

Hintergrundpapier:

**„Klimafolgen und Anpassung an den Klimawandel in Deutschland
– Kenntnisstand und Handlungsnotwendigkeiten“**

1. Einführung

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen, vor denen die Menschheit heute steht. Er wird – darin ist sich die weit überwiegende Zahl der Klima-Experten einig – gravierende Folgen für die Menschen und die Umwelt haben. Zum Teil sind Auswirkungen bereits heute zu beobachten. Die für Deutschland künftig zu erwartenden Schäden können ab 2050 im dreistelligen Milliardenbereich pro Jahr liegen.

Das Wissen über drohende Gefahren und mögliche Handlungsoptionen ist in den vergangenen Jahrzehnten beachtlich gestiegen. Es kommt jetzt vor allem darauf an, zukünftige Risiken des Klimawandels für die einzelnen Regionen in Deutschland zu erkennen und drohende Schäden durch aktiven Klimaschutz und Anpassungen zu begrenzen.

2. Begründung der Handlungsnotwendigkeit für Anpassungsmaßnahmen in Deutschland

Die Stürme und Überschwemmungen haben sich weltweit im vergangenen Jahrzehnt gegenüber den 60er Jahren verdoppelt bis verdreifacht, die volkswirtschaftlichen Schäden versechsfacht. Die Klimaänderungen haben auch in Deutschland große

volkswirtschaftliche Auswirkungen. Beispielsweise geht das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) anhand von integrierten Modellrechnungen davon aus, dass global bei ungebremsten Treibhausgasemissionen bis 2100 volkswirtschaftliche Schäden in einer Höhe von bis zu 20 Billionen US-Dollar¹ jährlich zu erwarten sind. Das wären etwa 4 bis 8 Prozent der für diesen Zeitpunkt erwarteten Weltwirtschaftsleistung. Begänne man dagegen bereits heute mit aktivem und anspruchsvollem Klimaschutz², so ließen sich diese Schäden um mehr als die Hälfte (12 Billionen US-Dollar) verringern. Die Kosten des Klimaschutzes lägen mit etwa 3 Billionen US-Dollar weit darunter. In Deutschland wären diesen Rechnungen zufolge im Jahre 2100 etwa 160 Mrd. US-Dollar an Schäden durch Klimaänderungen vermeidbar. Die Kosten dafür lägen bis 2100 bei etwa 40 Mrd. US-Dollar.³ In dieser Rechnung sind mögliche Schäden durch abrupte Klimaänderungen – wie die Abschwächung des Golfstroms oder ein starker Anstieg des Meeresspiegels – nicht enthalten, so dass es sich um eine Untergrenze der zu erwartenden Schäden handelt.

Die aktuellen und künftigen Extremereignisse sowie ihre Schadenswirkungen finden große Resonanz bei den Versicherungsgesellschaften. Schäden werden unter anderem von der Münchner Rück in ihrer jährlichen statistischen Auswertung über große Naturkatastrophen⁴(aktuell die von 1950 – 2003) erfasst und bewertet. Die Analysen über menschliche Opfer haben zum Beispiel Eingang in zwei Studien der Weltgesundheitsorganisation der Vereinten Nationen (WHO) über gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung gefunden⁵. Klar wird, dass mehr als zwei Drittel der großen Naturkatastrophen witterungsbedingt und damit abhängig von der Klimaänderung sind. Die Stürme und Überschwemmungen haben sich im letzten Jahrzehnt gegenüber den 60er Jahren verdoppelt bis verdreifacht.

Der Handlungsdruck, eine deutsche Anpassungsstrategie an Klimaänderungen zu entwickeln, entsteht nicht nur unmittelbar aus den sich voraussichtlich einstellenden, nachteiligen Folgen der Klimaänderungen und den sich daraus ergebenden Schäden

¹ Die Angaben in der Quelle werden in US-Dollar in Preisen von 2002 gemacht. Ende des Jahres 2002 lag der Euro-Kurs bei etwa 1,05 US-Dollar, so dass die Angaben der Studie von der Größenordnung her auch als Euro-Beträge gelesen werden können.

² Dieser sollte dem Umweltqualitätsziel - einer maximalen Erhöhung der globalen Temperatur von maximal 2°C bei 400ppm CO₂ in der Atmosphäre - folgen und eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 80% bis 2050 anstreben.

³ Kemfert, C. 2005: Weltweiter Klimaschutz – Sofortiges Handeln spart hohe Kosten. Wochenbericht des DIW Berlin 12-13/05. Die hier zitierten Berechnungen zeigen bereits für das Jahr 2050 mögliche Schäden durch Klimaänderungen in Höhe von etwa 5 Billionen US-Dollar. Weniger als ein Zehntel dieser Summe kostet zum gleichen Zeitpunkt ein aktiver Klimaschutz, durch den ein Großteil der drohenden Schäden vermieden werden könnte.

⁴ MunichRe (2003): NatCat Service Info: Die größten Naturkatastrophen 2003. http://www.munichre.com/Assets/pdf/press/pm_2003_12_29_d.pdf

⁵ WHO (2003): Climate Change and human health: risks and responses. WHO, Genf.
WHO (2004): Heat-waves: risks and responses. WHO, Kopenhagen.

und volkswirtschaftlichen Kosten. Deutschland hat sich mit der Ratifizierung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) auch verpflichtet, Maßnahmenprogramme umzusetzen, die eine systematische Anpassung an zu erwartende Klimaänderungen und deren Folgen ermöglichen:

UNFCCC, Artikel 4 – Verpflichtungen

*(1) **Alle Vertragsparteien werden** unter Berücksichtigung ihrer gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und ihrer speziellen nationalen und regionalen Entwicklungsprioritäten, Ziele und Gegebenheiten*

a) [...]

*b) **nationale [...]** Programme erarbeiten, umsetzen, veröffentlichen und regelmäßig aktualisieren, in denen Maßnahmen zur Abschwächung der Klimaänderungen durch die Bekämpfung anthropogener Emissionen [...] sowie **Maßnahmen zur Erleichterung einer angemessenen Anpassung an die Klimaänderungen vorgesehen sind**;*

In dem am 13.07.2005 durch das Bundeskabinett verabschiedeten neuen Nationalen Klimaschutzprogramm 2005 greift die Bundesregierung diese Herausforderung auf und beschließt, die erforderlichen Schritte einzuleiten, um ein umfassendes nationales Konzept zur Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland zu entwickeln und umzusetzen. Zur Unterstützung dieser Aufgabe – einschließlich einer fachlichen und umweltpolitischen Begleitung der Implementierung dieser Maßnahmen – prüft die Bundesregierung gegenwärtig die Möglichkeiten zur Einrichtung eines Kompetenzzentrums „Klimafolgen und Anpassung“ beim Umweltbundesamt.

3. Bisherige Klimaänderungen und Veränderungen der Extrema

Klimaänderungen sind nicht nur Szenarien der Zukunft, sondern finden bereits in unserer heutigen Zeit statt. Dies zeigt sich sehr deutlich bei Veränderungen der Temperatur und des Niederschlags. So ist die globale Mitteltemperatur seit Beginn der systematischen meteorologischen Aufzeichnungen um 0,7°C gestiegen. Dabei hat das Tempo der Erwärmung in den letzten drei Jahrzehnten bedeutend zugenommen.

Die Erwärmung, die im globalen Maßstab offensichtlich wird, zeigt sich auch bei regionalen Betrachtungen. So ist in Deutschland in den vergangenen 100 Jahren die Jahresmitteltemperatur um 0,8°C gestiegen. Auch beim Niederschlag zeigen sich deutliche Veränderungen, die insbesondere als Zunahme der Winterniederschläge spürbar werden.

Von besonderem Interesse ist, inwieweit mit diesen mittleren Änderungen auch Veränderungen der Wetterextrema einhergehen, da diese wegen ihrer ökologischen und

sozioökonomischen Auswirkungen mit besonderen Risiken für viele Bereiche verbunden sind (z.B. Hochwasserereignisse und Hitzeperioden).

Um die Bedeutung und Auswirkungen von Extremereignissen zu erfassen, gab das Umweltbundesamt ein Forschungsprojekt in Auftrag. Anhand von 50 bis 100jährigen Datenreihen wurde für Deutschland untersucht, inwieweit sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Extremereignissen infolge von Klimaänderungen bereits verändert hat.

Das Projekt zeigt, dass die Klimaänderungen des 20. Jahrhunderts auch mit deutlichen Änderungen bei den Extremereignissen einhergehen. Die untersuchten Parameter und Regionen weisen dabei jahreszeitliche Unterschiede und räumliche Besonderheiten auf.

Folgende allgemeine Tendenzen sind erkennbar:

Bei den Monatsdaten der Temperatur werden untere Grenzen seltener unterschritten und obere Grenzen häufiger überschritten. Die Temperatur zeigt im Mittel einen Trend zur Erwärmung, verbunden mit deutlich erhöhten Wahrscheinlichkeiten für besonders warme Monats- und saisonale Temperaturmittel, wobei im selben Zeitraum die Wahrscheinlichkeiten für extrem kalte Temperaturmittel abnimmt.

Vergleicht man die Situation zu Beginn der untersuchten Zeitreihe mit der zum Ende der Zeitreihe, so zeigt sich folgendes Bild: In allen Jahreszeiten hat sich in jüngster Zeit die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten extrem warmer Tage und die Abnahme kalter Tage erhöht. Dies gilt besonders im Winter und in Süddeutschland. Auffällig ist auch der verbreitete, jedoch nicht flächendeckende Trend zu häufigeren extrem heißen Sommern.

Bei den Niederschlagsmonatsdaten zeigt sich ein Trend zur selteneren Unterschreitung unterer Grenzen. Relativ trockene Monate sind damit seltener geworden.

Bei den extremen Starkniederschlägen existiert im Osten Deutschlands ein Trend zu seltenerem, im Westen ein Trend zu häufigerem Auftreten dieser Ereignisse. Daraus ergibt sich insgesamt sowohl bei den Monats- als auch bei den Tagesdaten für den Osten Deutschlands ein Trend zu weniger extremen Niederschlägen und im Westen zu höheren Niederschlagssummen.

Es existieren ausgeprägte jahreszeitliche Unterschiede:

Im Winter zeigt sich ein Trend zu höheren Monats- und saisonalen Summen als auch zu einer zunehmenden Variabilität. Dies führt verbreitet zu einer deutlichen Zunahme extrem hoher Niederschlagssummen im Winter. Der Sommer weist einen Trend zur verringerten Variabilität auf. Dadurch sind extrem hohe monatliche und saisonale Niederschlagssummen im Sommer in weiten Teilen Mitteleuropas seltener gewor-

den. Die winterlichen Starkniederschläge und die Sommertrockenheit, beide mit zunehmender Tendenz, stellen beim Niederschlag die größten Risiken dar.

Um die Risiken zu verdeutlichen, die Extremereignisse mit sich bringen, rufe man sich zum Beispiel das Elbe-Hochwasser im August 2002 und den Hitzesommer über Mitteleuropa im Jahr 2003 ins Gedächtnis.

Die gesamtwirtschaftlichen Schäden des Elbe-Hochwassers 2002 für Deutschland lagen bei 9,4 Mrd. €. In diesem Jahr verursachten die großen Überschwemmungen an Elbe, Moldau, Donau und ihren Nebenflüssen europaweit volkswirtschaftliche Schäden von 18,5 Mrd. €. Im Vergleich dazu: Der gesamte volkswirtschaftliche Schaden der Orkane „Lothar“ und „Martin“ wird auf über 14 Mrd. Euro geschätzt (Quelle: Münchner Rück⁶)

Der Hitzesommer 2003 kostete in Deutschland zusätzlich rund 7000 Menschen⁷ das Leben. Dies sind mehr Personen als jährlich durch Verkehrsunfälle sterben (2003: 6613 Personen⁸).

Diese Beispiele zeigen deutlich, wie verwundbar unsere modernen Gesellschaften gegenüber extremen Wetter- und Witterungseinflüssen sind.

Die Studie zeigt, dass die extreme Hitzewelle im Sommer 2003 ein sehr seltenes Ereignis war. Allerdings führt die Analyse der Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten eines solchen Ereignisses zu dem Ergebnis, dass seit dem Zeitraum 1960/70 die Wahrscheinlichkeit um mehr als das 20fache gestiegen ist: von einmal innerhalb 10.000 Jahren auf einmal innerhalb 455 Jahren. Natürlich bleibt dieses extreme Ereignis damit immer noch ein seltenes Ereignis, trotzdem bedeutet dies eine Gefahrenverschärfung.

Die Studie „Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland“, die das obige Ergebnis belegt, führte im Auftrag des Umweltbundesamtes das Institut für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main unter Leitung von Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese durch. Der Abschlußbericht ist als Langfassung in deutscher und als Kurzfassung in deutscher und englischer Sprache auf der Klimaschutzseite im Internet-Angebot des UBA unter <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/> als pdf-Datei verfügbar.

⁶ Münchner Rück (2003): Jahresrückblick Naturkatastrophen 2002, München
http://www.munichre.com/publications/302-03630_de.pdf?rdm=29373

⁷ Koppe, C. und Jendritzky, G. (2004): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg, Sozialministerium Baden-Württemberg, Stuttgart

⁸ Statist. Bundesamt (<http://www.destatis.de/basis/d/verk/verktab6.php>)

4. Erwartete Klimaänderungen und deren Auswirkungen auf Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Naturschutz, Tourismus, Verkehr und Gesundheit

Die Auswirkungen des Klimawandels sind heute bereits sichtbar, er hat auf den Ökosystemen bereits einen „Fingerabdruck“ hinterlassen: Die Verbreitung vieler Pflanzen- und Tierarten hat sich polwärts, also in nördliche Breiten verschoben, der biologische Frühling beginnt eher im Jahr.

Eine Erwärmung um wenige Grad führt bei vielen Ökosystemen zu schweren Schädigungen. Bereits jetzt sind etwa 10 Prozent der Korallenriffe zerstört und weitere 50 Prozent gefährdet. Eine Erwärmung zwischen 1-2°C gefährdet darüber hinaus Küsten - Feuchtgebiete an der Ostseeküste. Während der letzten Jahrzehnte dehnte sich die Wachstumsperiode des Phytoplanktons in Nordsee und Nordatlantik ungewöhnlich stark aus. Im Winter nahm die Biomasse des Phytoplankton um 97 Prozent zu. Dieses Phytoplankton ist nicht nur die Basis der marinen Nahrungskette, sondern bindet große Mengen Kohlenstoff aus der Atmosphäre im Ozean. Auch bestimmte Zooplanktonarten tauchten, verglichen mit vorherigen Dekaden, während der 90er Jahre um 4 – 5 Wochen früher auf. Darüber hinaus verschoben sich während der letzten 30 Jahre die Lebensräume von Zooplanktonarten um bis zu 1000 km nach Norden. In der Nordsee sind auch neue wärmeliebende Arten in steigender Populationsstärke zu finden. Einzelne Arten weisen Wanderungsraten von bis zu 250 km pro Jahrzehnt auf. Im Gegensatz dazu nahm die Vielfalt kälteliebender, subarktischer sowie arktischer Arten ab. Die Folgen für das Ökosystem sind schwierig zu quantifizieren, lassen sich oft aber an Störungen der Nahrungskette, dem Massenaufreten einzelner Arten und damit verbundener Verdrängung anderer Arten ablesen. (Quelle: Europäische Umweltagentur, 2004)

Trotz bereits eingeleiteter Klimaschutzmaßnahmen werden die bisherigen und zukünftigen Treibhausgasemissionen – abhängig vom verwendeten Klimamodell sowie Emissionsszenario – die Temperaturen in Deutschland bis 2080 voraussichtlich um weitere 1,6 bis 3,8°C steigen lassen. Diese Erwärmung wird im Südwesten Deutschlands stärker als im Nordosten und im Winter stärker als im Sommer ausgeprägt sein. Auch die regionalen Niederschlagsmuster werden sich verändern, wobei die regionale Differenzierung noch mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Die Winterniederschläge könnten bis 2080 um bis zu 30 % steigen, die Sommerniederschläge dagegen um bis zu 30 % abnehmen. Damit können insbesondere in Teilen Ostdeutschlands Niederschlagsverhältnisse herrschen, wie man sie heute im südlichen Spanien antrifft. Neben der Verschiebung des Niederschlages vom Sommer in den Winter dürfte der Niederschlag vermehrt als Regen, weniger als Schnee niedergehen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass es häufiger Hitzewellen geben wird und Frosttage abnehmen werden. Vor allem im Winter werden Starkniederschläge häufiger und intensiver. Generell müssen wir zukünftig von wärmeren, feuchteren Wintern und heißeren, trockeneren Sommern ausgehen.

In Deutschland müssen insbesondere die Land- Forst- und Wasserwirtschaft, der Naturschutz, das Gesundheitswesen, der Verkehr und Tourismus mit Risiken und auch Chancen durch den Klimawandel rechnen.

In welchem Maße landwirtschaftliche Erträge zukünftig durch den Klimawandel beeinflusst werden, ist stark von der Fruchtart und der Wasserversorgung abhängig. In trockenen Gebieten Ost- und Südwestdeutschlands ist eine vermehrte Gefährdung landwirtschaftlicher Erträge zu erwarten. Im langjährigen Mittel könnten in Ostdeutschland Weizen-, Roggen- und Gerstenerträge um bis zu 14 %, in Baden-Württemberg die Weizenerträge ebenfalls um etwa 14 % zurückgehen. Darüber hinaus bedrohen extreme Wetterereignisse sowie eine erhöhte Klimavariabilität (Schwankungen von Jahr zu Jahr) zunehmend die Ertragssicherheit. Die Möglichkeiten zur Anpassung seitens des Landwirtes sind im Vergleich zu anderen Bereichen recht vielfältig, so dass – eine zunehmende Umsetzung der verfügbaren Anpassungsmaßnahmen vorausgesetzt – die Vulnerabilität der Landwirtschaft vergleichsweise gering ist.

Im besonders heißen Sommer des Jahres 2003 lagen die Hektarerträge deutschlandweit um ca. 12 % unter dem mehrjährigen Mittel. Dabei waren die Schäden regional sehr unterschiedlich verteilt: von Schleswig-Holstein mit einem Ertragsanstieg um 7,9 % bis Brandenburg mit Ertragseinbußen von 40 %. Als Folge der Einbußen meldeten die Länder rund 12.600 existenzgefährdete Betriebe und Schäden in Höhe von rund 600 Mio. €.

Die Erträge in der Forstwirtschaft hängen stark von der Wasserversorgung und der Temperaturtoleranz der Baumarten sowie von zukünftigen Formen der Waldbewirtschaftung ab. Die Waldbrandgefahr wird sich erhöhen, gleichzeitig steigt der Druck durch Schädlinge und Wetterextreme. Als besonders anfällig erweisen sich Wälder, in denen Bäume nicht unter Beachtung der lokalen Standortbedingungen gepflanzt wurden. Dies trifft in Ost- und Südwestdeutschland die Wälder insgesamt und in ganz Deutschland besonders Buchen- und Fichtenwälder. Andere Baumarten, die im Vergleich als eher trockenheitsresistent und wärmeliebend gelten, versprachen in der Vergangenheit einen geringeren ökonomischen Erfolg. Die Anpassung der Wälder an veränderte klimatische Bedingungen dauert Jahrzehnte. Dies kann die Leistungsfähigkeit der Forstbetriebe in Zukunft nachteilig beeinflussen.

Die Anfälligkeit der Fichte gegenüber dem Klimawandel ist ökonomisch besonders bedeutsam, weil sie die am häufigsten angebaute Baumart in Deutschland ist. Die Fichte wurde wegen ihrer guten Wuchsleistung vielerorts auch außerhalb ihrer natürlichen Standorte angebaut. Bereits heute erreichen manche Fichtenwälder die Grenze, ab der ein wirtschaftlicher Anbau nicht mehr gewährleistet ist. In Zukunft werden hier noch mehr Regionen betroffen sein. Zudem ist die Fichte gegenüber den indirekten Auswirkungen des Klimawandels besonders anfällig, wie z.B. Schädlingsbefall (Borkenkäfer) und Schäden durch Extremereignisse (Windwurf).

Als Folge des Klimawandels kann die Artenvielfalt von gegenwärtig in Deutschland lebenden Tier- und Pflanzenarten bis 2080 im Mittel um bis zu 30 % zurückgehen. Besonders gefährdet sind anspruchsvolle Arten und Spezialisten mit geringer Toleranz – vor allem in Feuchtgebieten, isolierten Lebensräumen und Mittel- sowie Hochgebirgsregionen. Beispielsweise könnten bis 2080 in hoch vulnerablen Regionen – wie den Alpen und weiten Teilen Ostdeutschlands – mehr als 50 % der gegenwärtigen Arten verschwinden. Die Einführung von Schutzgebietskorridentoren gemäß der EU Fauna und Flora Habitatsrichtlinie (FFH Richtlinie) – die auf die Verbesserung der Artenwanderung zielen – kann helfen, zukünftige Risiken zu begrenzen.

Mittel- bis langfristig werden Veränderungen in der Zusammensetzung von Arten und Lebensgemeinschaften in Deutschland nicht aufzuhalten sein. Anpassungsmaßnahmen sollten vor allem darauf zielen, das natürliche Anpassungspotenzial zu schützen und weiterzuentwickeln. Dazu gehören das Verbessern von Wanderungsbewegungen (z.B. durch Vernetzen der Biotope) und das Einrichten von Schutzgebieten, die den Erhalt natürlich ablaufender Prozesse im Ökosystem als oberstes Schutzziel haben.

Vor allem im Winter und Frühjahr wird die Hochwassergefahr zunehmen. Eine Reihe von Hochwasserschutzmaßnahmen steht bereits zur Verfügung. Ihre flächendeckende Umsetzung sollte durch die zuständigen Bundes- und Länderbehörden noch stärker vorangetrieben werden, um die Vulnerabilität Deutschlands gegenüber Hochwässern weiter zu senken. Gleichzeitig wird das sommerliche Wasserdargebot – vor allem in Ostdeutschland – abnehmen, in Trockenjahren sogar bis um die Hälfte. Das Wasserdargebot bezeichnet die aus dem natürlichen Wasserkreislauf zur Verfügung stehende, nutzbare Menge Süßwassers. Dies kann deutliche Auswirkungen auf die Trinkwassergewinnung haben. In Sachsen-Anhalt und Sachsen, wo gegenwärtig 50 und 61 Prozent des Trinkwassers aus Oberflächenwasser gewonnen werden, kann diese sommerliche Abflussverminderung die Trinkwassergewinnung negativ beeinflussen und die Gefahr sommerlicher Dürre verstärken. Verringerte Abflüsse führen darüber hinaus dazu, dass die Grundwasserspiegel sinken. Darunter leiden Ökosysteme insbesondere während der Vegetationsperiode. Auch die Trinkwasser-

gewinnung aus Grundwasserbrunnen steht vor neuen Problemen: Das Süßwasser, das normalerweise durch den Boden von oben einsickert, dringt aus tieferen Gesteinsschichten Salzwasser in den Grundwasserkörper und macht ihn für die Trinkwassergewinnung unbrauchbar. Wasserwerke in Berlin und Brandenburg beobachten diese Gefährdung der Trinkwasserressourcen bereits seit einigen Jahren. Beispielsweise haben Trinkwasserversorger Brunnen in Potsdam, Berlin-Gatow und Berlin-Kladow außer Betrieb nehmen müssen, weil sie versalztes Wasser förderten. Zukünftige Maßnahmen sollten deshalb darauf gerichtet sein, den Landschaftswasserhaushalt und den Wasserrückhalt in der Fläche zu verbessern, um die Grundwasserneubildung zu unterstützen. Darüber hinaus müssen in der Industrie, Energieerzeugung, der Landwirtschaft sowie in Haushalten verstärkt wassersparende Maßnahmen eingeleitet werden.

Bis 2080 kann der mittlere jährliche Abfluss in Deutschland um bis zu 8,4 % (absolut: 9,81 Mrd. m³) zurückgehen, was etwa einem Fünftel der Wassermenge des Bodensees entspricht (Quelle: Hydrologischer Atlas 2003).

Kern- und Kohlekraftwerke müssen, um sie sicher zu betreiben, gekühlt werden. Entweder dient Fluss- oder Meerwasser direkt zur Kühlung, oder die Kühlung wird über eine Verdunstung von Wasser erreicht. Im Sommer 2003 mussten wegen zu hoher Temperatur des Kühlwassers und/oder Kühlwassermangels einige Kraftwerke in ihrer Leistung gedrosselt werden. Um dies in Zukunft zu vermeiden, sind technische Anpassungen notwendig, die bereits verfügbare wasserärmere Kühlsysteme verwenden. Neue Groß-Kraftwerke, die mit diesen wasserärmeren Kühlsystemen ausgestattet sind, weisen Effizienzeinbußen auf. Mehremissionen von CO₂ von 2-3 % und höhere Stromerzeugungskosten in der Größenordnung von 10 % sind die Folge.

Um zukünftige Gesundheitsrisiken durch Hitzestress sowie Risiken für durch tierische Überträger verbreitete Krankheiten – wie Borreliose, Malaria oder Leishmaniose – zu begrenzen, sind Aufklärungskampagnen notwendig. Der flächendeckende Ausbau regional bereits eingeführter Hitzewarnsysteme kann das Gesundheitsrisiko für anfällige Personen wesentlich mindern.

Im Mai 2005 hat Hessen in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst ein Hitzewarnsystem eingerichtet, um bei einer Hitzeperiode die Gefährdung älterer Menschen so weit wie möglich zu vermeiden. Zeichnen sich gefährliche Wetterlagen ab, so wird eine gezielte Warnung an die Heimaufsichtsbehörden, das Regierungspräsidium und die Ämter für Versorgung und Soziales ausgelöst, die hierauf alle hessischen Alten- und Pflegeheime informieren, konkrete Schutzmaßnahmen zu ergreifen (www.wettergefahren.de). Die Umsetzung der Schutzmaßnahmen – wie ausreichende und angepasste Flüssigkeitszufuhr, richtige Ernährung und Kleidung sowie Maßnahmen zur Senkung der Raumtemperatur – wird von der Heimaufsichtsbehörde überwacht. Wenn die Hitzewarnung länger als zwei Tage besteht, werden zusätzlich alle Gesundheitsämter Hessens eingeschaltet und die breite Öffentlichkeit über geeignete Schutzmaßnahmen informiert.

Die Verkehrsinfrastruktur ist hauptsächlich durch Extremwetterereignisse gefährdet, die Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Pünktlichkeit der Netze beeinträchtigen können. Verschiebungen landwirtschaftlicher Anbaugelände sowie eines durch Klimaänderungen hervorgerufenen veränderten Freizeit- und Urlaubsverhalten können zur Veränderung der Verkehrsströme führen. Im Tourismus sind in erster Linie die tieferen Lagen der Wintersportorte in den Mittelgebirgen und den Alpen vom Klimawandel betroffen. Im europäischen Vergleich könnten dagegen die deutschen Reiseziele, die nicht (nur) für den Wintersport genutzt werden, durch den Klimawandel eher profitieren.

In den kommenden Jahrzehnten kann in den Alpen wahrscheinlich nur noch in Höhen über ca. 1500 m, in den Mittelgebirgen in Lagen über 800 – 1000 m Wintersport betrieben werden. Beschneigung zur Erhöhung der Schneesicherheit und Saisonverlängerung ist als Anpassungsmaßnahme nicht geeignet, da sie energieaufwändig, ökologisch bedenklich sowie wegen steigender Temperaturen in tieferen Lagen immer weniger möglich sein dürfte.

Das Forschungsprojekt „Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme“ führte im Auftrag des Umweltbundesamtes das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung unter der Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Cramer durch. Der Abschlußbericht ist als Langfassung in deutscher und als Kurzfassung in deutscher und englischer Sprache auf den Internetseiten des Fachgebietes Klimaschutz <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/> als pdf-Datei verfügbar.

5. Schlussfolgerungen

Momentan besitzen Südwestdeutschland (Oberrheingraben), die zentralen Teile Ostdeutschlands (Nordostdeutsches Tiefland, Südostdeutsche Becken und Hügel) und die Alpen die höchste Verwundbarkeit (Vulnerabilität) gegenüber dem Klimawandel in den ausgewählten klimasensitiven Bereichen (Tabelle). In den untersuchten sieben klimasensitiven Bereichen sind vor allem die Wasserressourcen, Gesundheit und Tourismus besonders anfällig für die Wirkungen des Klimawandels. Für alle Regionen und Bereiche stehen – mehr oder weniger aufwändige – Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung, die – würden sie umgesetzt – die Verwundbarkeit in fast allen Bereichen und Regionen auf ein geringes Ausmaß reduzieren könnten. Jedoch sind Notwendigkeit und Möglichkeiten für Anpassungsmaßnahmen bisher im Bewusstsein der Öffentlichkeit und der Entscheidungsträger noch unzureichend entwickelt. Um zukünftige Chancen nutzen und Risiken verringern zu können, müssen Wissenschaft und Politikberatung hier die Bewusstseinsbildung anstoßen. Das Umweltbundesamt versteht sich in diesem Prozess als Anstoßgeber, Dienstleister für Informationen sowie Vermittler zwischen Forschung, Wissenschaft und Politikberatung.

Tabelle: Zusammenfassende Darstellung der Vulnerabilität gegenüber dem Globalen Wandel (insb. Klimawandel) in Deutschland ohne weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario). Unter der Annahme, dass in den einzelnen Bereichen und Regionen alle potenziell zur Verfügung stehenden Anpassungsmaßnahmen genutzt werden, lassen sich wahrscheinlich die Vulnerabilitäten in fast allen Bereichen und Regionen auf ein geringes Ausmaß vermindern (Mit-Maßnahmen-Szenario).

Bereich Naturraum	Wasser		Landwirtschaft	Forstwirtschaft	Biodiversität und Naturschutz	Gesundheit		Tourismus		Verkehr	Alle Bereiche
	Hochwasser	Dürre				Hitzebelastung	Vektor übertragene Krankheiten	Wintersporttourismus	Sonst. Tourismusformen		
Küste	-- ⁽¹⁾	~	~	~	-/- -?(2)	~	-?	k.A.	-	-	-
Nordwestdeutsches Tiefland	--	~	~	~	-/- -?(2)	~	-?	k.A.	-	-	-
Nordostdeutsches Tiefland	--	--	--	--	-/- -?(2)	-	-?	k.A.	-	-	--
Westdeutsche Tieflandsbucht	--	-	-	-	-/- -?(2)	--	--?	k.A.	-	-	-
Zentrale Mittelgebirge und Harz	--	-	~	-	-/- -?(2)	-	-?	--	-	-	-
Südostdeutsche Becken und Hügel	--	--	--	--	-/- -?(2)	--	--?	k.A.	-	-	--
Erzgebirge, Thüringer und Bayerischer Wald	--	-	-	-	-/- -?(2)	-	--?	--	-	-	-
Links- und rechtsrheinische Mittelgebirge	--	-	-	-	-/- -?(2)	-	--?	--	-	-	-
Oberheingraben	--	-	-	--	-/- -?(2)	--	--?	k.A.	-	-	--
Alp und nordbayerisches Hügelland	--	-	-	-	-/- -?(2)	-	--?	--	-	-	-
Alpenvorland	--	-	-	--	-/- -?(2)	-	--?	k.A.	-	-	-
Alpen	--	~	~	-	--	~	-?	--	-	-	--
Deutschland gesamt	--	-	-	-	-/- -?(2)	-	--?	--	-	-	-

Bewertung:	Bewertung „alle Bereiche“:	(1) Sturmfluten und Meeresspiegelanstieg
-- hohe Vulnerabilität	hohe Vulnerabilität, wenn mehr als 2 Bereiche hoch	(2) Vulnerabilität abhängig von Schutzziel.
- mäßige Vulnerabilität	mäßige Vulnerabilität, wenn 1-2 Bereiche hoch	- Schutz des Status Quo: hohe Vulnerabilität
~ geringe Vulnerabilität	geringe Vulnerabilität, wenn kein Bereich hoch	- Prozessschutz: mäßige Vulnerabilität
? Hohe Unsicherheit bzw. Schwierigkeit bei der Einschätzung	(„halbe“ Bereiche zählen nur halb)	
k.A. keine Angaben	Bewertung „Deutschland gesamt“: Mittelwert	