

# AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEUTSCHLAND

MIT EXKURS NRW



  
GERMANWATCH

# Zusammenfassung

Die ärmsten Länder trifft der Klimawandel am stärksten. Doch auch in Deutschland zeigen nicht nur Herbststürme, die im Januar Osterglocken abknicken, dass sich hier einiges ändert. Zahlreiche Ökosysteme sehen sich schon jetzt durch den bereits spürbaren Wandel herausgefordert.

Höhere Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und steigende Meeresspiegel lassen Deutschland nicht unberührt. Nach bisherigem Kenntnisstand wird der Klimawandel Deutschland am schwerwiegendsten

durch den Meeresspiegelanstieg, Extremwittersituationen, die Gletscherschmelze und Hochwasser an Flüssen treffen. Oft ist eine Anpassung an die absehbaren Veränderungen möglich und notwendig. Eine solche Strategie muss aber zugleich auf die starke Begrenzung des Klimawandels drängen, damit sie nicht letztlich von diesem überrollt wird. Das vorliegende Papier stellt die jüngsten Forschungsergebnisse dar und macht Handlungsvorschläge zur Zusammenarbeit zwischen Akteuren aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft.

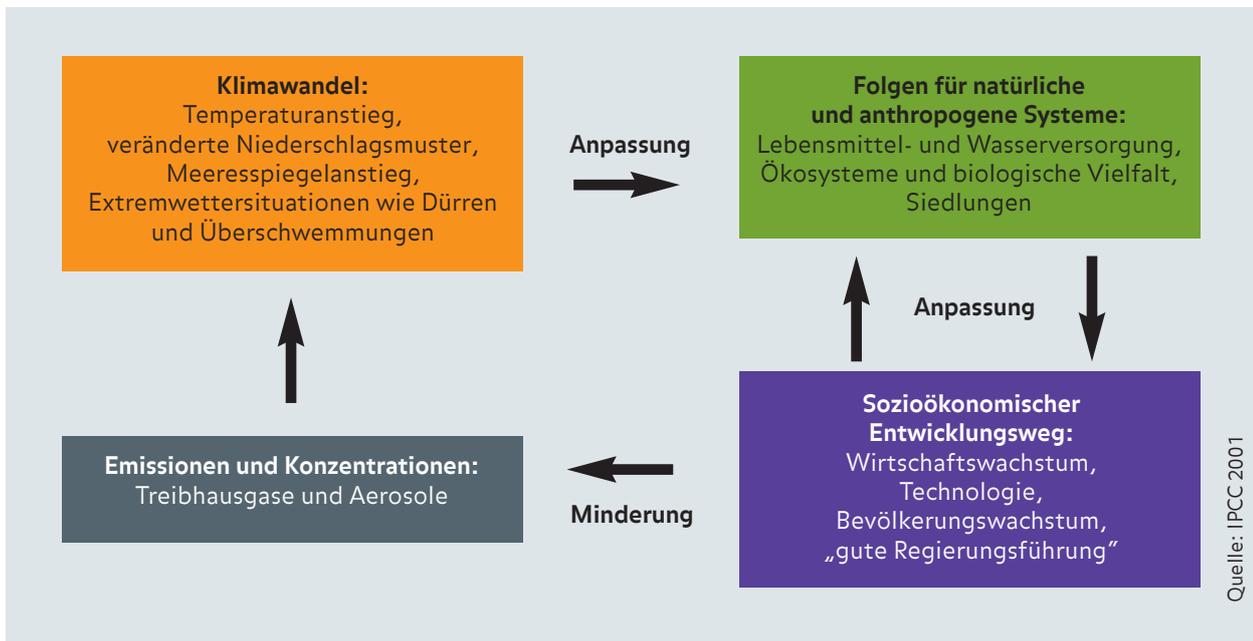
## Inhalt

<b>Einleitung</b>	3
<b>1. Das Klima in Deutschland</b>	4
<b>2. Szenarien zum Klimawandel in Deutschland</b>	4
<b>3. Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland</b>	8
3.1. Meeresspiegelanstieg	9
3.2. Extremwetterereignisse	12
3.2.1. Hitzewellen	12
3.2.2. Stürme	14
3.2.3. Starkniederschläge	15
3.3. Gletscherschmelze	16
3.4. Hochwasser an Flüssen	17
<b>4. Anpassung an den Klimawandel in Deutschland</b>	18
<b>Fazit</b>	22
<b>Quellenverzeichnis</b>	23

# Einleitung

Mit dem Wort Klimawandel assoziieren viele Menschen Katastrophen auf anderen Kontinenten und vermeintlich wenig einschneidende Veränderungen in Deutschland, wie z. B. die Ausbreitung südlicherer Weinsorten oder die Umstellung der Sportaktivität von Abfahrtski auf Wasserski. Allmählich dämmert es vielen, dass auch hier mehr auf dem Spiel stehen könnte. Die starken Überschwemmungen in Mitteleuropa 2002 waren ein

deutliches Warnsignal. Und der Extremsommer 2003 mit mehr als 30.000 Toten – die größte Naturkatastrophe in Europa seit Jahrhunderten – hatte einen Aufwacheffekt zur Folge. Die Dringlichkeit einer Begrenzung des Wandels sowie einer nachhaltigen Strategie zur Anpassung, d. h. zum Umgang mit den Konsequenzen, drängt sich auf. Dazu hat das IPCC-Gremium folgende Übersicht entworfen:



**Abb. 1: Die zwei Seiten des Klimawandels: Emissionsminderung und Anpassung an die Folgen**

Das Verständnis der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Region ist jedoch noch begrenzt. Regionale Änderungen sind wesentlich schwieriger zu prognostizieren als die Veränderung globaler Durchschnittswerte. Aber in den letzten Jahren hat sich hier einiges getan. Dieses Hintergrund-

papier gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung bezüglich der zukünftigen Klimaentwicklungen in Deutschland, beschreibt deren absehbare Auswirkungen und Deutschlands Verwundbarkeit. Darüber hinaus stellt es erste Anpassungsmechanismen vor.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grundlegende Informationen zum Klimawandel können nachgelesen werden in: Germanwatch 2005.

# 1. Das Klima in Deutschland

Das Klima in Deutschland hat sich über die letzten Jahrhunderte als relativ stabil erwiesen. Wir genossen verlässliche Klima- und Wetterverhältnisse und blieben von Extremwittersituationen wie monsunartigen Regenfällen oder Wirbelstürmen, die unser Alltagsleben



Abb. 2: Überschwemmungen Deutschland 2006

unterbrechen könnten, weitestgehend verschont. Die durchschnittliche Jahrestemperatur betrug ca. 8,2 °C in Deutschland und die Niederschlagssumme ca. 750 mm pro Jahr<sup>2</sup>. Aufgrund seiner Stabilität aber auch wegen dieser günstigen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse bildete das Klima in Deutschland eine solide Basis für die grundlegende Versorgung der Bevölke-

rung, menschliche Aktivität im Allgemeinen und somit für ein gesichertes Leben. Klimaforscher prophezeien für das kommende Jahrhundert jedoch besorgniserregende Änderungen des Erdklimas, die, wie Klimaänderungssignale bereits andeuten, auch Deutschland beeinflussen werden. Mit welchen Veränderungen wir in Zukunft konkret zu rechnen haben, ist Gegenstand der derzeitigen Klimaforschung. Bislang stand Klima für Stabilität und Wetter für Variabilität. Inzwischen steht auch der Begriff Klima für Wandel; im Bereich des Wetters nehmen die Extremereignisse zu.



Abb. 3: Hitzewelle in Deutschland 2006

## 2. Szenarien zum Klimawandel in Deutschland

Dass der Klimawandel als globales Phänomen auch Deutschland beeinflusst, zeichnete sich schon an den klimatologischen Veränderungen während der vergangenen 100 Jahre ab. Registriert wurden in diesem Zeitraum ein Temperaturanstieg der durchschnittlichen Jahrestemperatur um 0,8 bis 1 °C, eine Zunahme der Niederschläge während der Winter und zugleich eine Abnahme der Schneedecke. Klimaextreme wie Hitzewellen, Starkniederschläge und Sturmböen traten vor allem in den letzten 20 Jahren vermehrt auf<sup>3</sup>. Auf der Basis der beobachteten Veränderungen der letzten Jahrzehnte, Jahrhunderte und Jahrtausende versuchen Klimaforscher mit Hilfe von so genannten Szenarien (siehe Info-Kasten 2), den zukünftigen Klimawandel so realistisch wie möglich zu modellieren.

Einerseits werden die globalen Veränderungen erforscht, andererseits versucht man, mit regionalen

Szenarien die Ausmaße des Klimawandels in verschiedenen Regionen zu verstehen. Da viele Informationen über die Zukunft heute noch nicht vorliegen, basieren Szenarien allerdings immer auf Annahmen über zukünftige Entwicklungen, die natürlich heute noch nicht genau vorhersehbar sind. So wird eine Welt mit unterschiedlichem Klimaschutz grundlegend anders aussehen als ohne diesen. Jedes vermeidbare Zehntel Grad an Temperaturerhöhung kann Ursache für gewaltige Veränderungen sein, die an bestimmten Kipppunkten einsetzen.

Auch in Deutschland werden immer genauere regionale Klimaszenarien angewandt, um die Veränderungen des Klimas und ihre Folgen besser abschätzen zu können. Die aktuellste dieser regionalen Studien für Deutschland ist derzeit die im April 2006 veröffentlichte Szenarienreihe des Max-Planck-Institutes für Mete-

<sup>2</sup> DWD 2004a

<sup>3</sup> IPCC 2007

orologie (MPI-M). Mit Hilfe des vom MPI-M erarbeiteten Regionalmodells REMO errechneten die Forscher die Entwicklung der Temperaturen und Niederschläge in Deutschland bis zum Jahr 2100. Die hohe Auflösung des Modells von zehn mal zehn Kilometern ermöglicht bislang einen außergewöhnlich detaillierten Überblick über die einzelnen Gebiete Deutschlands, wobei auch auf die jahreszeitlichen Unterschiede und das Relief Rücksicht genommen werden konnte.

So kommt das MPI-M zu dem Schluss, dass die durchschnittlichen Jahrestemperaturen in Deutschland bis 2100 im Vergleich zur Periode 1961 bis 1990 um 2,5 bis 3,5 °C steigen könnten (Abb. 4)<sup>4</sup>. Zum Vergleich: Die IPCC-Szenarien berechneten 2007 einen globalen Temperaturanstieg von 1,8 bis 4 °C bis 2100<sup>5</sup>. Die Ergebnisspanne der MPI-M-Szenarien von einem Grad Celsius

resultiert aus der Anwendung von drei Szenarien, die sich in der eingeschätzten Höhe der zukünftigen Treibhausgasemissionen unterscheiden. Zugrunde liegen den REMO-Modellen die IPCC-Szenarien A2, A1B und B1, die den Zeitraum 2001 bis 2100 decken und unterschiedliche Annahmen über demografische, gesellschaftliche, ökonomische und technische Strukturen bis 2100 berücksichtigen. Die optimistischen Strukturen des Szenarios B1, das von der Annahme des Leitgedanken der Nachhaltigkeit, hohem Wirtschaftswachstum trotz abnehmender Materialintensität und sauberen sowie ressourcenschonenden Technologien ausgeht, spiegelt den relativ geringen Temperaturanstieg von 2,5 °C wider. Die Szenarien A1B und A2 ergeben eine höhere Erwärmung, da ihnen weniger nachhaltige Entwicklungen mit gemischten Energiequellen bzw. hohem Wirtschaftswachstum zugrunde liegen<sup>6</sup>.

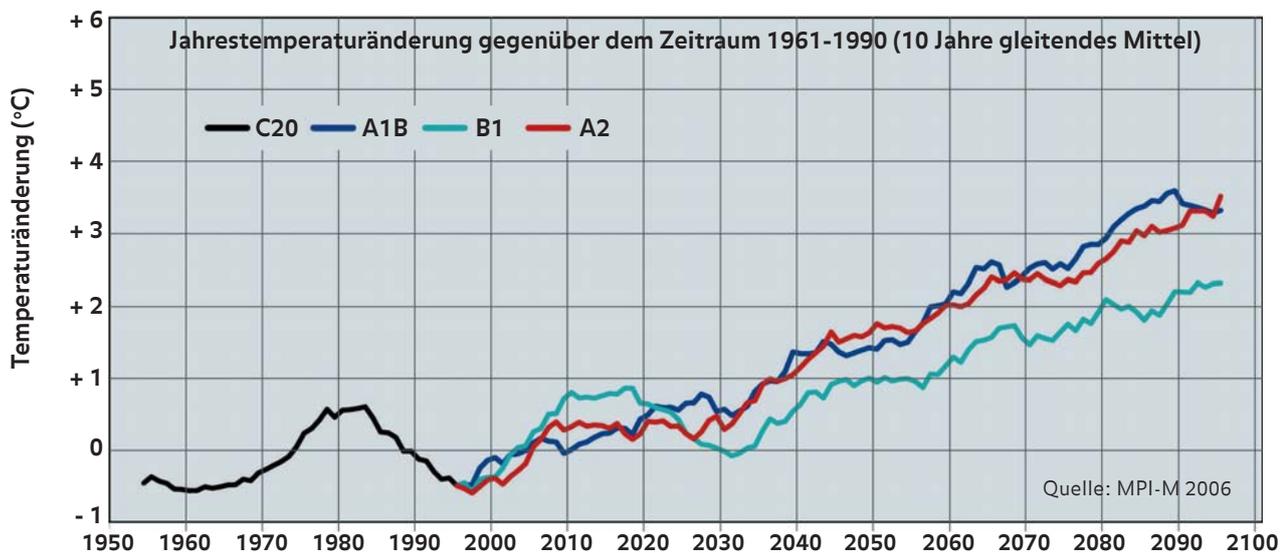


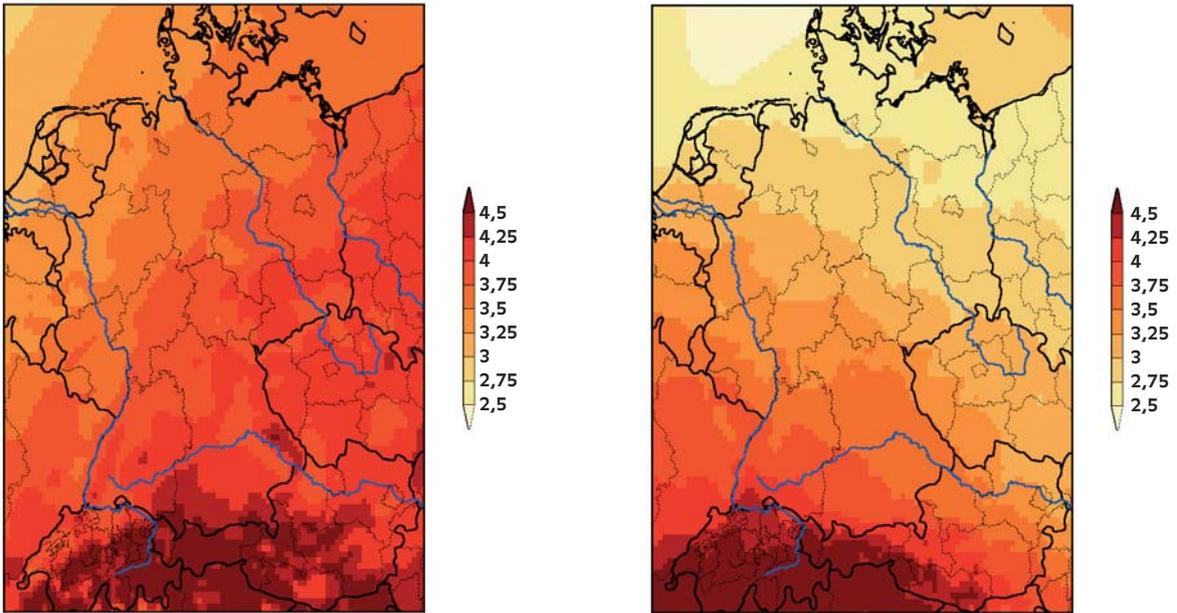
Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der simulierten Lufttemperatur (°C) in Deutschland

Die durch den verstärkten Treibhauseffekt bedingte zukünftige Erwärmung Deutschlands zeigt sich den MPI-M Modellen nach im Winter am deutlichsten. Mit der höchsten Erwärmung von mehr als 4 °C ist dem Szenarium A1B zufolge in den Wintermonaten in Süd- und Südost-Deutschland zu rechnen. Nach Norden und Westen, d. h. zur Atlantikküste hin, verringert sich der

Temperaturanstieg zwar, dennoch wurde für die Küstenregion eine winterliche Erwärmung um ca. 3,5°C berechnet<sup>7</sup>. Diese Differenz ist mit der ausgleichenden Funktion der Meere zu begründen, die sich relativ langsam erwärmen. Auch für den Sommer zeichnet sich der höchste Temperaturanstieg mit ca. 3 bis 4 °C für den Süden Deutschlands ab (Abb. 5)<sup>8</sup>.

<sup>4</sup> UBA 2006a  
<sup>5</sup> IPCC 2007  
<sup>6</sup> MPI-M 2006

<sup>7</sup> UBA 2006a  
<sup>8</sup> UBA 2006a

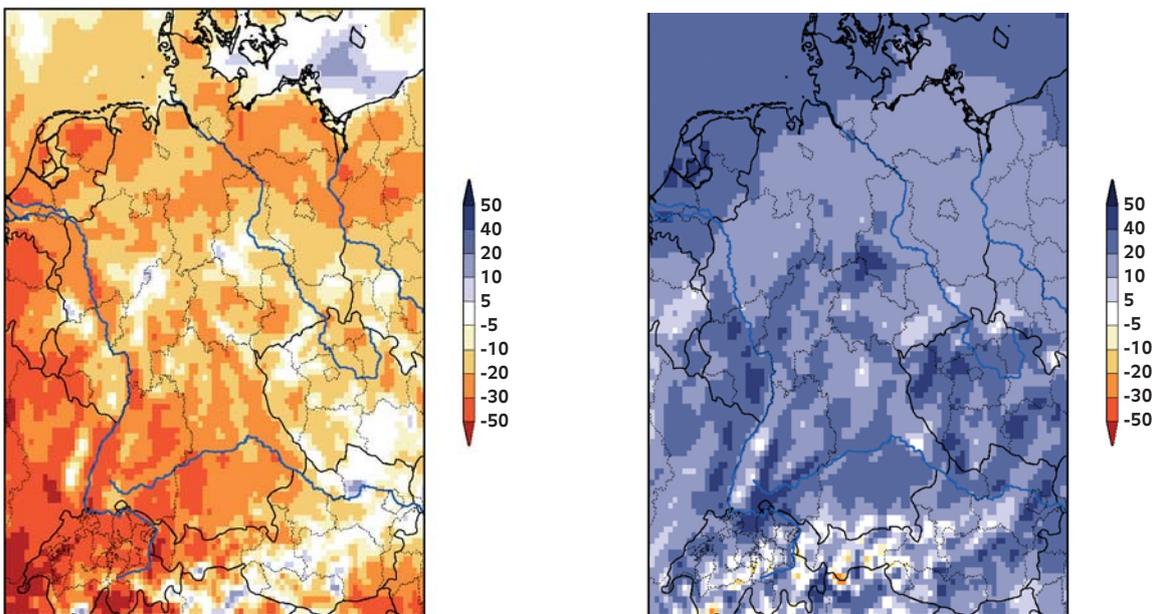


Quelle: MPI-M 2006

**Abb. 5 : Temperaturanstieg im Winter (links) und Sommer (rechts) in °C im Jahresmittel für die Jahre 2071-2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1961-90, Szenario A1B**

Den MPI-M-Szenarien nach werden sich auch die Niederschlagsverhältnisse regional und saisonal verändern. Mit einem bis zu 40%igen Rückgang der Niederschläge ist im Sommer in Süd-, Südwest- und Nordost-

Deutschland zu rechnen, während sich für den Winter fast im gesamten Land stärkere Niederschläge andeuten (Abb. 5 und 6)<sup>9</sup>.



Quelle: MPI-M 2006

**Abb. 6: Sommerliche (links) und winterliche (rechts) Niederschlagsveränderung im Jahresmittel für die Jahre 2071-2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1961-90, Szenario A1B**

<sup>9</sup> UBA 2006a

So drohen in den Sommermonaten im Nordosten Deutschlands Dürreperioden, während die Wintermonate in Süd- und Südwest-Deutschland feuchter werden. Der im Sommer fallende Niederschlag wird zudem voraussichtlich nicht länger regelmäßig verteilt vorkommen, sondern zunehmend in Starkniederschlägen, z. B. während Wärmegewittern, auftreten. Zwar ändert sich durch diese Verschiebungen die durchschnittliche Niederschlagsmenge nur unwesentlich, doch auch die Verteilung der Niederschläge spielt vor allem für die Forst- und Landwirtschaft eine wichtige Rolle.

Basierend auf dem Temperaturanstieg wird regional weniger Schnee erwartet. Fällt momentan etwa ein Drittel des Niederschlags in den Alpen als Schnee, könnte der Schneeanteil der Niederschläge am Ende des Jahrhunderts nur noch ein Sechstel ausmachen<sup>10</sup>. Außerdem wird sich die Schneefallgrenze wahrscheinlich so weit nach oben verschieben, dass die meisten Skigebiete Deutschlands darunter liegen werden. Wenn dadurch nur noch wenige Wintersportgebiete genutzt werden können, intensiviert sich deren ökologische Belastung drastisch, während die anderen

Gebiete renaturiert werden können<sup>11</sup>. Die ökonomischen Konsequenzen für letztere können durch den Wegfall des Skitourismus natürlich gravierend sein.

Der Vergleich dieser Ergebnisse des MPI-M mit anderen Szenarien zeigt, dass die neuen Ergebnisse alte Resultate tendenziell bestätigen und konkretisieren. So ergab eine Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) im Juni 2005 mit einem Temperaturanstieg von 1,6 bis 3,8°C bis 2080 eine stärkere Erwärmung Süd- und Ostdeutschlands sowie eine Verschiebung der Regenfälle auf die Wintermonate mit der stärksten Zunahme der Winterniederschläge in Süd-Deutschland<sup>12</sup>. Die Übereinstimmung unterschiedlich modellierter Szenarien spricht für deren zunehmende Robustheit. Nichts desto trotz bleiben – gerade bei kleinräumiger Betrachtung – erhebliche Ungewissheiten bestehen. Außerdem berücksichtigen die Szenarien mögliche nicht-lineare Effekte des Klimawandels wie etwa eine erhebliche Abschwächung des Golfstroms oder einen „Run-away“-Treibhauseffekt aufgrund von Rückkopplungseffekten nicht.

## Info-Kasten 2: Szenarien ≠ Prognosen!

Die Begriffe "Prognose" und "Szenario" sind keine Synonyme! Bei einer Prognose, wie z. B. der Ankündigung der nächsten Sonnenfinsternis, handelt es sich um die genaue Berechnung zukünftiger Verhältnisse unter Berücksichtigung aller beeinflussenden Faktoren. Szenarien, wie z. B. Klimaprojektionen, sind keine exakten Darstellungen der klimatischen Verhältnisse im Jahre 2100, sondern plausible Zukunftswelten. Viele der eingehenden Rahmenbedingungen wie Bevölkerungswachstum, ökonomische und soziale Entwicklung, Einsatz neuer Technologien, Ressourcenverbrauch und Umweltmanagement lassen sich nicht exakt vorhersagen.

Ein wichtiger Grund hierfür ist, dass die Entwicklung von Entscheidungen abhängt, die erst in der Zukunft getroffen werden. Von den verschiedenen Klima-Szenarien werden also vermutlich diejenigen, die einen ungebremsten CO<sub>2</sub>-Ausstoß annehmen, nicht eintreten. Denn indem sie die Konsequenzen von mangelndem Klimaschutz illustrieren, können sie Einfluss auf entsprechende Entscheidungen ausüben und somit zur "self-destroying Prophecy" werden.

Hinzukommt, dass aufgrund der eigenen Ungewiss-

heit eines chaotischen Systems wie dem Klima selbst dann, wenn all diese Rahmenbedingungen ebenso wie die durch den Klimawandel direkt beeinträchtigten Parameter (z. B. Atmosphäre, Wasserkreislauf, Biosphäre und atmosphärische Treibhausgaskonzentration durch menschliche Aktivität) im Detail bekannt wären, eine exakte Prognose nicht möglich wäre. Dennoch spricht vieles für die Robustheit eines Szenarios, wenn andere Szenarien, in denen viele der getroffenen Annahmen auch plausibel, aber anders ausgewählt wurden, dennoch zu einem sehr ähnlichen Gesamtergebnis führen. Dies gilt zumindest solange, wie nicht durch mögliche Rückkopplungsprozesse nicht-lineare Entwicklungen ins Spiel kommen. Bis vor wenigen Jahren waren die Computermodelle zu grob, um kleinräumige Szenarien für spezifische Regionen Deutschlands zu entwickeln. Dies ist nun möglich, allerdings sind die Unsicherheiten hier größer als bei globalen Szenarien.

Die oft geübte Kritik, Szenarien seien zu ungenau, gründet sich daher auf dem gegenüber Szenarien nicht angemessenen Anspruch des Betrachters, exakte Vorhersagen zu erhalten. Sie sind aber eine wichtige Grundlage für Entscheidungen unter Unsicherheit.

<sup>10</sup> UBA 2006a

<sup>11</sup> dsa 2006

<sup>12</sup> PIK 2005

## 3. Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland

Der schnelle Temperaturanstieg und die Veränderungen der Niederschlagsmuster global sowie über Deutschland bewirken direkte Veränderungen für das natürliche Umfeld des Menschen und spiegeln sich in unserem wetterabhängigen Alltagsleben auf vielfältige Art wider. Die Natur reagiert mit verlängerten Vegetationsperioden und sich verändernder biologischer Vielfalt (siehe Info-Kasten 3). Ebenso wird die menschliche Gesundheit, beispielsweise durch verlängerte Allergie-Perioden, direkt vom Klimawandel beeinflusst. Die Zahl von Hitzewellen nimmt mit steigender Temperatur exponentiell zu – was das bedeutet, wurde während der Hitzewelle von 2003 deutlich, der bislang größten bekannten Naturkatastrophe Europas mit mehr als 30 000 Toten. Auch

beeinflussen Temperaturanstieg und veränderte Niederschlagsmuster zahlreiche Ökosysteme teilweise bis zum völligen Zusammenbruch, was wiederum oftmals negative Konsequenzen für Lebensgrundlagen des Menschen und sozioökonomische Vorgänge hat. Nach bisherigen Einschätzungen wird sich der Klimawandel in Deutschland am schwerwiegendsten durch den Meeresspiegelanstieg, Extremwettersituationen, die Gletscherschmelze und Hochwasser an Flüssen äußern. Der folgende Abschnitt beschreibt diese Auswirkungen detaillierter und erläutert ihren Einfluss auf verschiedene Sektoren wie Landwirtschaft und Lebensmittelsicherheit, Gesundheit, Tourismus und Ökonomie.

### Info-Kasten 3: **Biologische Vielfalt und Verschiebung der Vegetationsperioden**

Die tendenziell von allen Szenarien errechneten Temperaturveränderungen und die Abweichungen des Wasservorrats für das begonnene Jahrhundert führen eine globale Verschiebung der Klimazonen mit sich. Die Vegetationsperioden verlängern sich, Arten wandern ab oder sterben aus, andere Arten wandern in Ökosysteme neu ein. So bestimmen die Faktoren Temperatur und Wasserverfügbarkeit die biologische Vielfalt (Biodiversität) eines Ökosystems, womit der Klimawandel starken Einfluss auf die Verteilung der Arten, ihre genetische Ausstattung und die Struktur der Ökosysteme hat.

Der voraussichtliche Verlust der Biodiversität führt in Deutschland zu funktional einfacheren Ökosystemen, dem Vorherrschen von Generalisten, verstärkter Präsenz von gebietsfremden Arten, verschlechterten Ökosystemleistungen und geringerer Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme an eine veränderte Umwelt<sup>13</sup>.

Umgekehrt hat auch der Biodiversitätsverlust Auswirkungen auf den Klimawandel. Die Albedo, also das Rückstrahlungsvermögen der Oberflächen, verändert sich ebenso wie die Verdunstungsrate, der Wasserkreislauf und die Fähigkeit zur Kohlenstoffspeicherung<sup>14</sup>. Man spricht von so genannten Rückkopplungsmechanismen, denn die Auswirkungen eines Prozesses haben ihrerseits Folgen für den ursprünglichen Prozess.

Besonders betroffene Gebiete sind erstens die Alpen,

denn Arten haben in den Bergen oftmals keine Möglichkeiten, abzuwandern, und zweitens Feuchtgebiete, da saisonal weniger Wasser im System ist. Als drittes sind Küsten zu nennen, wo z.B. die Robben bei steigendem Meeresspiegel keine Sandbänke mehr vorfinden können. Dagegen profitieren immergrüne Pflanzen vom Klimawandel, und der Schmetterlingsstrauch ist ein Beispiel für eine Art, die in unseren Breiten gängiger wird.

Die Verschiebung der Klimazonen beeinträchtigt nicht nur die natürlichen Ökosysteme, sondern auch die Landwirtschaft. Landwirte könnten gezwungen werden, andere Getreidesorten oder sogar völlig andere Produkte anzubauen bzw. Gebiete nicht länger landwirtschaftlich zu nutzen. Zu den eher seltenen positiven Folgen des Klimawandels könnten in Deutschland die günstigeren Voraussetzungen für den Weinbau in Regionen wie Brandenburg gehören, wo dieser bisher unmöglich ist.

Das Eindringen gebietsfremder Arten in neue Regionen erschwert Wald- und Forstwirtschaft ebenso wie die Landwirtschaft, denn so genannte Schädlinge dominieren in zuvor unbeeinträchtigten Regionen und richten durch Zerfraß gravierende Waldschäden und Missernten an. Die Bewertung der Entwicklung in Deutschland erweist sich als äußerst schwierig, denn der Bedrohung ursprünglicher Arten und Systeme stehen neue Möglichkeiten gegenüber.

<sup>13</sup> Leuschner 2005

<sup>14</sup> BfN 2004

## 3.1. Meeresspiegelanstieg

Der Meeresspiegelanstieg wurde als reale Konsequenz der vom Menschen verursachten Klimaerwärmung in den vergangenen Jahren bereits nachgewiesen. Abschließende Aussagen über sein zukünftiges Ausmaß lassen sich zwar noch nicht treffen, eindeutig ist aber, dass der Anstieg die Entwicklung der Küstenregionen weltweit stark gefährden wird. Nach heutigem Erkenntnisstand ist bis 2100 mit einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 1,4 m im globalen Mittel gegenüber dem Niveau von 1990 zu rechnen<sup>15</sup>. Dies übertrifft die Berechnungen des IPCC-Berichts von 2001 um ca. 50 cm, nach denen der Meeresspiegel bis 2100 "nur" bis zu 88 cm steigen könnte<sup>16</sup>. Allerdings weist der IPCC ausdrücklich darauf hin, dass er die bisher unterschätzten Abschmelzprozesse des Grönlandeises und der Westantarktis noch nicht mit berücksichtigt hat. Eine aktuelle Studie weist darauf hin, dass ein langsamer Meeresspiegelanstieg in geringerem Ausmaß eher unwahrscheinlich ist<sup>17</sup>.

Kurz gesagt: Die IPCC-Abschätzungen stellen den unteren Rand der Möglichkeiten dar. Es muss damit gerechnet werden, dass der Meeresspiegelanstieg noch schneller und zusätzlich in stärkerem Ausmaß verläuft als zunächst befürchtet. Die vorgeschlagene „Leitplanke“ für den Meeresspiegelanstieg ist, dass er dauerhaft 1 m nicht überschreiten sollte, wobei die An-

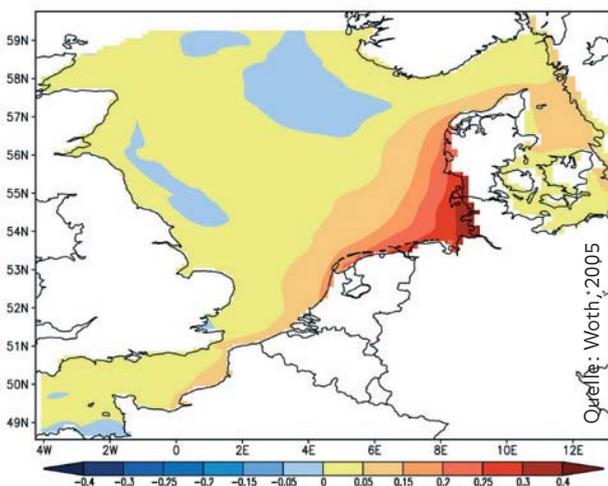
stiegsgeschwindigkeit nicht über 5 cm pro Jahrzehnt liegen sollte<sup>18</sup>. In diesem Jahrhundert sollte der Anstieg also auf allenfalls 50 cm begrenzt werden.

Art und Umfang der Gefährdung durch den Meeresspiegelanstieg hängen neben der tatsächlichen globalen Erwärmung stark von den betroffenen ökologischen und sozialen Systemen ab. An Deutschlands Küsten wird der Meeresspiegel im globalen Vergleich überdurchschnittlich stark ansteigen. Des Weiteren beeinflussen nicht nur die thermische Ausdehnung der Ozeane, das Schmelzen des Polareises und der Inlandgletscher den Meeresspiegelanstieg im Nordatlantik, sondern zusätzlich bedeutet jedes Prozent Abschwächung des Nordatlantikstroms einen weiteren Zentimeter Meeresspiegelanstieg für den Nordatlantik. Derzeit scheint es plausibel, mit 20 bis 40 cm bis 2100 alleine deshalb zu rechnen<sup>19</sup>.

### Nordseeküste

Die deutsche Nordseeküste ist wegen ihrer Lage an der Westküste stark den Gezeiten, dem Tidenhub und der Sturmflutgefahr ausgesetzt, was sie für Klimaveränderungen und Meeresspiegelanstieg nicht nur wegen ihrer geringen Höhe empfindlich macht. Wie aus Abbildung 7 hervorgeht, ist damit zu rechnen, dass Deutschland von den Nordseeanrainerstaaten durch den Klimawandel bedingt am meisten unter den verstärkten Sturmfluten zu leiden haben wird, was mit der geographischen Lage und den vorherrschenden Windrichtungen zu begründen ist. Die Abbildung verdeutlicht, dass zusätzlich zum Meeresspiegelanstieg bis 2100 bei ungebremstem Klimawandel an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste mit einer Erhöhung der jährlichen windbedingten Wasserstände um etwa 40 cm zu rechnen ist.

Für die deutsche Nordseeküste sind weiterhin das tektonische Absinken und Reibungsverluste von Bedeutung, die mit jeweils 15 cm bis 2050 zum Tidehochwasser beitragen könnten<sup>20</sup>. Insgesamt muss also an der deutschen Nordseeküste im schlimmsten Fall bis 2100 mit einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 1,80 m und extremen Tidehochwassern von nochmals mindestens 70 cm darüber ausgegangen werden. Diese Berechnung verdeutlicht, wie fatal es wäre, die Deichhöhen



**Abb. 7: Erwartete Änderung in den jährlichen maximalen windbedingten Wasserständen in Metern zwischen 2071 bis 2100 bei relativ starkem Treibhausgasanstieg**

<sup>15</sup> Rahmstorf 2006

<sup>16</sup> IPCC 2001a

<sup>17</sup> Rahmstorf 2006

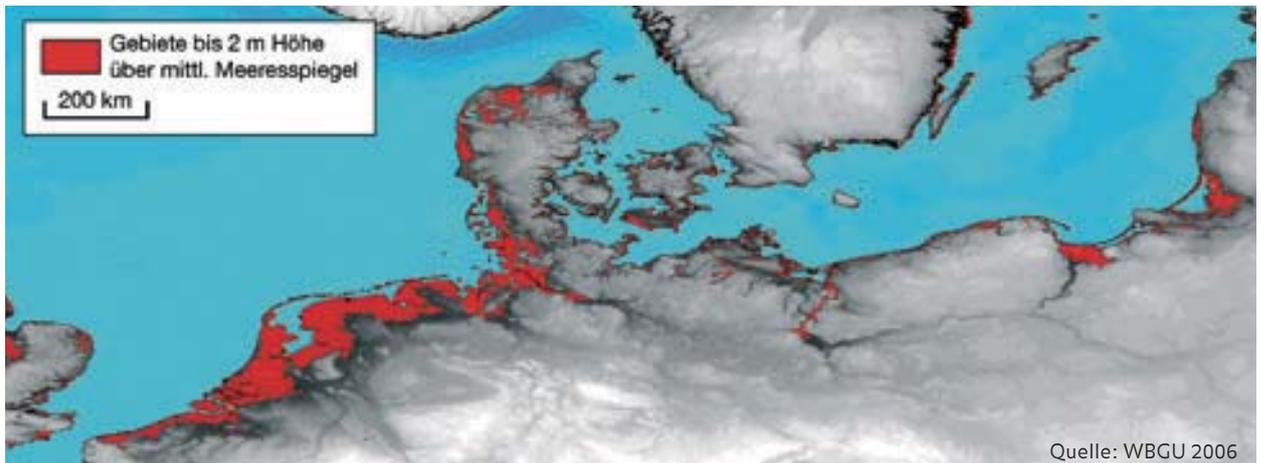
<sup>18</sup> WBGU 2006

<sup>19</sup> Rahmstorf & Schellnhuber 2006

<sup>20</sup> Luhmann 2005

lediglich dem Meeresspiegelanstieg anzupassen und weitere Effekte des globalen Wandels zu vernachlässigen. Unter diesen Umständen würden bei einem Meeresspiegelanstieg von einem Meter 88% der Fläche Bremens und immerhin 30 % von Hamburg betroffen sein<sup>21</sup>. Die Karte in Abbildung 8 zeigt Küstengebiete

u. a. entlang der 2389 km langen Küstenlinie Deutschlands, die nur maximal 2 m über dem heutigen Meeresspiegel liegen. Die Nordseeküste ist durch das einzigartige Wattenmeer und die flach anschließende Marschlandschaft dem Meeresspiegelanstieg stärker ausgesetzt als die relativ steile und hohe Ostseeküste.



**Abb. 8: Küstengebiete von weniger als 2 m Höhe entlang der Nord- und Ostsee (ohne Berücksichtigung von künftigen Küstenschutzmaßnahmen)**

Effektiver Küstenschutz ist an der deutschen Nordseeküste daher unumgänglich. Und zwar schon heute: In Schleswig-Holstein belaufen sich die jährlichen Kosten nach Angaben der dortigen Landesregierung für den Hochwasser- und Küstenschutz auf insgesamt über 30 Mio. Euro<sup>22</sup>, um Besiedlung im tief gelegenen Marschland überhaupt zu ermöglichen. Von künftig extrem steigenden Kosten aufgrund des Klimawandels ist auszugehen. Gerade der Kostenaspekt hält aber die niedersächsische Landesregierung davon ab, ihren Küstenschutz den aktuellen Szenarien anzupassen; sie setzt lediglich darauf, dass der Meeresspiegel so gemächlich weiter steigt wie im vergangenen Jahrhundert. Bestätigen sich doch die sich heute abzeichnenden Wasserhöchststände, hätte der in Niedersachsen vernachlässigte Deichbau sogar katastrophale Auswirkungen auf Städte wie Bremen.

Erneuerung, Verbreiterung und Erhöhung von Deichen sind aber nicht nur kostenintensive Infrastrukturmaßnahmen. In der Regel geht ihnen eine langjährige Planungsphase voraus. Für die Verbreiterung der Deiche besteht zudem ein nicht unerheblicher Platzbedarf.

In Ortschaften, in denen die Bebauung heute bis an die Deiche heranreicht, kann es zu Nutzungs- und damit auch Rechtskonflikten z. B. mit Eigenheimbewohnern kommen. Dort, wo heute neue Küstenschutzmaßnahmen durchgeführt werden, die sich aber nicht an den neuen Erkenntnissen zum Meeresspiegelanstieg orientieren, wird eine Anpassung an diese neuen Realitäten möglicherweise technisch und politisch sehr schwierig werden.

Als Folgen des Meeresspiegelanstiegs und vermehrt auftretenden Sturmfluten an der Nordseeküste sind eine erhöhte Überflutungs- und Überschwemmungsgefahr, Erosion sowie Trinkwasserversalzung, Verschlechterung der Böden und Bedrohung des Ökosystems Wattenmeer zu erwarten. Zusätzlich zu ihrer ökologischen Empfindlichkeit gehören die Küstenregionen zu den eher strukturschwachen Regionen Deutschlands. Sie sind durch relativ hohe Arbeitslosigkeit und die starke Abhängigkeit von der Natur durch Landwirtschaft, Fischerei und Tourismus gekennzeichnet, was ihre Empfindsamkeit Veränderungen gegenüber noch verstärkt. In Zukunft rechnet man zudem mit steigen-

<sup>21</sup> Molter 2002

<sup>22</sup> Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein 2001

der Besiedlung der Küstenregion und einer damit verbundenen wachsenden Ansammlung von Sachgütern. In Kombination mit den Folgen der Klimaveränderung resultiert diese Besiedlungsentwicklung in einer Risikoerhöhung, die zusätzlich vorausschauender Planung bedarf.

Der im Fall unzulänglichen Küstenschutzes eintreffende Landverlust würde sich auf die Gesellschaft vor allem durch die Minimierung von Lebensraum und Ackerfläche auswirken, aber auch Infrastrukturen und Sachwerte würden zerstört und Arbeitsplätze vernichtet. Von besonderer Wichtigkeit ist in der deutschen Küstenregion der Tourismus, der hier bis zu 20% des Volkseinkommens ausmacht und von den Auswirkungen

des Klimawandels starke Einbußen hinnehmen bzw. sich den veränderten Verhältnissen stark anpassen müsste<sup>23</sup>. Zwar gilt die Nordseeküste in Deutschland als strukturschwach, doch wächst die Bedeutung eines Industriezweiges in der Region: die zur Linderung des Klimawandels beitragende Windenergie. Auch beim Bau von Windkraftwerken – vor allem in den Offshoreparks vor der Küste – müssen die zukünftigen Gefahren durch den Meeresspiegelanstieg und verstärkte Sturmfluten berücksichtigt werden.

## Ostseeküste

Die Ostsee stellt der Klimawandel vor ganz andere Herausforderungen. Zwar ist sie ebenfalls vom Meeresspiegelanstieg betroffen; da die Küste relativ steil ist, ergeben sich jedoch lediglich an Flussmündungen Überflutungsgefahren, und von Sturmfluten bleibt die Ostseeküste ebenfalls verschont. Problematischer für den Ostseeraum sind der Temperaturanstieg und die damit verbundenen erhöhten Niederschläge. Die Zufuhr von größeren Regenwassermengen in die Ostsee verringert den ohnehin geringen Salzgehalt des Meeres zunehmend. Mit noch geringerem Salzgehalt stehen viele Lebewesen der Ostsee, die heute schon an der Existenzgrenze leben, zusätzlich unter extremem Druck, und man fürchtet um die Bestände von Hering,

Dorsch und Sprotte samt einiger Pflanzengruppen. Dies gefährdet wiederum die Existenz von Fischern und die Lebensmittelsicherheit. Dazu kommt das erhöhte Risiko von Algenblüten, die wie die Blaualgenblüte im Sommer 2006 das Gleichgewicht des Ökosystems stören und Badeverbote auslösen könnten. Ob veränderte Windverhältnisse in Zukunft den ausschlaggebenden Wassermassenaustausch zwischen Nord- und Ostsee verbessern, verschlechtern oder unverändert belassen wird, kann heute noch nicht eingeschätzt werden. Man rechnet jedoch insgesamt mit erschwerteren Lebensbedingungen im Ökosystem Ostsee.

**Tabelle 1: Effekte des klimawandelbedingten Meeresspiegelanstiegs an Nord- und Ostsee auf verschiedene sozioökonomische Sektoren**

Betroffene Sektoren	Überflutungen	Erhöhte Sturmflutenfrequenz	Erosion	Überschwemmungen	Eindringen von Salzwasser in Grundwasser
Wasserversorgung	X			X	X
Landwirtschaft	X	X	X	X	X
Fischerei	X	X			
Gesundheit	X	X		X	X
Tourismus	X	X	X	X	
Infrastruktur	X	X	X	X	

Quelle: Eigene, erweiterte Erstellung nach Klein & Nicholls 1999

<sup>23</sup> Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein 2001

## Info-Kasten 4: Meeresspiegelanstieg

Beobachtungen belegen, dass der Meeresspiegel im 20. Jahrhundert bereits um 10-20 cm angestiegen ist. Das führende Wissenschaftsgremium IPCC geht 2007 davon aus, dass sich der Meeresspiegel als Folge des Klimawandels bis 2100 um weitere 18-59 cm anheben wird<sup>24</sup>. Insbesondere neuere Erkenntnisse über beschleunigte Abschmelzprozesse in Teilen Grönlands und der Westantarktis lassen bei Klimawissenschaftlern die Besorgnis wachsen, dass bereits jetzt, auch bei anspruchsvollem Klimaschutz, in diesem Jahrhundert ein Anstieg von einem Meter unvermeidbar sein könnte<sup>25</sup>. Einer neuen Studie zufolge könnte der Meeresspiegel bis 2100 sogar um 1,4 m ansteigen<sup>26</sup>. Schon in diesem Jahrhundert könnte ein Schmelzprozess in Grönland angestoßen werden, der unumkehrbar in den nächsten Jahrhunderten zu einem Meeresspiegel-

anstieg von 5 Metern oder mehr führen könnte. Der Klimawandel verursacht den Meeresspiegelanstieg durch die wärmebedingte Ausdehnung des Wassers und das Abschmelzen von Gebirgsgletschern und des Grönlandeises sowie eventuell von Eismassen der Westantarktis durch den Temperaturanstieg der Atmosphäre.

Trotz der Bedrohung von Siedlungs-, Lebens- und Wirtschaftsräumen in Küstengebieten durch den Meeresspiegelanstieg werden Küstenregionen immer beliebtere Wahlheimaten. Dieser Trend verschärft die Notwendigkeit eines effektiven Küstenschutzes, der dem Landverlust, der Trinkwasserversalzung und der Zerstörung einzigartiger Ökosysteme entgegenwirkt.

## 3.2. Extremwetterereignisse

Extremwetterereignisse sind kurzzeitige aber gravierende Abweichungen von den statistisch durchschnittlichen Witterungsbedingungen einer Region. Aufgrund ihrer Intensität können extreme Wettersituationen umfangreiche Schäden verursachen. Für Deutsch-

land relevante Extremereignisse, deren Vorkommen sich mit der Klimaveränderung mit großer Wahrscheinlichkeit vermehren wird, sind vorwiegend Hitzewellen, Starkniederschläge und Stürme wie z. B. Tornados, wie die folgenden Abschnitte beschreiben.

### 3.2.1. Hitzewellen

Forscher zeigten, dass mit mehr als 90%iger Wahrscheinlichkeit der menschenbedingte Treibhausgasanstieg das Risiko des Auftretens von Hitzewellen in Europa wie 2003 zumindest verdoppelt hat und dass er mit 50%iger Wahrscheinlichkeit dieses Risiko bereits vervierfacht hat<sup>27</sup>. Bis Ende dieses Jahrhunderts können Hitzewellen wie 2003 bei ungebremstem Klimawandel sogar zur Normalität werden<sup>28</sup>. In Deutschland forderte die Hitze 2003 ca. 7.000 Menschenleben, in Frankreich waren es sogar knapp 15.000 und in Europa insgesamt ca. 30.000<sup>29</sup>. Damit war diese Hitzewelle die größte Naturkatastrophe in der europäischen Geschichte. Gefährdet sind bei Hitzewellen besonders alte und kranke Menschen, Säuglinge und Kleinkinder. Hitzeanfälligkeit definiert sich nicht nur über die tatsächliche Lufttemperatur; ausschlaggebend ist die gefühlte Temperatur, d. h. eine Zusammenfassung von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind<sup>30</sup>.

Hitzebedingt leiden Menschen häufiger unter Herz-Kreislaufkrankungen, und auch die Entstehung von Sommersmog über Großstädten gefährdet die Gesundheit. Von Hitzewellen ausgelöste direkte Gesundheitsbelastungen – auch solche durch erhöhte Ozonwerte – können Arbeitsfähigkeit und somit ökonomische Leistungen einschränken. Im Sommer 2003 wie auch im Sommer 2006 mussten außerdem einige Atomkraftwerke ihre Stromproduktion drosseln bzw. zeitweilig vollständig einstellen, da die Flüsse für die Kühlung zu warmes Wasser führten. Als Folge dessen stiegen die Strompreise in diesen heißen Tagen extrem an, und konventionelle Großkraftwerke erwiesen sich als nicht vorbereitet auf diese Situation. Durch Niedrigwasser wurde in diesen heißen Sommern die Schifffahrt auf großen Flüssen wie Elbe und Rhein stark eingeschränkt. Auch der Straßenverkehr wurde durch schmelzenden Asphalt während der Hitzewellen behindert.

<sup>24</sup> IPCC 2007

<sup>25</sup> Rahmstorf & Schellnhuber 2006

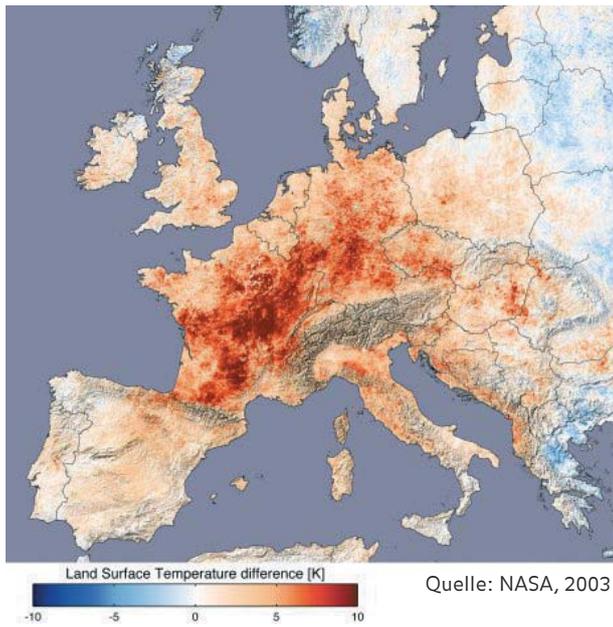
<sup>26</sup> Rahmstorf 2006

<sup>27</sup> Stott et al. 2004

<sup>28</sup> Rahmstorf & Schellnhuber 2006

<sup>29</sup> Stott et al. 2004

<sup>30</sup> DWD 2003



**Abb. 9: Hitzewelle 2003: Die Grafik zeigt die Abweichung der Temperaturen vom langjährigen Mittelwert in Europa im Sommer 2003. Je intensiver das rot ist, desto höher ist die Abweichung.**

Hitzewellen gefährden Ökosysteme nicht nur durch extreme Temperaturen, sondern ebenfalls durch starken Wassermangel. Somit ging beispielsweise während der Hitzewelle im Sommer 2003 die Produktivität der Vegetation in Europa um ca. 30% zurück, was sich auf das Waldwachstum sowie die landwirtschaftlichen Erträge negativ auswirkte. Diese Schwächung der Vegetation hatte außerdem als Rückkopplung zufolge, dass weniger Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Atmosphäre von den Pflanzen aufgenommen wurde. Diese Beobachtung widerspricht der früheren generellen Annahme, dass der Klimawandel dem Pflanzenwuchs und damit der CO<sub>2</sub>-Speicherung förderlich sei<sup>31</sup>. In der Folge der Hitzewelle gab es ein sehr starkes Auftreten von Schädlingen<sup>32</sup>. Waldbrände sind weitere häufige Effekte von Hitzewellen, die auch eine Gefahr für menschliche Lebensräume darstellen können. Erhöhte Wassertemperaturen in Flüssen und Meeren können zu Fischsterben führen.

**Tabelle 2: Auswirkungen von Hitzewellen auf verschiedene sozioökonomische Sektoren**

Betroffene Sektoren	Hitze	Dürre	Vegetationsrückgang	Gletscherschmelze	Verminderte Luftqualität
Wasserversorgung	X	X		X	
Landwirtschaft	X	X	X	X	
Fischerei	X	X			
Gesundheit	X	X			X
Stromproduktion	X				
Verkehr		X			

Quelle: eigene Darstellung

### Info-Kasten 5: Hitzewellen

Eine Hitzewelle ist als eine Periode von mindestens drei Tagen mit extrem hohen Lufttemperaturen definiert. "Extrem hohe Lufttemperaturen" ist ein relativer Begriff, und somit gibt es in den unterschiedlichen Regionen verschiedene Schwellenwerte, um eine Hitzewelle festzustellen. In südlichen Ländern als normal angesehene Temperaturverhältnisse können

infolgedessen weiter nördlich als Hitzeextreme bewertet werden. In Deutschland bezeichnet man Tage mit Temperaturen über 25 °C als Sommertage und Tage, an denen das Thermometer über 30 °C anzeigt, als heiße Tage. Abbildung 9 zeigt die Differenz zwischen den langjährigen Mittelwerten und den extremen Temperaturen im Sommer 2003 in Europa.

<sup>31</sup> Ciais et al. 2005

<sup>32</sup> Umwelt 2005

### 3.2.2. Stürme

Was die Auswirkung der Klimaveränderung auf Sturmaktivität in Europa betrifft, herrscht bislang große wissenschaftliche Unsicherheit. Plausibel, aber nicht gesichert, scheint eine Zunahme der Anzahl von Stürmen in der nördlichen Erdkugel zu sein. Unter der Voraussetzung eines ungebremsten Klimawandels ist anzunehmen, dass es in Norddeutschland zu 1. einer steigenden Anzahl von Winterstürmen, 2. einer höheren Anzahl von Tagen mit extrem hohen Windgeschwindigkeiten und 3. höheren maximalen Windgeschwindigkeiten kommt. Die Anzahl der Tage mit extrem hohen Windgeschwindigkeiten könnte demnach um 50 % ansteigen, die maximale Windgeschwindigkeit um 10 % und das Auftreten von Sturmfluten sogar um 50 -100 %<sup>33</sup>.

Die Forschergruppe TORDACH<sup>34</sup> untersucht das Auftreten von Tornados unter veränderten klimatischen Bedingungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz. Tornados kennt man eher aus dem mittleren Westen der USA, doch treten Tornados von geringerer Stärke auch in Deutschland auf. Sie konzentrieren sich der Statistik nach auf Nordwestdeutschland und den Rheingraben (Abbildung 11). Den geringen Datenmengen, die auf subjektiven Beobachtungen und Einschätzungen beruhen, zufolge ist eindeutig, dass heute mehr über Tornados in Deutschland berichtet wird als früher. Ob dies ein Effekt zunehmender Beobachtungsdichte und zahlreicher Videokameras ist oder einen realen Trend widerspiegelt, lässt sich auf der Basis der vorliegenden Daten bislang nicht eindeutig sagen. Dennoch gibt es durchaus eine Plausibilität, dass es

durch den Klimawandel häufiger zu Tornados kommen könnte. Diese Erwartung lässt sich dadurch erklären, dass durch den Temperaturanstieg mehr Wasserdampf in der Atmosphäre gespeichert wird, was ein höheres Energieangebot für Gewitter mit sich führt. Da heftige Gewitter als Voraussetzung zur Entstehung von Tornados aufgrund ihrer sehr speziellen und kleinräumigen Gegebenheiten schwer zu berechnen sind, ist eine Modellierung schwierig. Aus methodischen Gründen lässt sich die plausible Vermutung eines Zusammenhangs zwischen dem Klimawandel und der Tornadohäufigkeit in Deutschland bisher nicht absichern<sup>35</sup>.



Abb. 10: Tornado über Deutschland

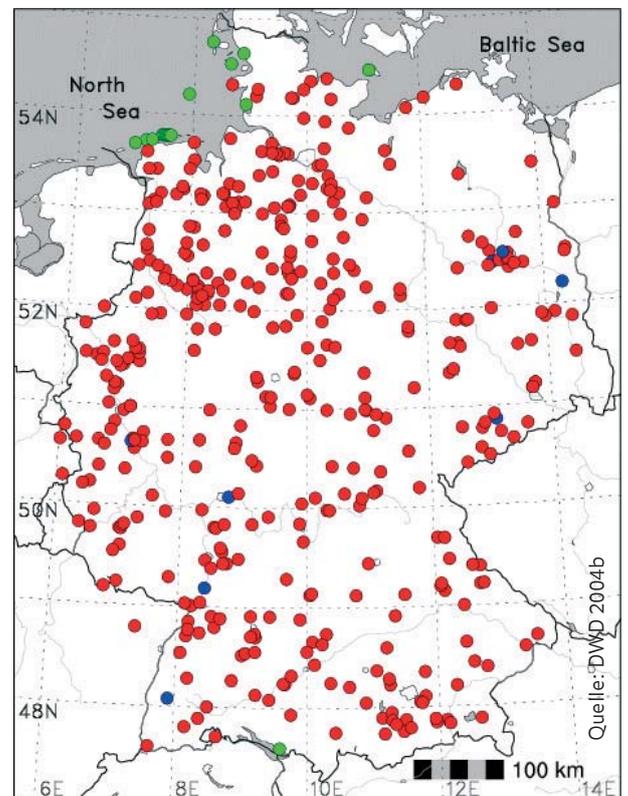


Abb. 11: Alle seit 1950 erfassten Tornados (ohne reine Wasserhosen)

- rot = Tornado
- grün = Land erreichende Wasserhose
- blau = Tornado oder Kleintrombe

<sup>33</sup> WWF 2006

<sup>34</sup> Das 1997 gegründete Netzwerk TorDACH sammelt Informationen zu Tornados, Wasserhosen und Gewitterfallböen in Deutschland, Österreich und Schweiz, um eine belast-

bare und vollständige Klimatologie dieser lokalen Wetterphänomene in den drei Ländern zu erstellen, siehe <http://www.tordach.org>.

<sup>35</sup> DWD 2004b

## Info-Kasten 6: Tornados

Tornados sind kurzlebige und räumlich stark begrenzte, aber vehement rotierende Luftmassen mit Bodenkontakt, die oft durch einen Wolkenschlauch mit rüsselförmigem Luftsog sichtbar werden. Sie entstehen beim Aufeinandertreffen großer Luftmassen von unterschiedlicher Temperatur und Luftfeuchtigkeit, also unter Voraussetzungen wie bei Gewittern. Starke Luftwirbel bilden sich aus, wenn der Temperaturunterschied zwischen den beiden Luftmassen groß ist. Starker Wind in der Höhe kurbelt diese Wirbel an, und aus einer Gewitterwolke kann sich eine Windhose Richtung Boden entwickeln. Erst wenn diese in Berührung mit dem Boden kommt, spricht man von einem Tornado.

Infolge ihrer räumlichen Begrenzung führen Tornados lediglich in den relativ kleinen betroffenen Gebieten verheerende Flur- und Sachschäden sowie Lebensgefahr durch umherfliegende Gegenstände mit sich. Häuser können abgedeckt, Bäume entwurzelt werden. Somit verursachen Tornados trotz geringer Lebensdauer und räumlicher Ausbreitung hohe Kosten. Als stärkster in Deutschland beobachteter Tornado gilt der "Pforzheim-Tornado", der im Juli 1968 zwei Menschenleben kostete und 300 Menschen verletzte. Er hinterließ eine Schneise von 27 km Länge und die Sachschäden beliefen sich auf ca. 55 Millionen Euro<sup>36</sup>.

### 3.2.3. Starkniederschläge

Starkniederschläge, d. h. die Konzentration der Regenfälle auf einige wenige Niederschlagsereignisse, und ihre Konsequenzen stellen weitere klimawandelbedingte Gefährdungen dar. Der Temperaturanstieg führt erhöhte Verdunstung mit sich, denn mit jedem Grad Celsius Lufterwärmung kann die Luft ca. 7 % mehr Wasserdampf aufnehmen. Wegen Zusammenstoßen von immer wärmeren mit kalten Luftmassen wird es durch den Klimawandel in zunehmendem Maße zu Starkniederschlägen – oft in Verbindung mit Gewittern – kommen, aber auch Steigungsregen fallen in ihrer Intensität stärker aus<sup>37</sup>.

Diese können Überflutungen an Seen, Flüssen und anderen Gewässern bewirken, was Leben gefährden, Infrastruktur beschädigen und menschliche Aktivität behindern kann. Die vom MPI-M und PIK berechnete Entwicklung zur Konzentration der Niederschläge auf weniger, dafür aber heftigere Regenfälle hat starken Einfluss auf den Wasserhaushalt und Erosionsvorgän-

ge. Längere Trockenheit verhärtet die Böden, was dazu führt, dass bei starken Regenfällen ein größerer Wasseranteil vom Boden nicht aufgenommen werden kann und somit oberflächlich abfließt. Bei brachliegenden oder nur spärlich bewachsenen Flächen beschleunigt sich mit diesem Vorgang der Erosionsprozess, und die Wasserlagerung verringert sich, was die landwirtschaftliche Nutzung ebenso erschwert wie die verhärteten Erdkrusten bei längerer Trockenheit. Lang anhaltende, starke Regenfälle können ferner Hangrutschungen auslösen, da Erdmassen bei zu großem Feuchtigkeitsgehalt ihre Haltfestigkeit verlieren. Auch die erwartete stärkere Konzentration der Niederschläge auf die Wintermonate erhöht die Wahrscheinlichkeit von vermehrten Wetterextremen. Die Tragweite von Starkniederschlägen in Form von Schnee erfuhren der Süden und Südosten Deutschlands im Frühjahr 2006, als der lange Winter Schneemassen u. a. nach Bayern brachte, zu Verkehrschaos führte und Dächer unter Schneelast zusammenbrechen ließ.

Tabelle 3: Auswirkungen von Starkniederschlägen auf verschiedene sozioökonomische Sektoren

Betroffene Sektoren	Überschwemmungen	Erosion	Erdrutsche	Schneemassen	Ungleichmäßige Niederschlagsverteilung
Wasserversorgung	X				X
Landwirtschaft		X	X		X
Gesundheit	X		X	X	X
Infrastruktur	X	X	X	X	

Quelle: eigene Darstellung

<sup>36</sup> www.tordach.org

<sup>37</sup> Rahmstorf & Schellnhuber 2006

### 3.3. Gletscherschmelze

Nicht nur das Eis der Arktis, sondern auch die Inlandgletscher müssen infolge der Temperaturerhöhung Volumeneinbußen hinnehmen. Sie gelten als Fieberthermometer des globalen Klimawandels. Bei einem sommerlichen Temperaturanstieg von 3 Grad Celsius, der ohne massiven Klimaschutz sehr wahrscheinlich ist, könnten nach neuesten Einschätzungen 80 % der 1990 vorhandenen Eismassen in den Alpen bis 2100 abschmelzen. Stiegen die Sommertemperaturen um 5 Grad, würden die Alpen praktisch eisfrei. Die deutschen Alpen könnten der gleichen Studie zufolge bereits in 20 Jahren eisfrei sein<sup>38</sup>.

Zwar betrifft die Gletscherschmelze nur einen geringen Teil der deutschen Alpen, da es in Deutschland nur fünf Gletscher gibt. Dennoch beeinflusst die Schmelze der Gletscher darüberhinaus in anderen Alpengebieten den hydrologischen Kreislauf und die Wasserwirtschaft, so auch im deutschen Voralpenland. Während der Jahrzehnte einer beschleunigten Schmelze werden die Flusspegel durch erhöhte Schmelzwasserzufuhr ansteigen, und es ist mit vermehrten Überschwemmungen zu rechnen.

Nach dem Abschmelzen der alpinen Gletscher drohen im Sommer niedrige Flusspegelstände und regionale Einschränkungen der Trinkwasserverfügbarkeit. Dies betrifft nicht nur die Trinkwasserversorgung der Menschen der Region, sondern ebenfalls die Wasserversorgung der alpinen Ökosysteme. Weiterhin kann es durch die Gletscherschmelze zu Engpässen in der Energieversorgung kommen, da der Wassermangel zum Ausfall von Wasserkraftwerken führt<sup>39</sup>.



Abb. 12: Aletschgletscher, größter Gletscher der Alpen

Der Gletscherschwund an sich wird voraussichtlich dazu führen, dass die Hälfte der heutigen Skigebiete der Alpenregion bis 2050 geschlossen werden müssen<sup>40</sup>. Der Einfluss der Klimaänderung auf den Wintersport in den Alpen ist damit gravierend. Eine weitere Bedrohung stellt das Tauen der Permafrostböden dar, das an steilen Hängen Hangrutschungen verursachen kann, die wiederum Gefahren für Menschenleben und Infrastruktur und damit für den Tourismus bergen. Die Gletscherschmelze resultiert zusätzlich in erhöhter Lawinengefahr, was ähnliche Gefahren wie Erdbeben mit sich führt.

Tabelle 4: Auswirkungen der Gletscherschmelze auf verschiedene sozioökonomische Sektoren

Betroffene Sektoren	Gletscherschwund	Veränderter Wasserhaushalt	Tauen Permafrostböden	Erhöhte Lawinengefahr
Wasserversorgung	X	X		
Gesundheit		X	X	X
Tourismus	X		X	X
Infrastruktur			X	X

Quelle: eigene Darstellung

<sup>38</sup> Zemp et al 2006

<sup>39</sup> Weber 2003

<sup>40</sup> Zemp et al 2006

### 3.4. Hochwasser an Flüssen

Die Oderflut 1997 und das Elbehochwasser 2002 sind vielen Deutschen noch gut in Erinnerung, während zahlreiche direkt Betroffene bis heute unter den Nachwirkungen leiden. Aber auch bei anderen großen Flüssen Deutschlands und ihren Nebenflüssen herrscht häufig Hochwassergefahr. Zu extremen Pegelständen und Hochwassern können aufgrund des Klimawandels besonders lange und intensive Niederschläge, die Niederschlagskonzentration auf die Wintermonate oder extreme Schnee- und Gletscherschmelze führen. Betroffen sein werden in den nächsten Jahrzehnten in Deutschland hauptsächlich Flüsse mit Ursprung im südlichen Deutschland und speziell in der Alpenregion, da hier schmelzende Gletscher und zunehmende Starkniederschläge erwartet werden, z. B. der Rhein. Das Ausmaß der Überschwemmungen hängt ausschlaggebend von den Verhältnissen im Flusseinzugsgebiet ab. Untersuchungen im Einzugsgebiet des Neckars ergaben für das Jahr 2050 eine Zunahme der mittleren Hochwasserabflüsse um ca. 40-50 % und eine Zunahme von 100-jährigen Hochwasserständen um 15 %<sup>41</sup>.

Ökosysteme werden durch Hochwasser meist nicht dauerhaft direkt geschädigt. Überschwemmungen mit hohen Fließgeschwindigkeiten verstärken allerdings die Erosion, was Ökosysteme, Landwirtschaft und Infrastruktur gleichermaßen beeinträchtigt. Das Ausmaß der Überschwemmungen wird durch menschliches Eingreifen auf die Wasserspeicherfähigkeit der Landschaft oft verstärkt, denn Änderungen der Landnutzung, Zerstörung von Feuchtgebieten durch Bodenversiegelungen im Auenbereich, Urbanisierung und Flussbegradigungen führen zu erhöhter Hochwassergefahr. Problematisch werden Hochwasser insbesondere dadurch, dass Flussauen zu besiedelten Gebieten umgewandelt werden, sodass Infrastruktur überschwemmt wird, sogar wenn Flüsse nur in natürlichem Ausmaß

über ihre Ufer treten. Es wächst nach Überflutungen das Risiko schlechter Trinkwasserqualität und bakteriell übertragener Infektionskrankheiten. Die Landwirtschaft ist von Überschwemmungen besonders negativ betroffen, falls schadstoffreicher Schlick auf Feldern abgelagert wird oder durch Wassermassen die Ernten vernichtet werden.



Abb. 13: Hochwasser in deutschen Städten

Hinzu kommt, dass die Ansammlung von teuren Bauten an Flussufern zunimmt, was regelmäßig die Hochwasserschäden erhöht. Infolgedessen werden die Schäden künftiger Überschwemmungen absehbar weiter steigen, selbst ohne Zunahme durch den Klimawandel. Häufige Hochwasser multiplizieren sich mit diesem ohnehin vorhandenen Anstieg. Im August 2002 verursachte das Elbehochwasser in Deutschland Schäden von etwa 10 Milliarden Euro<sup>42</sup>. Mit Schadensübernahme von Seiten der Versicherungen oder des Staates ist in Zukunft nur begrenzt zu rechnen, so dass Flussanrainer selbst Maßnahmen gegen Hochwasserschäden vornehmen sollten.

Tabelle 5: Effekte von Überschwemmungen auf verschiedene sozioökonomische Sektoren

Betroffene Sektoren	Überschwemmungen	Erosion
Ökologie	X	X
Wasserversorgung	X	
Landwirtschaft	X	X
Gesundheit	X	
Infrastruktur	X	X

Quelle: eigene Darstellung

<sup>41</sup> UBA 2006b

<sup>42</sup> PIK 2005

## 4. Anpassung an den Klimawandel in Deutschland

Unter dem Begriff Anpassung oder Adaptation versteht man in Zusammenhang mit der Klimaveränderung die anpassende Reaktion natürlicher und sozioökonomischer Systeme an geschehende oder erwartete klimatische Veränderungen und deren Folgen. Ziel der Anpassung ist es, einerseits Schäden zu begrenzen, andererseits eventuelle Vorteile des Klimawandels zu nutzen<sup>43</sup>. Der Anpassungsprozess verläuft in verschiedenen miteinander interagierenden Phasen. Zunächst

wird durch integrierte Analysemodelle Wissen zusammengetragen. Eine nächste Phase ist die Erfassung des Risikos einer bestimmten Ereignisart, worauf die Bewusstseinsbildung und der Aufbau von Wissen bei Involvierten und der Bevölkerung folgen. Idealerweise mündet das in ein „Mainstreaming“ der Klimaanpassung in politischen Plänen und Strategien. Die umgesetzten Anpassungsmaßnahmen sollten fortwährend beobachtet und ihre Effektivität ausgewertet werden<sup>44</sup>.

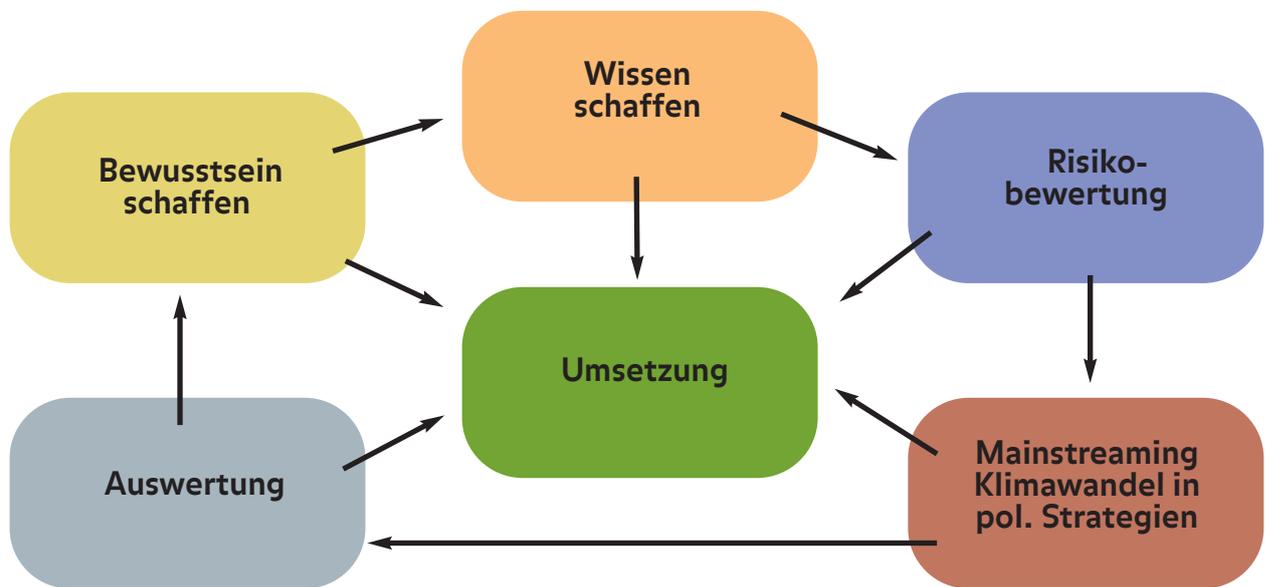


Abb. 14: Ganzheitlicher Anpassungsprozess an den Klimawandel

Quelle: Verändert nach Warrick 2000

Kenntnis über die Art und das Ausmaß der Veränderung für Deutschland liefert das MPI-M mit den vorliegenden Szenarien bezüglich der veränderten Niederschlagsmuster und der Temperaturerhöhung. Der begonnenen Vulnerabilitätsanalyse zufolge sind die Sektoren Wassermanagement, Forst- und Landwirtschaft, Gesundheit, Elektrizitätswirtschaft, Tourismus und Verkehr als dem Klimawandel gegenüber empfindlich beurteilt worden<sup>45</sup>. Die nächste zentrale Phase der Planung und Umsetzung einer nachhaltigen nationalen Anpassungsstrategie an den begonnenen Klimawandel

soll gegenwärtig in Deutschland beginnen. Zur Unterstützung dieses Prozesses wurde im Oktober 2006 das beim Umweltbundesamt angesiedelte Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass) eingeweiht.<sup>46</sup>

Entsprechend der dargestellten erwarteten Klimafolgen zeigen sich die in Tabelle 6 gezeigten Handlungsfelder als besonders gewichtig. Sie könnten Schwerpunkte einer deutschen Anpassungsstrategie sein.

<sup>43</sup> IPCC 2001b  
<sup>44</sup> Warrick 2000

<sup>45</sup> BMBF 2004  
<sup>46</sup> <http://osiris.uba.de/gisudienste/Kompass> 2006

Tabelle 6: Geplante Anpassungsmaßnahmen auf der Basis politischer Entscheidungen zu einzelnen Klimawandelfolgen und Verantwortlichkeit, ohne Anspruch auf Vollständigkeit

Auswirkungen des Klimawandels	Beispiele für notwendige Anpassungsmaßnahmen	Verantwortlichkeit
<b>Meeresspiegelanstieg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ effektiver Küsten- und Erosionsschutz sowie Hochwasserschutz gemäß erwarteter Küstenveränderungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Regierungen (Bund &amp; Länder)</li> <li>■ Anrainer (privat &amp; kommerziell)</li> <li>■ Nutzer, etc.</li> </ul>
<b>Überschwemmungen an Flüssen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Renaturierung von Flusslandschaften</li> <li>■ eingeschränkte Nutzung von Flussauen</li> <li>■ Einbezug der Hochwassergefahren in infrastrukturelle Planung</li> <li>■ Ausbau der Warnsysteme</li> <li>■ technischer Hochwasserschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Regierungen (Bund &amp; Länder)</li> <li>■ Anrainer (privat &amp; kommerziell)</li> <li>■ Nutzer (Verkehrswesen, Fischerei, etc.)</li> <li>■ Wasserwirtschaft, etc.</li> </ul>
<b>Hitzewellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ effektives Wassermanagement mit Bewässerungsinfrastruktur</li> <li>■ verbesserte Information über angepasstes Verhalten an die Bevölkerung</li> <li>■ Kühlräume für gefährdete Personen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Regierungen (Bund &amp; Länder)</li> <li>■ Bevölkerung</li> <li>■ Landwirtschaft</li> <li>■ Wasserwirtschaft</li> <li>■ Gesundheitssektor, etc.</li> </ul>
<b>Starkniederschläge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ bessere Vorhersagen und Frühwarnsysteme</li> <li>■ Einbezug von Hangrutschrisiken in infrastrukturelle Planung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Regierungen (Bund &amp; Länder)</li> <li>■ Landschafts- und Städteplaner, etc.</li> </ul>
<b>Stürme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Stabilität der Infrastruktur verbessern</li> <li>■ verbesserte Warnsysteme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Regierungen (Bund &amp; Länder)</li> <li>■ Bauwirtschaft, etc.</li> </ul>
<b>Gletscherschmelze</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ verstärkte Dämme und Hangbefestigungen</li> <li>■ Wassermanagement</li> <li>■ Lawinensicherung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Regierungen (Bund &amp; Länder)</li> <li>■ Landwirtschaft</li> <li>■ Wasserwirtschaft</li> <li>■ Bevölkerung, etc.</li> </ul>

Quelle: Eigene, erweiterte Darstellung nach Wuppertal Institut 2004

## Wassermanagement

Die größte Herausforderung stellt, wie in Tabelle 6 demonstriert, das Wassermanagement in Deutschland dar. Sowohl der Meeresspiegelanstieg, Hochwasser, Hitzewellen, Starkniederschläge wie auch die Gletscherschmelze beeinflussen den Wasserhaushalt. Gleichzeitig sind Wasservorrat und -qualität ausschlaggebend für Land- und Forstwirtschaft, Biodiversität, menschliche Gesundheit, Energieversorgung und den Schiffsverkehr. Während vor allem der Osten Deutschlands mit dem fortschreitenden Klimawandel unter Trockenheit und Wassermangel zu leiden haben wird, werden hauptsächlich größere Flüsse wegen der Gletscherschmelze zunächst häufiger von Überschwemmungen bedroht werden, und die Küstenregionen werden gegen Sturmfluten kämpfen müssen. Wasser muss daher mancherorts gespeichert und die Vorräte müssen über das Jahr verteilt für Landwirtschaft, Industrie und Privathaushalte zur Verfügung gestellt werden. Andernorts muss Wasser gestaut werden, um Überschwemmungen zu verhindern. Auch Bodenentsiege-

lung und Rückgängigmachung von Flussbegradigungen stellen Hochwasserschutz an Flüssen und Anpassungsmethoden an erhöhte Hochwassergefahr im Zuge des Klimawandels dar.

Besonders schwierig erweist sich die Anpassung an die Veränderung der von Gletschern gespeisten Flüsse. Denn zunächst wird die Gletscherschmelze zu verstärkten Überschwemmungen führen. Sind die Gletscher aber abgeschmolzen, tritt der gegenteilige Effekt ein: Flüsse führen mit entsprechenden Konsequenzen Niedrigwasser. Um Nahrungsmittelsicherheit zu gewährleisten, müssen das Wassermanagement verbessert und Agrarprodukte wie Getreidesorten (weiter)entwickelt werden, damit sie auf Trockenheit flexibler reagieren. Gentechnisch veränderte Saatgüter stellen jedoch eine äußerst umstrittene Anpassungsmethode dar, da ihre möglichen gesundheitlichen Folgen derzeit nicht vollständig abgeschätzt werden können.

## Info-Kasten 7: Integrierter Küstenschutz zur Anpassung an den Klimawandel

Die Zukunft der marinen Ökosysteme sowie die Nutzungsmöglichkeiten der Meere durch den Menschen hängen stark von der Wirksamkeit des Klimaschutzes ab. Parallel zur Minderung der Klimaveränderung und damit des Meeresspiegelanstiegs muss aktive Anpassung an den steigenden Meeresspiegel und vermehrt auftretende Sturmfluten geleistet werden. Neben der Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Meeresökosysteme als Anpassungsmaßnahme der Natur an die Klimawandelfolgen ist der integrierte Küstenschutz ein zentraler Ansatz, um auch anthropogene Systeme dem Wandel anzupassen. Schützende Anpassungsmaßnahmen, seien es technische Verbesserungen und Innovationen, politische Strukturen oder Verhaltensänderungen, gibt es zahlreiche. Sie reichen vom Bau höherer Deiche und zweiter Deichlinien über das Errichten von teuren Sperrwerken gegen Sturmflutengefahren bis zum Anlegen von Überschwemmungsgebieten wie Salzwiesen, die Raum für den Küstenrückgang oder Küstenschutz reservieren.

Künstliche Sandzufuhr zur Erosionsbekämpfung ist uns z. B. von der Insel Sylt bereits bekannt. Die Umstellung auf nachhaltige Landnutzung durch optimale Bewässerung und Bodennutzung sollte selbstverständlich sein. Das Einrichten von Off-Shore-Häfen z. B. vor Hamburg und Bremen, damit Flüsse nicht weiter vertieft werden müssen, ist dahingegen eine bislang noch ungewöhnlichere Maßnahme. Weiter könnte man die Verantwortung der Deichinstandhaltung neu verteilen, so dass nicht nur Bund und Länder, sondern gegebenenfalls auch Anlieger und Emittenten entsprechend dem Verursacherprinzip zur Kostenübernahme verpflichtet werden. Schließlich bleibt als letzte Möglichkeit der Rückzug aus überflutunggefährdeten Küstengebieten.

Experten gehen davon aus, dass der Meeresspiegelanstieg eine starke Kostenerhöhung für den Küstenschutz mit sich bringen wird, will man die heutigen Sicherheitsstandards beibehalten. Schon auf relativ kleinen Küstenabschnitten können dadurch hohe Kosten entstehen, wie folgende Beispiele zeigen. Für das Gebiet Wangerland rechnet das KRIM-Projekt (Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste) mit Kosten

von ca. 10 Mio. Euro für Deicherhöhungen um 0,75 m über 28 km Länge. Eine zweite Deichlinie von 3 m Höhe und 17 km Länge würde ca. 20 Mio. Euro kosten. Im Fall von Sylt geht man bei einem Meeresspiegelanstieg von nur 25cm davon aus, dass man die Insel durch Sandvorspülungen sichern könnte. Die Kosten für diese Vorspülungen wurden für Sylts Westküste auf 33 Mio. Euro bis 2050 beziffert<sup>47</sup>. Allerdings kann diese „weiche“ Schutzmaßnahme durch heftige Stürme oder Sturmfluten stark beschädigt werden und damit die Wirkung der Investitionen in kurzer Zeit zunichte gemacht werden. Des Weiteren muss der Wert des Gebäudebestands in den Regionen, die von Meeresspiegelanstieg und vermehrten Sturmfluten betroffen sein könnten, vom Finanz- und Versicherungssektor neu berechnet werden. Zudem bleibt die Zuständigkeitsfrage ungeklärt. Dazu gehört auch die Frage, ob sich Bundesländer ohne Küstenanteil weiterhin finanziell am Küstenschutz beteiligen oder ob die Küstenländer einzig für den Küstenschutz verantwortlich gemacht werden.

Abgesehen von der Finanzierung treten weitere Probleme auf, denn die einzelnen Anpassungsmaßnahmen bergen großes Konfliktpotential zwischen den verschiedenen involvierten Interessengruppen: Naturschützer fordern natürliche Buchten, Krabbenfischer dagegen freie Durchfahrten zum offenen Meer, die Tourismusbranche baut auf hübsche Häfen und Bauern benötigen Entwässerungskanäle. Deshalb muss in einem integrierten Küstenzonenmanagement auch Konfliktmanagement inbegriffen sein<sup>48</sup>.

Essentiell ist es jedoch vor allem, die neusten Forschungsergebnisse zum Ausmaß des Meeresspiegelanstiegs bei allen Anpassungsmaßnahmen zu Grunde zu legen, auch wenn diese in den Berichten des IPCC noch nicht enthalten sind. Um für einen Meeresspiegelanstieg von 1,80 m vorzusorgen, reicht eine Deicherhöhung um "nur" 1,80 m nicht aus, da weitere Effekte für erhöhte Tiden sorgen. In diesem Fall müssten die Deiche um ca. 2,50 bis 3 Meter erhöht und damit bis zu zehn Meter verbreitert werden, um die Bevölkerung der überflutunggefährdeten Küstenniederungen zu schützen.

<sup>47</sup> WBGU 2006

<sup>48</sup> BMU 2006

## Herausforderungen

Im Rahmen der Anpassung spielt auch die Bewusstseinsbildung für die drohenden Gefahren und eventuellen Vorteile des Klimawandels bei Entscheidungsträgern und in der Öffentlichkeit eine Rolle. Zu diesem Bewusstsein gehört auch Wissen über den vernünftigen Umgang mit den vielen Unsicherheiten des Klimawandels und der zukünftigen Entwicklungen. Denn trotz Unsicherheiten kann mit der Anpassung nicht abgewartet werden, sondern Realitätssinn und Flexibilität sind heute wie morgen Voraussetzung für nachhaltige Adaptionsstrategien. Zudem muss erkannt werden, dass Adaptation eine gesamtgesellschaftliche Herausforderung ist.

Nicht nur politische Entscheidungsträger und Treibhausgas ausstoßende Industrien sind für die erfolgreiche Umsetzung der Anpassungsschritte verantwortlich, sondern ebenfalls Verwaltung, Medien, Umweltverbände, Bildung, Forschung sowie jeder einzelne Mitbürger sind zur aktiven Mitgestaltung der Anpassung verpflichtet. Zum Dialog dieser Akteure sollten Netzwerke geschaffen werden, die die Zusammenarbeit der Akteure ebenso wie den Austausch mit anderen Ländern vereinfacht<sup>49</sup>. Entscheidend ist die Zusammenarbeit der einzelnen Sektoren, Akteure, Stakeholder und Politikfelder auf lokaler, regionaler, nationaler und globaler Ebene mit gemeinsamem Ziel.

Auch aufgrund dieser Komplexität wurden Anpassungsmaßnahmen bisher noch nirgendwo hundertprozentig erfolgreich umgesetzt, und niemand wird behaupten, die Anpassung sei eine simple Aufgabe. Wie passt man sich schon einem ständigen Wandel an, über den zudem noch große Unsicherheit besteht?

Abgesehen von diesen Ungewissheiten bestehen weitere Schwierigkeiten in der

- Geschwindigkeit der Veränderungen,
- Übertragung der wissenschaftlichen Erkenntnisse in politische Entscheidungen,
- Komplexität und Verflochtenheit der Handlungsebenen von lokal bis global,
- Interessenkonflikte zwischen involvierten Akteuren,
- Frage um die Entscheidungs- und Kostenträger,
- Umsetzbarkeit und Realitätssinn erster Anpassungsmaßnahmen und
- Gefahr von „one-size-fits-all“-Denkweise<sup>50</sup>.

Auf globaler Ebene existieren bereits erste Finanzierungsmechanismen wie der im Kyoto-Protokoll verankerte Adaptation-Fonds, der Anpassungsprojekte und -programme in Entwicklungsländern finanzieren soll. Wie die Kosten der nationalen Adaptation in Deutschland verteilt werden sollen, ist noch nicht entschieden. Bisher sind die Kosten des Küstenschutzes beispielsweise auf den Bund und alle Bundesländer verteilt. Ob die Binnenländer sich aber auf Dauer und bei deutlich steigenden Kosten weiterhin im gleichen Verhältnis an dem angepassten Küstenschutz beteiligen werden, ist sicherlich fraglich. Der Klimawandel wird vermutlich auch von dieser Seite her verteilungspolitische Debatten anstoßen. Zentral für die Finanzierung wird sein, durch Umsetzung des Verursacherprinzips die Treibhausgasemittenten zumindest zur Teilfinanzierung der Anpassungsmaßnahmen und Schäden heranzuziehen. Eine Möglichkeit ist z. B., die Zertifikate im Rahmen des EU-Emissionshandels zu versteigern und den Erlös einem entsprechendem Versicherungsfonds zuzuführen.

## Exkurs: Auswirkungen des Klimawandels auf NRW & NRWs Adaptionsmaßnahmen

Das Klima Nordrhein-Westfalens ist durch den Rheingraben und die Nähe zum Atlantik bedingt relativ mild. Hier beträgt die Durchschnittstemperatur heutzutage 9,1 °C, womit sie ca. 1 °C über Deutschlands Durchschnitt liegt. Durch die Nähe zum Atlantik ist auch der Niederschlag mit 876 mm pro Jahr höher als in den meisten anderen Gebieten Deutschlands.

Nach Angaben der Klimaszenarien des MPI-M entsprechen sowohl die Trends der Temperatur- als auch die Niederschlagsveränderungen bis 2100 in NRW denen

der Bundesrepublik, nämlich Temperaturanstieg und Verlagerung des Niederschlages in die Wintermonate. Es ist jedoch zu bemerken, dass die Veränderungen in NRW im Vergleich zum übrigen Deutschland unterdurchschnittlich ausfallen könnten. Die Temperatur könnte demnach im Winter in NRW um ca. 2,3 bis 3,5 °C ansteigen (Abb. 4), in anderen Gebieten Deutschlands um 3 bis über 4 °C. Die Niederschläge könnten sich im Sommer um ca. 10-20% vermindern und im Winter um 11 bis 24 % ansteigen (Abb. 6 sowie Tabelle 7), während die Veränderungen in anderen

<sup>49</sup> PIK 2005

<sup>50</sup> Dietz 2006

Regionen Deutschlands bis zu 50 % betragen können. Zu verdanken sind diese angenommenen geringeren Veränderungen der Nähe zum Atlantik, der ausgleichend wirkt.

Schon heute beginnt in NRW die Apfelblüte neun Tage früher als in der vorindustriellen Zeit. Die Verlängerung der Vegetationszeiten beträgt ebenfalls ca. neun Tage und auch das Eindringen neuer Tier- und Pflanzenarten wurde beobachtet: Wespenspinne, Dornfingerspinne, Robinien und Schmetterlingsstrauch fühlen sich zunehmend wohl in NRW. Die wahrscheinlich im Winter stark zunehmenden Niederschläge in Süddeutschland nähren den Rhein, was auch in NRW in Kombination mit vermehrter Gletscherschmelze zu häufigeren Hochwassersituationen führen könnte. Diese werden aber abnehmen, sobald die Alpengletscher weitgehend geschmolzen sind und den Rhein nicht mehr mit Schmelzwasser speisen – also schon in zwei Jahrzehnten. Daraufhin droht dem Rhein Niedrigwasser, was Nutz- und Trinkwasserknappheit bedeutet und die Schifffahrt einschränkt, wie schon bei den Hitzewellen der letzten Jahre beobachtet. Problematisch für die Anpassungsstrategie ist, dass zunächst vor allem verstärkter Hochwasserschutz, später dann in erster Linie Anpassung an Niedrigwasserstände not-

wendig sein könnte. Außer den Rheinpegelschwankungen sind in NRW Starkniederschläge, Hitzewellen und Tornados zu erwarten – wie auch im übrigen Deutschland.

Anpassung geschieht bereits im Sektor der Wasserwirtschaft: Die Emschergenossenschaft betreibt Renaturierung von Flüssen und Bächen, Auen werden ausgeweitet, und Talsperreneinsatz bei Hochwasser ist geplant. Gefordert wird eine Umkehr des Trends von Versiegelung hin zu Entsiegelung. Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung wurden begonnen. Zumeist befinden sich die Anpassungsaktivitäten auch in NRW noch in der Planungsphase oder höchstens im frühen Stadium der Umsetzung. Auch hier sind Entscheidungs- und Kostenträger oft noch nicht identifiziert. Ein erstes Hintergrundpapier zur Anpassungsstrategie in NRW soll im Frühjahr 2007 vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen vorgelegt werden, das die momentane Situation in NRW (Klimatrends, konkret feststellbare Veränderungen für Vegetation, Wasser, Boden, Naturschutz) erfasst. Daraus soll dann eine Strategie entwickelt werden, die Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen ableitet und in die Umsetzung bringt.

**Tabelle 7: Veränderungen von Temperatur und Niederschlag bis 2100 in NRW**

<b>Temperatur</b>	Jahresdurchschnitt	Anstieg um 1,8 bis 2,9 °C
	Sommer	Anstieg um 2 bis 3,2 °C
	Winter	Anstieg um 2,3 bis 3,5 °C
<b>Niederschlag</b>	Jahresdurchschnitt	Anstieg um 5 bis 10 %
	Sommer	Abnahme um 10 bis 16 %
	Winter	Anstieg um 11 bis 24 %

Quelle: MPI-M 2006

## Fazit

Klimawandel geschieht nicht nur in anderen Teilen der Welt, sondern auch hier in Deutschland – und zwar heute. Die Veränderungen von Temperaturverhältnissen und Niederschlagsmustern haben zum Teil auch bei uns starke Auswirkungen auf verschiedenste Sektoren. Eine Anpassung an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels ist möglich und sinnvoll. Es ist alles daran zu setzen, dass der Klimawandel keine Dimensionen

annimmt, die sich auch durch Anpassung nicht mehr bewältigen lassen. Minderung des Klimawandels und Anpassung – also Bewältigung der unvermeidbaren Konsequenzen des Klimawandels – müssen daher Hand in Hand gehen. Hierzu gilt es, mit allen beteiligten Akteuren wie Politik, Industrie, Gesellschaft, NROs, etc. gemeinsame Ziele auf der Grundlage der jüngsten Forschungsergebnisse zu erarbeiten und zu verfolgen.

# Quellenverzeichnis

- BfN (2004): Biodiversität und Klima, [http://www.bfn.de/01/0102\\_131.htm](http://www.bfn.de/01/0102_131.htm), 13.8.2006
- BMBF (2004): Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen, Bonn, Berlin 2004
- BMU (2006): Integriertes Küstenzonen Management in Deutschland, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/kuestenzonen.pdf>- 20.8.2006
- Ciais, P. et al(2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, doi: 10.1038/nature03972.
- Die Welt (2006): Sand oder Beton für den Küstenschutz auf Sylt, Internet: <http://www.welt.de/data/2006/02/23/850045.html>
- Dietz, Kristina (2006): Vulnerabilität und Anpassung gegenüber Klimawandel aus Sozial-ökologischer Perspektive. Diskussionspapier 01/06 des Projektes "Global Governance und Klimawandel", Berlin
- dsa (2006): Klimaexperte: In 30 Jahren nur noch zwei deutsche Wintersportgebiete
- DWD (2003): Klimastatusbericht 2003, Die Auswirkungen der Hitzewelle von 2003 auf die Gesundheit, [http://www.windenergie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_AZ/Klimafolgen%20und%20Klimaschutz/gesundheit\\_hitzewelle.pdf](http://www.windenergie.de/fileadmin/dokumente/Themen_AZ/Klimafolgen%20und%20Klimaschutz/gesundheit_hitzewelle.pdf) - 23.7.2006
- DWD (2004a): Pressebericht des Deutschen Wetterdienstes zum Klima in den Regionen Deutschlands, <http://www.dwd.de/de/Zusatzmenues/Presse/Mitteilungen/20041130.htm>- 12.6.2006
- DWD (2004b): Klimastatusbericht 2004, Tornado- und Downburstklimatologie
- Germanwatch (2005): Globaler Klimawandel: Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten. Bonn. <http://www.germanwatch.org/rio/klima05.htm>
- IPCC (2001a): Climate Change 2001, Synthesis Report, Summary for Policymakers
- IPCC (2001b): Climate Change 2001, Impacts, adaptation, and Vulnerability, Cambridge, 2001, ISBN: 0 521 80768 9
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, IPCC Secretariat, Switzerland
- Klein, R. J. T., & Nicholls, R. J. (1999): Assesment of coastal vulnerability to climate change, *Ambio* 28: 182-187
- Leuschner, C. (2005): Auswirkungen von Klimawandel und Landschaftswandel auf die Biodiversität, Universität Göttingen, Abteilung Ökologie und Ökosystemforschung Internet: [http://www.michaelottostiftung.de/zip/chr\\_leuscher-31102005.pdf](http://www.michaelottostiftung.de/zip/chr_leuscher-31102005.pdf) 2006-10-24
- Luhmann, H.-J., (2005): Klimawandel und Küstenschutz, *Berliner Republik* 2/05, s.66-70
- Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein (2001): Generalplan Küstenschutz Integriertes Küstenschutzmanagement in Schleswig-Holstein, Kiel, ISSN 0935 -4123
- Molter, A. (2002): Meeresspiegelschwankungen und ihre Auswirkungen auf die Natur- und Kulturlandschaft, Universität Karlsruhe, Matrikelnummer 988 459
- MPI-M (2006): Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert
- NASA (2003): Natural Hazards, <http://earthobservatory.nasa.gov>
- PIK (2005): Klimawandel in Deutschland, Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Rahmstorf, S. (2006): A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise, *Science*, [www.sciencexpress.org/](http://www.sciencexpress.org/) 14 December 2006/Page1/10.1126/science.1135456
- Rahmstorf, S. und Schellnhuber, H.J. (2006): *Der Klimawandel*, München 2006, ISBN: 3 406 508669
- Stott, P. A., Stone, D. A. & Allen, M. R. (2004), Human contribution to the European heatwave of 2003, *NATURE*, Vol 432, 2 December 2004
- Umwelt (2005): Ein Vorgeschmack auf das Klima der Zukunft, *UMWELT 2/05 KLIMA* s. 52-54
- UBA (2006a): Künftige Klimaänderungen in Deutschland- Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert, Hintergrundpapier April 2006
- UBA (2006b): Was Sie über vorsorgenden Hochwasserschutz wissen sollten, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3019.pdf> 7.8.2006
- Warrick, R.A. (2000): Strategies for vulnerability and adaptation assessment in the context of national communications. *Asia-Pacific Journal for Environment and Development* 7 (1), S. 43-51
- WBGU (2006): Die Zukunft der Meere- zu warm, zu hoch, zu sauer, Sondergutachten, Berlin, ISBN: 3-936191-13-1
- Weber (2003): Gletscherschwund und Klimawandel an der Zugs Spitze und am Vernagtferner (Öztaler Alpen), Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaft, München
- Woth (2005): Die Ruhe vor dem Sturm [http://w3g.gkss.de/staff/storch/Media/sturmflut0510/GKSS.PM\\_Sturmflut.pdf](http://w3g.gkss.de/staff/storch/Media/sturmflut0510/GKSS.PM_Sturmflut.pdf)
- Wuppertal Institut (2004): Anpassung an nicht mehr vermeidbaren Klimawandel, [http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wibeitrag/anpassung-klimawandel.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/anpassung-klimawandel.pdf), 12. 8. 2006
- WWF (2006): Stormy Europe, The power sector and extreme weather, Gland, Schweiz
- Zemp, M., W. Haeberli, M. Hoelzle, and F. Paul (2006): Alpine glaciers to disappear within decades?, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L13504, doi:10.1029/2006GL026319
- Internetseiten:**  
<http://osiris.uba.de/gisdienste/Kompass/> - 12.9.2006  
<http://www.tordach.org> - 23.8.2006

## Was macht Germanwatch?

Germanwatch e.V. setzt sich seit 1991 für eine soziale und ökologische Gestaltung der Globalisierung ein. Wir arbeiten u.a. auf folgende Ziele hin:

- ▶ wirkungsvolle, gerechte Instrumente und ökonomische Anreize für den Klimaschutz
- ▶ faire Chancen für Entwicklungsländer durch Abbau von Dumping und Subventionen im Agrarhandel; gerechter Welthandel
- ▶ ökologisches und soziales Investment
- ▶ Einhaltung sozialer und ökologischer Standards durch multinationale Unternehmen

Durch den Dialog mit Politik und Wirtschaft sowie durch Medien- und Öffentlichkeitsarbeit fördert Germanwatch notwendige Denk- und Strukturver-

änderungen. Die ökonomische und ökologische Umorientierung im Norden ist die Voraussetzung dafür, dass die Menschen im Süden unter menschenwürdigen Bedingungen leben und alle Regionen sich nachhaltig entwickeln können.

Auch Sie können sich für diese Ziele engagieren. Werden Sie Germanwatch-Mitglied oder unterstützen Sie uns durch eine Spende.

Germanwatch e.V.  
Kontonr. 32 123 00, BLZ 100 205 00  
Bank für Sozialwirtschaft AG

Vielen Dank!

Weitere Informationen finden Sie unter [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)

AutorInnen: Rixa Schwarz, Sven Harmeling,  
Christoph Bals  
Redaktion: Anika Busch, Gerold Kier

Layout: Dietmar Putscher

ISBN: 978-3-939846-06-2  
Bestellnummer: 07-2-02  
[www.germanwatch.org/klima/klideu07.htm](http://www.germanwatch.org/klima/klideu07.htm)

Februar 2007

Mit finanzieller Unterstützung des



Ministerium für Umwelt  
und Naturschutz, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz des  
Landes Nordrhein-Westfalen



### Kontakt

Germanwatch  
Büro Bonn  
Dr. Werner-Schuster-Haus  
Kaiserstraße 201  
D-53113 Bonn  
Tel.: +49 (0) 228 - 60492-0, Fax: -19

Germanwatch  
Büro Berlin  
Voßstraße 1  
D-10117 Berlin  
Tel.: +49 (0) 30 - 28 88 356-0, Fax: -1

E-Mail: [info@germanwatch.org](mailto:info@germanwatch.org)  
[www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)

