien ohne die Alpen und Griechenland Rückgänge von rund 15 bis 30 Prozent bis zum Jahr 2080 und eine Verbesserung für die Alpenregionen und die skandinavischen Länder um einen ähnlichen Betrag aus (Iglesias et al., 2009, 40 ff.).

Extremwetterereignisse sind für Reaktionen auf den Klimawandel von hohem Interesse, da gerade von ihnen hohe Schäden ausgehen können, die es zu vermeiden lohnt. Ihre Vorhersage ist aber sehr schwierig. Entsprechend unterschiedlich fallen auch die Ergebnisse verschiedener Modellierungen und Modellläufe aus. Die im aktuellen IPCC-Bericht „Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation“ zusammengefassten Forschungen zu Extremwetterereignissen zeigen insgesamt sowohl eine Zunahme als auch eine Verstärkung dieser Ereignisse (IPCC, 2012). Ermittelt wurde hierbei für 26 Großregionen der Welt, wie sich die Wiederkehrhäufigkeit von solchen Ereignissen verändern wird, die für den jeweiligen Parameter in den 20 Jahren von 1981 bis 2000 ein Maximum angenommen haben. Beispielsweise ist dies die Wiederkehrerwartung für die Maximaltemperatur dieses Zeitraums. Dass angesichts der prognostizierten globalen Temperaturerhöhung die Auftretenshäufigkeit von hohen Temperaturwerten ebenfalls zunimmt, ist nicht überraschend. Bis zum Jahrhundertende sind bisherige 20-Jahres-Ereignisse alle ein bis zwei Jahre wahrscheinlich (IPCC, 2012, 10) – ein enormer Anstieg. Für Mitteleuropa ist die Erhöhung der Wiederkehrfrequenz etwas moderater, während der Mittelmeerraum auf dem hohen Niveau der globalen Veränderungen liegt.

Bei maximalen Tagesniederschlägen fallen die Veränderungen weniger stark aus, doch sinkt die Wiederkehrhäufigkeit auch hier im Schnitt auf unter zehn Jahre. Zugleich steigt der Anteil des Niederschlags, der als Starkregen fällt (IPCC, 2012, 11 f.). Dieser deckt den lokalen Wasserbedarf oftmals schlechter als normaler Regen, vor allem weil das Regenwasser nicht vom Boden aufgenommen werden kann, sondern schnell abfließt. Ein weiterer Grund dafür ist die Verunreinigung des Regenwassers im Zuge von Überschwemmungen. Höhere Verdunstungen beeinflussen die Wasserhaushaltsbilanzen ebenfalls negativ. Etwas weniger stark sinkt dieser Wert in Mitteleuropa. Im Mittelmeerraum bleibt es annähernd beim 20-Jahres-Intervall. Die Zunahme von Tagen aufeinanderfolgender Trockenheit verteilt sich ähnlich wie die oben beschriebene Veränderung der Jahresniederschläge. Besonders stark betroffen sind demnach Nordmexiko, der Mittelmeerraum und die westafrikanische Küste (IPCC, 2012, 13).

Stärkere Stürme führen zu einer größeren Bedrohung der Küsten. Die Folgen fallen gravierender aus, als es durch den Anstieg des Meeresspiegels allein zu erwarten wäre. Bei Sturmfluten läuft das Wasser nämlich höher auf. Dies betrifft auch Deutschland. Es kann zudem zu einem Verlust von küstennahem Land kommen. Von Bedeutung sind diese Veränderungen auch deshalb, weil die Menschen weiterhin stark vom Land in die Städte ziehen und diese zu einem hohen Anteil in Küstenbereichen liegen. Exposition und Vulnerabilität verändern sich durch diesen globalen Trend in eine ungünstige Richtung.

Es zeigt sich für Deutschland, dass die Klimaveränderungen bis zum Jahr 2030 und auch noch bis zum Jahr 2050 kaum von den Emissionen in der ersten Jahrhunderthälfte abhängen. Das Klimasystem reagiert so träge, dass die Veränderungen erst in der zweiten Jahrhunderthälfte auftreten. Anders gesagt: Heutiger Klimaschutz determiniert die Anpassungserfordernisse und Schadensrisiken in 50 Jahren, nicht jedoch die Verletzlichkeit in den kommenden drei Jahrzehnten.

Abbildung 1 zeigt die prozentualen Veränderungen der mittleren Niederschläge in den Sommer- und Wintermonaten zur Jahrhundertmitte auf Landkreisebene. Sie dokumentiert, dass die Modelle für zukünftige Niederschlagsänderungen für viele Landkreise kein einheitliches oder kein signifikantes Ergebnis liefern. Dies ist durch weiße Flächen dargestellt. Wiedergegeben ist der Median von 28 regionalen Klimaänderungssimulationen im Hinblick auf die Veränderung gegenüber einer Referenzperiode der nahen Vergangenheit. Der Niederschlag in den Monaten Dezember bis Februar