

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR
UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 201 41 253

Aufgabengebiet Klimaschutz

Klimawandel in Deutschland

Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme

- Kurzfassung -

Marc Zebisch, Torsten Grothmann,
Dagmar Schröter, Clemens Haße, Uta Fritsch,
Wolfgang Cramer

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Juni 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele	3
2	Die Konzepte Vulnerabilität und Anpassungskapazität	3
3	Methodische Umsetzung	4
4	Globaler Klimawandel – Historische Entwicklung	5
5	Globaler Klimawandel – Klimaprojektionen in die Zukunft	5
6	Globaler Wandel in Deutschland – Historische Trends im Klima	6
7	Globaler Wandel in Deutschland – Szenarien zum zukünftigen Klimawandel	6
8	Vulnerable Regionen in Deutschland	7
9	Vulnerable Bereiche in Deutschland	9
10	Anpassungsempfehlungen	10

1 Ziele

Der vorliegende Bericht (Kurzfassung) ist Ergebnis einer Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK), die im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) im Rahmen des Umweltforschungsplanes im Zeitraum vom 1. März 2003 bis 30. Juni 2005 durchgeführt wurde.

Die Ziele dieser Studie waren,

1. den aktuellen Kenntnisstand zum Globalen Wandel (insb. Klimawandel) in Deutschland zu dokumentieren und aktuelle und potenzielle zukünftige Auswirkungen des Globalen Wandels auf sieben klimasensitive Bereiche (Wasser-, Land-, Forstwirtschaft, Biodiversität/Naturschutz, Gesundheit, Tourismus und Verkehr) zu analysieren,
2. den momentanen Anpassungsgrad und die Anpassungskapazität der verschiedenen klimasensitiven Bereiche an den Globalen Wandel zu untersuchen,
3. aus der Gegenüberstellung von Auswirkungen des Globalen Wandels, Stand der Anpassung und Anpassungskapazität Schlussfolgerungen über die *Vulnerabilität* (Anfälligkeit) einzelner Bereiche und Regionen in Deutschland gegenüber dem Globalen Wandel zu ziehen,
4. die Ergebnisse der Studie mit Entscheidungsträgern aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft zu diskutieren, um eine Basis für die Entwicklung von Strategien zur Anpassung an den Globalen Wandel in Deutschland zu entwickeln.

2 Die Konzepte Vulnerabilität und Anpassungskapazität

Der Begriff Vulnerabilität bezeichnet die Schadensrisiken von Mensch-Umwelt-Systemen. In dieser Studie geht es um die Vulnerabilität gegenüber dem Globalen Wandel, unter dem hier vor allem der Klimawandel verstanden wird. Die Einwirkungen durch den Globalen Wandel auf den Menschen geschehen direkt (wie z.B. durch Flutkatastrophen und Hitzewellen) und indirekt durch Auswirkungen des Globalen Wandels auf klimasensitive Bereiche bzw. Sektoren (z.B. Wasser- od. Landwirtschaft).

Die Vulnerabilität gegenüber dem aktuellen und zukünftigen Globalen Wandel ist stark von der Ausgangssituation abhängig. Oft steht eine Region bzw. ein Bereich schon heute unter Druck. So können aktuelle klimatische oder naturräumliche Rahmenbedingungen Beschränkungen mit sich bringen (z.B. geringe Niederschläge oder arme Böden für die Bereiche Land- und Forstwirtschaft). Viele Bereiche werden von Veränderungen in den sozioökonomischen Rahmenbedingungen beeinflusst (z.B. Land- und Forstwirtschaft, Gesundheit, Tourismus, Verkehr). Solche Rahmenbedingungen bestimmen zum großen Teil die Prädisposition einer Region bzw. eines Bereichs gegenüber Auswirkungen des Globalen Wandels und sind in hohem Maße mitverantwortlich für die regionale Differenzierung von Vulnerabilität.

Wie vulnerabel ein Mensch-Umwelt-System, eine Region bzw. ein Bereich gegenüber dem Globalen Wandel bewertet wird, hängt neben der Prädisposition im Wesentlichen von drei Faktoren ab:

- Wie ausgeprägt sind der Klimawandel und andere Elemente des Globalen Wandels in der betrachteten Region?
- Wie stark wirkt sich der Globale Wandel in der Region potenziell auf die einzelnen Bereiche aus (auch als potenzielle Auswirkungen des Globalen Wandels bezeichnet)?
- Wie hoch ist der Anpassungsgrad in den einzelnen Bereichen innerhalb der Region an die potenziellen Auswirkungen?

Dabei bestimmt sich der Anpassungsgrad aus dem Vorhandensein von Anpassungsmaßnahmen, die Schäden mindern oder günstige Gelegenheiten nutzen.

Wird der momentane Anpassungsgrad in die Zukunft verlängert, ergibt sich eine Vulnerabilität *ohne* weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario). Diese Vulnerabilität wird auch

als *aktuelle Vulnerabilität* bezeichnet. Bei der Bestimmung dieser Vulnerabilität wird also angenommen, dass über die bereits bestehenden Maßnahmen (z.B. im Hochwasserschutz) in Zukunft keine weiteren Maßnahmen umgesetzt werden. So wird ein Eindruck davon vermittelt, welche Schäden zu erwarten sind, wenn keine weitere Anpassung an den Globalen Wandel (v.a. an den Klimawandel) erfolgt. Die aktuelle Vulnerabilität wird auf einer dreistufigen qualitativen Skala (geringe – mäßige – hohe Vulnerabilität) abgeschätzt. Ein quantitativer Vulnerabilitätsindex wird bewusst vermieden; denn dieser würde eine Genauigkeit vortäuschen, die es weder hinsichtlich der potenziellen Auswirkungen des Globalen Wandels noch hinsichtlich der Anpassung an diese Auswirkungen gibt.

Wird angenommen, dass die vorhandene Anpassungskapazität maximal genutzt wird, um den zukünftigen Anpassungsgrad zu verbessern, ergibt sich eine Vulnerabilität *mit* weiteren Maßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario). Auch diese Vulnerabilität wird auf einer dreistufigen qualitativen Skala (geringe – mäßige – hohe Vulnerabilität) abgeschätzt. Durch den Vergleich der Vulnerabilität *ohne* weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario) und der Vulnerabilität *mit* weiteren Maßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario) entsteht ein Eindruck der Schäden aufgrund des Globalen Wandels (v.a. des Klimawandels) mit und ohne weitere Anpassungsmaßnahmen.

Eine Vulnerabilität eines Mensch-Umwelt-Systems ist demnach nur dann gegeben, wenn dieses System nicht an die potenziellen Auswirkungen des Globalen Wandels angepasst ist. Dieser Anpassungsgrad wird seinerseits durch die Anpassungskapazität des Mensch-Umwelt-Systems bestimmt. Die Anpassungskapazität ist gering, wenn die notwendigen Ressourcen (finanziell, organisatorisch, legislativ, wissensbezogen etc.) zur Realisierung eines ausreichenden Anpassungsgrads nicht zur Verfügung stehen. In diesem Fall wird sich das Mensch-Umwelt-System nicht an die Auswirkungen des Globalen Wandels anpassen können.

3 Methodische Umsetzung

Zur Erreichung der genannten Ziele standen Ergebnisse des vom PIK koordinierten europäischen Verbundprojektes ATEAM¹ zur Verfügung. Diese Ergebnisse basieren auf einem Satz konsistenter, räumlich expliziter Szenarien des Globalen Wandels, einer Reihe von Ökosystemmodellen, Indikatoren für Ökosystemfunktionen sowie einem kontinuierlichen Dialog mit Stakeholdern. Ein Großteil der naturwissenschaftlichen Informationen zum Globalen Wandel und seinen potenziellen Auswirkungen in diesem Bericht beruht auf Auswertungen von Ergebnissen dieses Projektes (für eine genauere Beschreibung der naturwissenschaftlichen Methoden siehe Kap. 2.1-2.4, Langfassung). Neben dem Projekt ATEAM dienten zahlreiche andere Studien und Projekte auf nationaler und regionaler Ebene als Informationsquelle (siehe Kap. 2.5, Langfassung).

Um Einschätzungen der regionalen und bereichsspezifischen Bedeutsamkeit von potenziellen Auswirkungen des Klimawandels des bisherigen Anpassungsgrades und geeigneter Anpassungsmaßnahmen an diese Auswirkungen zu erhalten, wurde eine Umfrage in den sieben untersuchten klimasensitiven Bereichen (Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Naturschutz / Biodiversität, Gesundheit und Verkehr) in verschiedenen Regionen Deutschlands durchgeführt (siehe Kap. 2.6, Langfassung).

Zur Einschätzung der Vulnerabilität wurden die Ergebnisse der innerhalb dieses Projektes berechneten Szenarien potenzieller Auswirkungen des Globalen Wandels in Deutschland, Befunde anderer Studien und Projekte und die Resultate der Befragungen integriert (siehe Kap. 2.8, Langfassung).

Die Ergebnisse wurden auf mehreren, vom UBA durchgeführten Klimafachgesprächen und auf einem Stakeholder-Workshop mit Vertretern aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft zur Diskussion gestellt (siehe Kap. 2.7, Langfassung).

¹ ATEAM – Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling (EU Project No. EVK2-2000-00075), www.pik-potsdam.de/ATEAM.

4 Globaler Klimawandel – Historische Entwicklung

Rate und Ausmaß des Klimawandels im 20. Jahrhundert sind einzigartig – z.B. sind die derzeitigen Temperaturen auf der Nordhalbkugel wahrscheinlich die wärmsten seit mindestens 2000 Jahren. In der Nordhemisphäre waren die 1990'er Jahre die wärmste Dekade und die Jahre 1998, 2002 und 2003 die drei wärmsten Jahre in den letzten tausend Jahren. Seit 1990 stieg die globale Mitteltemperatur um $0,7 \pm 0,2$ °C an. Der Niederschlag über den mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre nahm im 20. Jahrhundert um 0,5 bis 1% pro Dekade zu, während er über den subtropischen Breiten abnahm. Zudem wurde ein verstärktes Auftreten von Klimaextremen beobachtet, wie z.B. eine ungewöhnliche Häufung von Temperaturanomalien im pazifischen Ozean (sog. „El Niño - Ereignisse“) seit 1970. Seit 1950 ist ein deutlicher Anstieg der Schäden durch Naturkatastrophen und Überschwemmungen zu verzeichnen.

Natürliche Faktoren wie Vulkanausbrüche, Veränderungen in der Sonnenaktivität oder Schwankungen der Umlaufparameter der Erde um die Sonne tragen nur einen kleinen Teil zur Erklärung dieses Klimawandels bei. In der Wissenschaft herrscht mittlerweile große Einigkeit, dass der größte Teil des Klimawandels auf menschliche Aktivitäten, insbesondere die Emission von Treibhausgasen zurückzuführen ist. Um unseren Energiebedarf zu decken, verbrauchen wir in wenigen Generationen fossile Brennstoffe, die in Hunderten von Millionen Jahren entstanden sind. Dabei entstehen Treibhausgase wie zum Beispiel Kohlendioxid. Treibhausgase wie Wasserdampf, Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) strahlen die von der Erde ausgestrahlte Wärmestrahlung zum Teil zurück und tragen durch diesen „Treibhauseffekt“ zu einer Erwärmung der Atmosphäre und der Erdoberfläche bei.

Seit Beginn der Industrialisierung hat sich durch die Verbrennung fossiler Energieträger und Landnutzungsänderungen die atmosphärische Konzentration von CO₂, dem wichtigsten Treibhausgas, um 34% von 280 auf 375 ppm erhöht und damit wahrscheinlich das höchste Niveau der letzten 400'000 Jahre erreicht. Die Konzentration von Methan, dem zweitwichtigsten Treibhausgas, erhöhte sich in dieser Zeit sogar um mehr als 150%. Bereits für die nächsten Jahrzehnte wird mit einer Verdopplung der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration gerechnet (auf bis zu nahezu 600 ppm, verglichen mit dem vorindustriellen Niveau), wenn nicht drastische Emissionsminderungen dem entgegenwirken (siehe Kap. 1.2, Langfassung).

5 Globaler Klimawandel – Klimaprojektionen in die Zukunft

Das erklärte Ziel der Europäischen Union ist, die globale Klimaerwärmung unter 2°C relativ zu vorindustriellen Werten zu halten, um „gefährlichen Klimawandel“ zu verhindern (siehe Artikel 2 der UNFCCC). Die Klimasensitivität, d.h. der Temperaturanstieg bei verdoppelter CO₂-Konzentration, wird global zwischen 1,5 und 4,5°C angenommen. Die Wahrscheinlichkeit, das 2-Grad-Ziel langfristig zu überschreiten, steigt mit CO₂-Konzentrationen, die viel höher als heutige Werte liegen, rapide an. Um das 2-Grad-Ziel zu erreichen, müssten die heutigen globalen Emissionen von ca. 7 Gt Kohlenstoff pro Jahr auf 2 Gt pro Jahr gesenkt werden. Das ist eine beachtliche Herausforderung angesichts der Emissionen der USA und bevölkerungsreicher Länder wie China und Indien, die zudem ein großes Wirtschaftswachstum aufweisen. Die Vorhersage von Emissionsverläufen ist äußerst unsicher. In dieser Studie benutzen wir die vom IPCC herausgegebenen SRES-Szenarien. Sie beinhalten keine aktive Klimapolitik, umspannen aber dennoch eine Bandbreite auch angesichts heutiger klimapolitischer Strategien möglicher Szenarien.

Für die Zukunft geht der IPCC von einem weiteren Anstieg der Konzentration aller Treibhausgase auf Werte zwischen 650 bis 1215 ppm CO₂-Äquivalente aus. Allein die CO₂-Konzentration steigt demnach auf Werte zwischen 607 und 958 ppm, was einer Verdopplung bis Verdreifachung der Werte der vorindustriellen Zeit gleichkommt. In der Folge wird mit einem weiter beschleunigten Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 1,4-5,8°C bis zum Jahr 2100 gerechnet. Im globalen Mittel wird eine leichte Zunahme der Niederschläge erwartet, die sich aber zeitlich und räumlich sehr heterogen verteilt.

Die exakte Vorhersage von Klimaextremereignissen ist derzeit unmöglich. Aber extreme Wetter- und Klimaereignisse wie heiße Tage, sommerliche Dürre und Starkniederschläge

werden wahrscheinlich oder sehr wahrscheinlich im 21. Jahrhundert zunehmen. Auch eine Zunahme der Zyklonenaktivität in den Tropen ist wahrscheinlich. Kälteextreme werden sehr wahrscheinlich abnehmen (siehe Kap. 1.2, Langfassung).

6 Globaler Wandel in Deutschland – Historische Trends im Klima

Langjährige Reihen der Wetteraufzeichnung zeigen, dass Deutschland bereits vom Klimawandel betroffen ist. Hinsichtlich der *Temperaturentwicklung* zeigt sich, dass in Deutschland wie im weltweiten Durchschnitt die 1990er Jahre das wärmste Jahrzehnt im 20. Jahrhundert waren. Die Jahresmitteltemperatur hat von 1900-2000 um ca. 0,8 - 1°C zugenommen. Allerdings verlief die Erwärmung nicht linear. Einer starken Erwärmung bis 1911 folgte eine wechselhafte Periode. Die 1940er Jahre waren außergewöhnlich warm. Nach einer erneuten Abkühlung ist seit Ende der 1970er Jahre ein kontinuierlicher und rapider Anstieg zu beobachten, der bis heute anhält. Regional variiert das Bild sehr stark. In der letzten Dekade (1990'er Jahre) war der Anstieg in Süd- und Südwestdeutschland überdurchschnittlich. Aussagen zu der saisonalen Ausprägung des Temperaturanstiegs schwanken je nach Zeitraum und Methode. In den letzten 20 Jahren ist ein Trend zu einer stärkeren Erwärmung im Winter als im Sommer zu beobachten. So betrug in Deutschland die Erwärmung in der Periode von 1981 – 2000 in den Wintermonaten 2,3°C, in den Sommermonaten nur 0,7°C.

Die *Niederschläge* in Deutschland sind räumlich und saisonal von starken Schwankungen geprägt. Langfristig lassen sich weder in den Mittelwerten noch in der saisonalen oder regionalen Verteilung signifikante Trends ermitteln. In den letzten 100 Jahren findet sich zwar ein leichter Trend zu mehr Niederschlag im Winter, aber auch dieser ist nicht signifikant. In den letzten 30 Jahren ist allerdings eine deutliche Zunahme der Winterniederschläge zu verzeichnen. Die Sommerniederschläge änderten sich hingegen nur wenig.

Von Bedeutung sind auch Veränderungen in der *Schneedeckendauer*. Für Bayern und Baden-Württemberg wurden in Lagen unter 300m Abnahmen von 30-40% seit 1950 beobachtet. In mittleren Lagen (300-800m) beträgt die Abnahme 10-20%. In höheren Lagen über 800m sind aufgrund vermehrter Niederschläge im Winter und für Schneefall ausreichend niedriger Temperaturen nur geringe Abnahmen, teilweise sogar Zunahmen zu verzeichnen.

Eine Zunahme von *Klimaextremen*, wie Hitzewellen, Starkniederschlägen oder Stürmen lässt sich nur teilweise belegen. Für *Hitzeextreme* wie Hitzetage ($T > 30^{\circ}\text{C}$) oder Hitzewellen (Zeitintervalle von mehr als 3 Tagen, in denen die Tagesmaxima über einer, bezogen auf das stationsabhängige Temperaturniveau hohen oberen Schwelle liegen) ist ein deutlicher Trend zu beobachten. So hat sich z.B. die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Hitzetagen in den Monaten Juli und August an fast allen Stationen in Deutschland in den letzten hundert und besonders deutlich in den letzten zwanzig Jahren erhöht. *Starkniederschläge* haben insbesondere in den letzten 40 Jahren des 20. Jahrhunderts an Häufigkeit und Intensität zugenommen. Insgesamt ist dieser Trend für das Winterhalbjahr deutlicher als für das Sommerhalbjahr. Auch zur Häufigkeit und Intensität von *Sturmböen* liegen Untersuchungen vor. Hier lässt sich bis heute allerdings kein statistisch gesicherter Trend herauslesen. Tendenziell hat die Wahrscheinlichkeit extrem hoher täglicher Maxima ($\text{Bft} > 8$) im Winter überwiegend zugenommen (Ausnahme Küstenbereich) und im Sommer überwiegend abgenommen (Ausnahme Süddeutschland) (siehe Kap. 3.1.1, Langfassung).

7 Globaler Wandel in Deutschland – Szenarien zum zukünftigen Klimawandel

Bezogen auf die zukünftige *Temperaturentwicklung* ist in allen innerhalb dieser Studie verwendeten ATEAM-Szenarien eine deutliche Erwärmung Deutschlands zu erkennen. Die Spanne der Erwärmung der langjährigen Jahresmitteltemperaturen der berücksichtigten sieben Klimaszenarien bis zum Jahr 2080 reicht von +1,6 bis +3,8°C. Räumlich zeigen viele Szenarien eine besonders starke Erwärmung im Südwesten, z.T. auch im äußersten Osten Deutschlands. Saisonal ergibt sich in den verschiedenen Szenarien ein uneinheitliches Bild.

Der Trend zur stärkeren Erwärmung im Winter, der in der Vergangenheit beobachtet wurde, wird in den Zukunftsszenarien nicht wiedergegeben.

Für den Jahresniederschlag zeigen alle Klimaszenarien nur sehr geringe Veränderungen, die bis 2080 im Wesentlichen unter 10% liegen. Stärkere Veränderungen zeigen sich bei Sommer- und Winterniederschlägen. Während in allen sieben Szenarien eine Erhöhung der Winterniederschläge zu beobachten ist, nehmen die Sommerniederschläge in den meisten Szenarien ab. Dies ist konsistent mit dem bereits zu beobachtenden Trend einer Verschiebung der Niederschläge in den Winter. Regional ergibt sich für die Winterniederschläge eine besonders deutliche Zunahme in Süddeutschland, zumindest in den auf dem Klimamodell HadCM3 aufbauenden Szenarien. Der Rückgang der Sommerniederschläge konzentriert sich in diesen Szenarien auf Südwestdeutschland (Rheinland) und die zentralen Teile Ostdeutschlands. Die Ergebnisse der anderen Modelle liefern allerdings räumlich z.T. widersprüchliche Trends (siehe Kap. 3.1.2, Langfassung).

8 Vulnerable Regionen in Deutschland

Fasst man die Ergebnisse zur Vulnerabilität ohne weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario) der einzelnen Bereiche zusammen und gliedert sie nach Regionen (Naturräume), zeigt sich, dass Südwestdeutschland (Oberrheingraben), die zentralen Teile Ostdeutschlands (Nordostdeutsches Tiefland, Südostdeutsche Becken und Hügel) und die Alpen aktuell die höchste Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel in den ausgewählten klimasensitiven Bereichen aufweisen (Tab. 1). Die geringste Vulnerabilität zeigen die deutschen Mittelgebirge und Nordwestdeutschland (siehe Kap. 6.1.1 und Kap. 4, Langfassung).

In *Ostdeutschland* (Nordostdeutsches Tiefland und Südostdeutsche Hügel und Becken) ist die geringe Wasserverfügbarkeit und die Gefahr von Dürren im Sommer ausschlaggebend für die „hohe“ aktuelle Vulnerabilität in vielen Bereichen. Die schon aktuell ungünstige klimatische Wasserbilanz wird durch die bereits zu beobachtende und weiter zu erwartende Abnahme der Sommerniederschläge und durch eine erhöhte Verdunstung als Folge steigender Temperaturen weiter verschlechtert. Davon betroffen sind insbesondere die Land- und Forstwirtschaft, aber auch der Verkehrsbereich (Schifffahrt). Hinzu kommt eine „hohe“ Vulnerabilität ohne weitere Maßnahmen gegenüber Hochwasser in den Einzugsgebieten der großen Flüsse Elbe und Oder. In der Lausitz, wo mit besonders hohen Sommertemperaturen zu rechnen ist, muss von einer „hohen“ aktuellen Vulnerabilität im Bereich Gesundheit aufgrund hoher Hitzebelastung ausgegangen werden.

In *Südwestdeutschland* (Oberrheingraben) stellen vor allem die hohen Temperaturen ein Problem dar. Hier, wo schon aktuell die höchsten Temperaturen in Deutschland gemessen werden, wird in Zukunft mit der stärksten Erwärmung innerhalb Deutschlands gerechnet. Das bringt „hohe“ Vulnerabilitäten ohne weitere Maßnahmen im Bereich Gesundheit mit sich. Auch Land- und Forstwirtschaft sind aktuell „hoch“ vulnerabel gegenüber einer schnellen Erwärmung. Hinzu kommt eine steigende Gefahr von Hochwasser im frühen Frühjahr, ausgelöst durch eine Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter sowie eine Zunahme von Starkregenereignissen.

In den *Alpen* stellt neben der Ausprägung des Klimawandels, welche in dieser Region leicht überdurchschnittlich ist, die Sensitivität vieler Bereiche die Hauptursache für die „hohe“ Vulnerabilität ohne weitere Maßnahmen dar. Vor allem im Bereich Biodiversität sind die Alpen sehr anfällig, da sie durch eine hohe Anzahl endemischer Tier- und Pflanzenarten geprägt sind, denen sich im Zuge des Klimawandels kaum Ausweichmöglichkeiten bieten. Auch die Vielzahl an kleinklimatischen Sonderstandorten und azonalen Biotopen erhöht die Vulnerabilität. In den Alpen ist aufgrund der geringen Retentionsflächen die Hochwassergefahr besonders hoch. Hinzu kommt die Anfälligkeit und die geringe Anpassungsfähigkeit des Bereichs Wintersport gegen einen Rückgang der Schneesicherheit.

Tab. 1: 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, ließen 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	

Die deutschen *Mittelgebirge* erweisen sich im Vergleich aktuell nur als „mäßig“ vulnerabel. Hier ist das Klima aktuell eher kühl und feucht, so dass eine Veränderung zu einem wärmeren Klima für manche Bereiche (z.B. Landwirtschaft) sogar eher eine Chance darstellen kann. „Hoch“ ist die aktuelle Vulnerabilität im Bereich Hochwasser, speziell gegenüber lokalen Hochwasserereignissen, die von konvektiven Starkniederschlägen ausgelöst werden. Der Wintersport, sofern vorhanden, weist hier ebenso eine „hohe“ aktuelle Vulnerabilität auf.

Wie die Mittelgebirge wird das *Küstengebiet* als aktuell nur „mäßig“ vulnerabel eingeschätzt. Zwar besteht hier eine „hohe“ aktuelle Vulnerabilität aufgrund evtl. intensiverer Sturmfluten. Zudem sind die unmittelbaren Küstenbereiche durch den steigenden Meeresspiegel bedroht. Allerdings sind hier die Anpassungsmaßnahmen bereits relativ weit vorangeschritten. In anderen Bereichen können die Küstengebiete eher vom Klimawandel profitieren. Das betrifft sowohl die Bereiche Land- und Forstwirtschaft als auch den Tourismus, der von steigenden Sommertemperaturen und abnehmenden Sommerniederschlägen profitiert.

Die geringste aktuelle Vulnerabilität wird für *Nordwestdeutschland* gesehen. Hier dämpfen die ozeanischen Einflüsse die Auswirkungen des Klimawandels ab, so dass hier vermutlich mit den geringsten Klimaveränderungen zu rechnen ist. Aufgrund des aktuell sehr gemäßigten Klimas weisen die meisten Bereiche hier einen relativ hohen Toleranzbereich auf. Auch hier werden die Bereiche Landwirtschaft und Tourismus, mit Einschränkungen auch die Forstwirtschaft, potenziell eher vom Klimawandel profitieren.

Neben diesen in Tab. 1 dargestellten Regionen bzw. Naturräumen zeigen außerdem *Feuchtgebiete und Ballungsräume* eine „hohe“ Vulnerabilität ohne weitere Maßnahmen. In Feuchtgebieten sind vor allem die Bereiche Wasser und Biodiversität hoch vulnerabel. In Ballungsräumen sind die Bereiche Gesundheit (Hitzebelastung) und Verkehr besonders betroffen.

Unter der Annahme, dass in den verschiedenen Regionen bzw. Naturräumen jeweils alle potenziell zur Verfügung stehenden Anpassungsmaßnahmen genutzt werden, ließen sich wahrscheinlich die Vulnerabilitäten in fast allen Regionen auf ein „geringes“ Ausmaß vermindern (Mit-Maßnahmen-Szenario). Allerdings sind in den meisten Regionen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel weder in Planung noch umgesetzt. Ausschließlich im Alpenraum lässt sich die Vulnerabilität wahrscheinlich nur auf ein „mittleres“ Maß reduzieren, denn für die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wintersport, auf die Biodiversität und die Hochwassergefahr bestehen nur begrenzte Anpassungsmöglichkeiten.

9 Vulnerable Bereiche in Deutschland

Wird die Vulnerabilität hinsichtlich der untersuchten sieben klimasensitiven Bereiche betrachtet, erweisen sich vor allem die Bereiche Wasser, Gesundheit und Wintersporttourismus als hoch vulnerabel (siehe Kap. 6.1.2 u. Kap. 4, Langfassung).

Im Bereich *Wasser* ist allen Teilen Deutschlands mit einer „hohen“ aktuellen Vulnerabilität aufgrund steigender Hochwassergefahr und hohem Schadenspotenzial zu rechnen. Die hohe Unsicherheit bei der Modellierung der regionalen Niederschlagsverteilung lässt eine weitere regionale Differenzierung im Moment noch nicht zu. Des Weiteren besteht insbesondere in Ostdeutschland eine Gefahr von Dürren. Hier stehen bisher kaum geeignete Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung. Das führt lokal zu einer „hohen“ aktuellen Vulnerabilität. Deutschlandweit ist die aktuelle Vulnerabilität gegenüber Dürren jedoch nur „mäßig“.

Die *Landwirtschaft* ist vor allem von Trockenheit im Sommer betroffen. Indirekt steigt durch den Klimawandel auch die Gefahr von Schädlingsbefall und Krankheiten. Jedoch kann sich die Landwirtschaft aufgrund der umfangreichen Auswahl an Fruchtarten und Sorten und der kurzen Umtriebszeiten relativ kurzfristig an veränderte Klima- und Wetterbedingungen anpassen. Folglich ist die Vulnerabilität der Landwirtschaft gegenüber dem Klimawandel ohne weitere Anpassungsmaßnahmen, die sich spezifisch auf den Klimawandel beziehen, insgesamt als „mäßig“ zu bezeichnen. Nur in den von Dürren bedrohten Regionen Ostdeutschlands mit ihren oft armen Böden wird die aktuelle Vulnerabilität als „hoch“ eingestuft.

Auch die *Forstwirtschaft* ist von Trockenheit und der zunehmenden Gefahr von Krankheiten und Schädlingsbefall betroffen. Hinzu kommt eine erhöhte Waldbrandgefahr sowie die Gefahr durch Extremereignisse. Die Anpassungsmöglichkeiten sind in der Forstwirtschaft aufgrund der langen Umtriebszeiten und hoher Kosten beschränkt. Als aktuell „hoch“ vulnerabel werden hier von Dürre betroffene Regionen (Ostdeutschland) und Regionen mit sehr hoher Erwärmung und einem hohen Anteil nicht standortangepasster Fichtenbestände (niedere Regionen in West- und Südwestdeutschland) eingestuft. Insgesamt kann aber die Forstwirtschaft als „mäßig“ vulnerabel gegenüber dem Klimawandel angesehen werden.

Besonders schwer fällt die Einschätzung der Vulnerabilität für den Bereich *Biodiversität und Naturschutz*. Hier wird zwar mit deutlichen Auswirkungen des Klimawandels gerechnet (Verschiebung der Artenareale, Veränderung von Lebensgemeinschaften etc.), allerdings herrscht noch keine Einigkeit über die Bedeutung dieser Auswirkungen. Die aktuelle Vulnerabilität wird als „mäßig“ bis „hoch“ bewertet, je nachdem, welches Schutzziel man betrachtet. Klar ist, dass Anpassungsmaßnahmen (z.B. Verbesserung der Vernetzung) nur die natürlichen Prozesse (z.B. die Migration) unterstützen können, nicht aber den heutigen Stand der Artenzusammensetzung konservieren können.

Im Bereich *Gesundheit* besteht ohne weitere Maßnahmen hinsichtlich der Auswirkungen von Hitzewellen regional eine „hohe“, deutschlandweit eine „mäßige“ Vulnerabilität. Im Bereich vektorübertragener Krankheiten herrscht noch große Unsicherheit über die Klimawirkung. Aufgrund des potenziell hohen Risikos und des aktuellen Anpassungsdefizits ist dennoch von einer „hohen“ Vulnerabilität gegenüber vektorübertragenen Krankheiten auszugehen.

Im Bereich *Tourismus* ist der Wintersporttourismus aktuell als „hoch“ vulnerabel einzuschätzen. Hier muss mit einer zurückgehenden Schneesicherheit gerechnet werden, für die langfristig kaum geeignete Anpassungsmaßnahmen bestehen. Für die übrigen Tourismusformen besteht eine „mäßige“ Vulnerabilität. Der freizeitorientierte Sommertourismus in Deutschland wird vom Klimawandel wahrscheinlich eher profitieren. Im Tourismus hat bisher insgesamt kaum eine Auseinandersetzung mit dem Thema Klimawandel stattgefunden.

Der Bereich *Verkehr* ist vor allem durch die potenzielle Zunahme klimatischer Extremereignisse (Stürme und Starkregenereignisse) sowie von extremer Hitze im Sommer gefährdet. Betroffen ist sowohl der Verkehrsfluss als auch die Infrastruktur. Im Winter wird der Bereich Verkehr eher vom Klimawandel profitieren (weniger Frosttage). Insgesamt ist die Vulnerabilität des Verkehrsbereiches als „mäßig“ einzustufen. Wahrscheinlich am stärksten betroffen ist die Schifffahrt, die durch stark schwankende Pegelstände der Flüsse beeinträchtigt sein kann. Auch im Bereich Verkehr hat bisher nahezu keine Auseinandersetzung mit dem Thema Klimawandel stattgefunden.

Unter der Annahme, dass in den einzelnen Bereichen alle potenziell zur Verfügung stehenden Anpassungsmaßnahmen genutzt werden, ließen sich wahrscheinlich die Vulnerabilitäten in fast allen Bereichen auf ein „geringes“ Ausmaß vermindern (Mit-Maßnahmen-Szenario). Ausschließlich im Biodiversitätsbereich lässt sich die Vulnerabilität aufgrund beschränkter Anpassungsmöglichkeiten wahrscheinlich nur auf ein „mittleres“ Maß reduzieren.

In den meisten Bereichen – wie auch in den meisten Regionen Deutschlands – sind Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel bisher allerdings weder in Planung noch umgesetzt. Hier besteht demnach großer Handlungsbedarf.

10 Anpassungsempfehlungen

Neben den spezifischen Anpassungsnotwendigkeiten in den verschiedenen Bereichen und Regionen (siehe Kap. 4, Langfassung) ergeben sich für die Anpassung in Deutschland einige übergreifenden Herausforderungen (siehe Kap. 6.2, Langfassung). Um die Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel zu reduzieren, müssen sowohl Anpassungsmaßnahmen an die Auswirkungen des Klimawandels als auch Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen, die den Klimawandel entscheidend verursachen, umgesetzt werden. Anpassungsmaßnahmen zur Minderung der negativen Auswirkungen und zur Nutzung positiver Auswirkungen sind notwendig, denn der Klimawandel findet bereits statt und wird weiter stattfinden. Selbst bei einer sehr unwahrscheinlichen sofortigen Reduzierung der den Klimawandel entscheidend bedingenden Treibhausgasemissionen würde der Klimawandel aufgrund der

Trägheit des Klimasystems noch einige Jahrhunderte weiter voranschreiten. Andererseits sind zur langfristigen Minderung der Vulnerabilität Emissionsminderungen unabdingbar; denn nur so kann einer weiteren Aufheizung des Weltklimas entgegengewirkt werden, die letztlich die Anpassungsfähigkeit Deutschlands und der Welt übersteigen würde. Anpassungsmaßnahmen und Emissionsminderungen stellen also keine Alternativen dar, sondern müssen parallel durchgeführt werden.

Der Klimawandel wird in Deutschland außerhalb der Wissenschaft bisher fast ausschließlich im Sinne der Notwendigkeit zur Reduktion von Treibhausgasemissionen diskutiert. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland erhält erst seit kurzer Zeit vermehrte Aufmerksamkeit, ist jedoch im Bewusstsein der Öffentlichkeit und von Entscheidungsträgern in Wirtschaft, Politik und Verwaltung noch weit unterrepräsentiert (siehe Kap. 4 u. 5, Langfassung). Vor diesem Hintergrund muss in einem ersten Schritt auf dem Weg zu einem an den Klimawandel angepassten Deutschland ein Risiko- aber auch Chancenbewusstsein geschaffen werden. Hierbei können und sollten das weithin bestehende Bewusstsein von der Existenz eines globalen Klimawandels ebenso genutzt werden wie extreme Wetterereignisse (Starkniederschläge, Hitzewellen etc.), die „Aufmerksamkeitsfenster“ für die Klimaproblematik darstellen. Um die Aufmerksamkeit auch außerhalb des Wetterextrem-Kontextes zu binden, sollte der bestehende Bezug vieler Risiken und Chancen des Klimawandels zu den dominierenden Themen in Deutschland (Arbeitslosigkeit, Wirtschaftswachstum etc.) betont werden. In der Kommunikation der potenziellen Auswirkungen des Klimawandels sollten die bestehenden Unsicherheiten in den Szenarien transparent gemacht werden; ein Verzicht darauf führt langfristig zur Unglaubwürdigkeit, wenn konkrete Vorhersagen nicht eintreffen. Die Risiken des Klimawandels können zu Verdrängungsreaktionen oder sogar zu fatalistischen Reaktionen („Ich kann ja doch nichts tun.“) führen. Um diese Reaktionen von vornherein zu verhindern, sollte ein „Katastrophismus“ – d.h. die Betonung von potenziellen Klimafolgen katastrophalen Ausmaßes – vermieden und die Kommunikation von Risiken immer mit der Kommunikation von Anpassungsmöglichkeiten verbunden werden. Zur Kommunikation von Anpassungsmöglichkeiten sind Vorbilder, die Anpassungsmaßnahmen „vorleben“, besonders geeignet.

Die Schaffung eines Bewusstseins möglicher Auswirkungen des Klimawandels kann aber nur ein erster Schritt auf dem Weg zu einem an den Klimawandel angepassten Deutschland sein. Wenn es um konkrete Anpassungsentscheidungen geht – beispielsweise die Erhöhung von Deichen aufgrund steigender Hochwassergefahr – wird die Unsicherheit der Folgen des Klimawandels, wie schon in der Kommunikation der Chancen und Risiken des Klimawandels, zu einer besonderen Herausforderung. Auf genauere Studien zu warten, bevor man Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel vornimmt, ist im Sinne des Vorsorgeprinzips eine unverantwortliche Strategie, denn der Klimawandel und seine Auswirkungen finden bereits statt. Zum anderen wäre das Warten auf weniger unsichere Szenarienergebnisse eine trügerische Hoffnung; denn auch bei weiterer Verfeinerung der wissenschaftlichen Methoden werden die Ergebnisse in Zukunft unsicher bleiben. Oft fehlt bei Entscheidungsträgern aber Wissen über systematische und bewusste Strategien zum Entscheiden unter Unsicherheit. Daher besteht hier Unterstützungsbedarf. Das in diesem Bericht vorgestellte 8-stufige Entscheidungsunterstützungssystem zur Anpassung an den Klimawandel (siehe Kap. 6.2.4, Langfassung) liefert hierzu erste Anregungen.

Oft wird die Anpassung an die Folgen des Klimawandels nur im Sinne einer Verantwortungsteilung zwischen verschiedenen Akteuren zu bewerkstelligen sein. Letztlich ist die Klimaanpassung – wie auch die Verminderung der Treibhausgasemissionen – eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, zu der jeder einzelne Bürger ebenso wie Akteure aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung, Medien, Umweltverbänden, Bildung und Forschung beitragen können und sollten. Wissenschaft und Bildung kommen dabei aufgrund der Komplexität der Klimaproblematik eine entscheidende Bedeutung zu. Die Medien werden besonders für die öffentliche Vermittlung möglicher Klimafolgen und notwendiger Anpassungsmaßnahmen wichtig sein. Auch Umweltorganisationen spielen hier eine große Rolle. Durch Politik und Verwaltung müssen die notwendigen finanziellen, gesetzlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Der Verwaltung kommt darüber hinaus auch eine Informations- und Koordinationsfunktion für Anpassungsmaßnahmen in Privatwirtschaft und -haushalten zu, die vor dem Hintergrund der Haushaltslage in vielen Kommunen, Ländern und im Bund besondere Bedeutung erhalten. Zusätzlich zu den in dieser Studie untersuchten klimasensitiven Bereichen Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Naturschutz / Biodiversität,

Gesundheit und Verkehr sind auch in weiteren Bereichen (z.B. im Bausektor) Anpassungsmaßnahmen notwendig. Der Finanzwirtschaft (Banken und Versicherungen) kommt eine zentrale Bedeutung zu; denn über die Kredit- und Versicherungsvergabe verfügt sie über entscheidende Steuerungsinstrumente für Vorsorgemaßnahmen. Auch die Anpassung jedes einzelnen Bürgers in Deutschland ist gefragt, z.B. bei einer gesteigerten Vorsicht vor Zeckenbissen oder im hochwasserangepassten Bauen.

Da die Anpassung an den Klimawandel eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe ist, sollte der Dialog und die Abstimmung zwischen den verschiedenen Anpassungsakteuren gefördert werden. Die Bildung von Netzwerken ist hier ein sehr geeignetes Mittel. Dabei sollten sich diese Netzwerke nicht nur innerhalb Deutschlands organisieren, sondern Kontakte auch im Ausland aufbauen; denn dort liegen zum Teil weit umfangreichere Erfahrungen mit der Anpassung an den Klimawandel vor als in Deutschland. Der Aufbau eines solchen Akteurs-Netzwerks in Deutschland wurde im Rahmen der Bemühungen des Umweltbundesamtes, ein Kompetenzzentrum Klimafolgen einzurichten, bei dem auch eine Kooperation mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung angestrebt wird, bereits begonnen (siehe Kap. 5, Langfassung). Auch in einigen Bundesländern existieren bereits entsprechende Initiativen. Eine weitere organisatorische und finanzielle Unterstützung dieser Akteurs-Netzwerke durch staatliche und zunehmend auch privatwirtschaftliche Quellen wäre wünschenswert, da diese Netzwerke notwendige Informationen für Vulnerabilitätsabschätzungen liefern, aber auch Kommunikationsplattformen für abgestimmte Anpassungsmaßnahmen darstellen.