

Climate Change

Climate
Change

08
05

ISSN
1611-8855

KLIMAWANDEL IN DEUTSCHLAND

VULNERABILITÄT UND
ANPASSUNGSSTRATEGIEN
KLIMASENSITIVER SYSTEME



Umwelt
Bundes
Amt 
Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 201 41 253
UBA-FB 000844



Klimawandel in Deutschland

Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme

von

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

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de>
verfügbar.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06844 Dessau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 4.1
Petra Mahrenholz

Dessau, August 2005

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	9
1.1	AUFGABENSTELLUNG UND GLIEDERUNG DES BERICHTS	9
1.1.1	<i>Aufgabenstellung.....</i>	9
1.1.2	<i>Gliederung des Berichts.....</i>	9
1.2	GLOBALER WANDEL	10
1.2.1	<i>Historische Entwicklung des Klimawandels.....</i>	10
1.2.2	<i>Klimaprojektionen in die Zukunft.....</i>	11
1.2.3	<i>Klimawandel in Europa</i>	12
1.2.4	<i>Andere Elemente des Globalen Wandels</i>	13
1.3	AUSWIRKUNGEN, ANPASSUNG UND VULNERABILITÄT	13
1.3.1	<i>Beziehung Ökosysteme – Gesellschaft: Ökosystemfunktionen</i>	13
1.3.2	<i>Bisherige Auswirkungen des Globalen Wandels auf Ökosystemfunktionen und die Gesellschaft.....</i>	14
1.3.3	<i>Die Konzepte Vulnerabilität, Anpassung und Anpassungskapazität... </i>	15
1.3.4	<i>Anpassungsstrategien und die Rolle von Wissenschaft und Politik</i>	17
1.4	STAND DER INTERNATIONALEN UND NATIONALEN FORSCHUNG	18
1.5	LITERATUR	20
2	KONZEPTE UND METHODEN	22
2.1	SOZIOÖKONOMISCHE SZENARIEN UND EMISSIONSSZENARIEN	22
2.2	KLIMASZENARIEN	24
2.3	LANDNUTZUNGSSZENARIEN	24
2.4	ÖKOSYSTEMMODELLE – QUANTIFIZIERUNG VON POTENZIELLEN AUSWIRKUNGEN	25
2.5	ERGEBNISSE ANDERER STUDIEN UND PROJEKTE	25
2.6	BEFRAGUNGEN REGIONALER EXPERTEN	26
2.7	STAKEHOLDER-WORKSHOP	29
2.8	INTEGRIERTE VULNERABILITÄTSABSCHÄTZUNGEN.....	31
2.9	LITERATUR	33
3	GLOBALER WANDEL IN DEUTSCHLAND: KLIMAWANDEL, LANDNUTZUNGSWANDEL UND KOHLENSTOFFBILANZ	35
3.1	KLIMAWANDEL	35
3.1.1	<i>Historische Trends.....</i>	35
3.1.2	<i>Szenarien zum zukünftigen Klimawandel.....</i>	37
3.2	LANDNUTZUNGSWANDEL	40
3.3	NETTOKOHLLENSTOFFBILANZ VON ÖKOSYSTEMEN	41
3.4	LITERATUR	43
3.5	ANHANG	44
4	AUSWIRKUNGEN DES GLOBALEN WANDELS UND ANPASSUNGS- STRATEGIEN IN AUSGEWÄHLTEN KLIMASENSITIVEN SYSTEMEN	46
4.1	WASSERHAUSHALT UND WASSERWIRTSCHAFT	46
4.1.1	<i>Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Wasser</i>	46
4.1.2	<i>Wasser und Klima.....</i>	47
4.1.3	<i>Ausgangssituation: Wasserwirtschaft in Deutschland.....</i>	47
4.1.4	<i>Auswirkungen des Klimawandels – Trends und Projektionen</i>	50
4.1.5	<i>Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten.....</i>	54
4.1.6	<i>Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels.....</i>	56
4.1.7	<i>Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten.....</i>	57
4.1.8	<i>Literatur.....</i>	63
4.1.9	<i>Anhang</i>	65
4.2	LANDWIRTSCHAFT	67
4.2.1	<i>Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Landwirtschaft</i>	67
4.2.2	<i>Landwirtschaft und Klima</i>	67

4.2.3	Ausgangssituation: Landwirtschaft in Deutschland.....	69
4.2.4	Auswirkungen des Klimawandels – Trends und Projektionen	72
4.2.5	Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten.....	75
4.2.6	Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels.....	77
4.2.7	Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten	78
4.2.8	Literatur.....	84
4.3	FORSTWIRTSCHAFT	86
4.3.1	Resümee: Vulnerabilität der Wälder und der Forstwirtschaft	86
4.3.2	Forstwirtschaft und Klima	87
4.3.3	Ausgangssituation: Forstwirtschaft in Deutschland.....	88
4.3.4	Auswirkungen des Klimawandels – Trends und Projektionen	91
4.3.5	Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten.....	93
4.3.6	Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels.....	96
4.3.7	Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten	97
4.3.8	Literatur.....	104
4.3.9	Anhang	106
4.4	BIODIVERSITÄT UND NATURSCHUTZ.....	108
4.4.1	Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Biodiversität und Naturschutz.....	108
4.4.2	Biodiversität und Klima	109
4.4.3	Ausgangssituation: Biodiversität & Naturschutz in Deutschland	110
4.4.4	Auswirkungen des Klimawandels – Trends und Projektionen	111
4.4.5	Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten.....	112
4.4.6	Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels.....	114
4.4.7	Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten	114
4.4.8	Literatur.....	119
4.4.9	Anhang	120
4.5	GESUNDHEIT	122
4.5.1	Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Gesundheit.....	122
4.5.2	Gesundheit und Klima	123
4.5.3	Ausgangssituation: Gesundheit und Klima in Deutschland.....	124
4.5.4	Auswirkungen des Klimawandels – Literaturergebnisse.....	127
4.5.5	Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten.....	127
4.5.6	Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels.....	129
4.5.7	Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten	130
4.5.8	Literatur.....	136
4.6	TOURISMUS	137
4.6.1	Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Tourismus	137
4.6.2	Tourismus und Klima	138
4.6.3	Ausgangssituation: Tourismus in Deutschland.....	138
4.6.4	Auswirkungen des Klimawandels – Literaturergebnisse.....	139
4.6.5	Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten.....	142
4.6.6	Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels.....	143
4.6.7	Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten	144
4.6.8	Literatur.....	148
4.7	VERKEHR	150
4.7.1	Resümee: Vulnerabilität des Verkehrsbereichs	150
4.7.2	Verkehr und Klima.....	150
4.7.3	Ausgangssituation: Verkehr in Deutschland	151
4.7.4	Auswirkungen des Klimawandels – Literaturergebnisse.....	152
4.7.5	Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten.....	153

4.7.6	<i>Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels.....</i>	154
4.7.7	<i>Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten</i>	154
4.7.8	<i>Literatur.....</i>	158
5	ERGEBNISSE DES STAKEHOLDER-WORKSHOPS	159
5.1	ERGEBNISSE DER TEILNEHMERVORBEFRAGUNG	159
5.2	ERGEBNISSE DES WORKSHOPS	161
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	165
6.1	VULNERABLE REGIONEN UND BEREICHE IN DEUTSCHLAND	165
6.1.1	<i>Regionen.....</i>	166
6.1.2	<i>Bereiche.....</i>	167
6.2	ANPASSUNG AN DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS IN DEUTSCHLAND	170
6.2.1	<i>Anpassung und Emissionsminderungen</i>	170
6.2.2	<i>Anpassung als Aufgabe für die Risikokommunikation</i>	170
6.2.3	<i>Anpassung als Entscheiden unter Unsicherheit</i>	174
6.2.4	<i>Stufenkonzept zur Anpassung an den Klimawandel.....</i>	175
6.2.5	<i>Anpassung als Herausforderung für die gesamte Gesellschaft.....</i>	181
6.3	LITERATURVERZEICHNIS	184
7	ZUSAMMENFASSUNG & SUMMARY	185
7.1	ZUSAMMENFASSUNG	185
7.2	SUMMARY	195

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1-1: Entwicklung der Mitteltemperatur der Nordhemisphäre in den letzten 1000 Jahren und Projektionen für die nächsten hundert Jahre (IPCC, 2001; Mann et al., 1999).	11
Abb. 2-1: Dimensionen und Einflussfaktoren der SRES-Szenarien.	23
Abb. 2-2: Bewertete Naturräume hinsichtlich potenzieller Auswirkungen des Klimawandels.	28
Abb. 3-1: Jahresmitteltemperatur in Deutschland 1901-2003 (DWD, 2004).	35
Abb. 3-2: Jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland (DWD, 2004).	36
Abb. 3-3: Klimaszenarien zur Veränderung der langjährigen Jahresmitteltemperatur gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	38
Abb. 3-4: Klimaszenarien zur Veränderung des Winterniederschlags gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	39
Abb. 3-5: Klimaszenarien zur Veränderung des Sommerniederschlags gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	39
Abb. 3-6: Landnutzungsszenarien zur Veränderungen im Anteil Ackerland (a) und Wald (b) an der Flächennutzung in Deutschland gegenüber 1990 für alle sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	41
Abb. 3-7: Szenarien zur Veränderung der Nettokohlenstoffbilanz gegenüber 1990 für alle sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	42
Abb. 3-8: Veränderung der mittleren Jahrestemperatur in Deutschland.	44
Abb. 3-9: Veränderung der Winterniederschläge in Deutschland.	44
Abb. 3-10: Veränderung der Sommerniederschläge in Deutschland.	45
Abb. 4.1-1: Klimatische Wasserbilanz in Deutschland (BMU, 2003).	48
Abb. 4.1-2: Entnahme von Wasser aus der Natur in Deutschland im Jahr 2001 (Statistisches Bundesamt, 2005).	49
Abb. 4.1-3: Relative Veränderung im mittleren Jahresabfluss gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	51
Abb. 4.1-4: Relative Veränderung im Mindestabfluss Q90 gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	51
Abb. 4.1-5: Relative Veränderung im Sommerabfluss (Juni-August) gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	52
Abb. 4.1-6: Mittlerer monatlicher Abfluss des Rheins am Pegel Kaub 1990 und 2050 unter Verwendung des Szenarios HadCM3-A2 (ATEAM-Ergebnis).	53
Abb. 4.1-7: Einschätzungen des Klimawandels und seiner potenziellen Auswirkungen im Bereich Wasserwirtschaft.	55
Abb. 4.1-8: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Wasserwirtschaft.	59
Abb. 4.1-9: Relative Veränderung im mittleren Jahresabfluss gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	65
Abb. 4.1-10: Relative Veränderung im Mindestabfluss Q90 gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	65
Abb. 4.1-11: Relative Veränderung im Sommerabfluss (Juni-August) gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	66

Abb. 4.2-1: Aufteilung der landwirtschaftlich genutzten Fläche nach Anbauformen (Statistisches Bundesamt, 2005b).....	70
Abb. 4.2-2: Eignung für landwirtschaftliche Nutzung in Deutschland (Liedtke & Marcinek, 2002, verändert).	70
Abb. 4.2-3: Erträge für Winterweizen in Deutschland 1950 bis 2003 (Sterzel, 2004).	71
Abb. 4.2-4: Veränderung in der Anzahl geeigneter Fruchtarten, die als nachwachsende Rohstoffe genutzt werden können. Ergebnisse für alle sieben ATEAM Szenarien.	73
Abb. 4.2-5: Relative Veränderung im Anteil der Ackerfläche gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.....	74
Abb. 4.2-6: Einschätzungen des Klimawandels und seiner potenziellen Auswirkungen im Bereich Landwirtschaft.....	76
Abb. 4.2-7: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft.	79
Abb. 4.3-1: Baumarten und Besitzverhältnisse in Deutschland (BMVEL, 2004; DFWR, 2001).	89
Abb. 4.3-2: Relative Veränderung des Kohlenstoffvorrates (ober- und unterirdisch) der Wälder in Deutschland gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	91
Abb. 4.3-3: Relative Veränderung der jährlichen Holzzuwächse in Deutschland gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.....	92
Abb. 4.3-4: Veränderung des Waldbrandindex (Thonicke, 2002) in Deutschland gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.	93
Abb. 4.3-5: Einschätzungen potenzieller Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Forstwirtschaft.	94
Abb. 4.3-6: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Forstwirtschaft.	98
Abb. 4.3-7: Veränderung im Kohlenstoffvorrat der Wälder	106
Abb. 4.3-8: Veränderung in der jährlichen Holzproduktion (Zuwachs) in Deutschland	106
Abb. 4.3-9: Veränderung im Waldbrandindex	107
Abb. 4.4-1: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Biodiversität.	115
Abb. 4.4-2: Relative Veränderung in der Artenzahl krautiger Pflanzen gegenüber 1990. . .	120
Abb. 4.4-3: Relative Veränderung in der Artenzahl von Bäumen gegenüber 1990.	120
Abb. 4.4-4: Relative Veränderung in der Artenzahl von Amphibien und Reptilien gegenüber 1990.	121
Abb. 4.4-5: Relative Veränderung in der Artenzahl von Vogelarten gegenüber 1990.	121
Abb. 4.5-1: Das Bioklima in der Bundesrepublik für die Periode 1970-2000 (Jendritzky et al., 2003).	125
Abb. 4.5-2: Einfluss der Hitzewelle 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg (Koppe & Jendritzky, 2004).	126
Abb. 4.5-3: Einschätzungen des Klimawandels und seiner potenziellen Auswirkungen im Bereich Gesundheit.	128
Abb. 4.5-4: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Gesundheit.	131

Abb. 4.6-1: Urlaubsreisen der Deutschen nach Marktsegmenten (IPK, 2004a).....	139
Abb. 4.6-2: untere Grenze für Wintersport im Fichtelgebirge (Foken, 2003).	141
Abb. 4.6-3: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Tourismus.	145
Abb. 4.7-1: Übersicht über den Anteil der Verkehrsmittel am a) Personenverkehr und b) Güterverkehr in Deutschland (Bundesregierung, 2000).....	152
Abb. 4.7-2: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Verkehrsbereich.	155
Abb. 5-1: Aktuelle Wichtigkeit der Anpassung an den Klimawandel in den Organisationen der Workshopteilnehmer.	161
Abb. 6-1: Gliederung Deutschlands in Naturräume (aggregiert aus BFN, 2005).....	166
Abb. 6-2: Zunahme der Unsicherheiten mit der Bedeutsamkeit der Auswirkungen des Klimawandels.	174
Abb. 6-3: Stufenkonzept für Entscheidungen zur Anpassung an den Klimawandel (aus Willows & Connell, 2003, S. 7).....	176

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1-1: Einteilung der Ökosystemfunktionen in verschiedene Kategorien, sowie Kurzerläuterungen und Beispiele (Quelle: Millennium Ecosystem Assessment 2003).....	13
Tab. 2-1: Verwendete Prioritätsszenarien im Projekt ATEAM.....	24
Tab. 2-2: Ökosystemmodelle, die zur Modellierung der potenziellen Auswirkungen verwendet wurden, aufgeführt nach Bereichen.....	25
Tab. 3-1: Übersicht über Klimatrends in Deutschland (Jonas et al., 2005).....	35
Tab. 4-1: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Wasserwirtschaft.	58
Tab. 4-2: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Landwirtschaft.	79
Tab. 4-3: Einschätzung der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Forstwirtschaft.....	98
Tab. 4-4: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Biodiversität.	115
Tab. 4-5: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Gesundheit.	131
Tab. 4-6: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Tourismus.	145
Tab. 4-7: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Verkehrsbereich.	155
Tab. 5-1: Gesamteinschätzung des Klimawandels durch die Workshopteilnehmer.	160
Tab. 6-1: Zusammenfassende Darstellung der Vulnerabilität gegenüber dem Globalen Wandel (insb. Klimawandel) in Deutschland ohne weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario).	168
Tab. 7-1: Zusammenfassende Darstellung der Vulnerabilität gegenüber dem Globalen Wandel (insb. Klimawandel) in Deutschland ohne weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario).	190
Tab. 7-2: Summary of vulnerability to global change (particularly climate change) in Germany <i>without</i> further adaptation (business-as-usual scenario).	199

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung und Gliederung des Berichts

1.1.1 Aufgabenstellung

Der vorliegende Bericht ist das 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.

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. 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 in verschiedenen Regionen Deutschlands durchgeführt.

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. 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.

1.1.2 Gliederung des Berichts

Kapitel 1 beinhaltet eine Einführung in Ursachen, Ausprägung und generelle Auswirkungen des Globalen Wandels und erörtert vor diesem Hintergrund die Wechselbeziehung zwischen Ökosystemen, Ökosystemfunktionen und der menschlichen Gesellschaft. Begriffe und Konzepte zum Thema Anpassung an den Klimawandel, Anpassungskapazität und Vulnerabilität werden vorgestellt und der Stand des Wissens zu diesem Thema zusammengefasst.

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

In Kapitel 2 werden die Konzepte und Methoden dargelegt, die dieser Studie zu Grunde liegen. Diese umfassen v.a. Auswertungen von naturwissenschaftlichen Studien, insbesondere Auswertungen des Projektes ATEAM, sowie Expertenbefragungen zum Thema Anpassung an den Klimawandel.

Kapitel 3 beschreibt die Ausprägung des Globalen Wandels in Deutschland. Zum einen werden Informationen über die bereits zu beobachtenden Klimaänderungen und über verschiedene Szenarien zum zukünftigen Klimawandel bis zum Jahr 2080 analysiert und ausgewertet. Dabei wird auf die einzelnen Klimaelemente (Temperatur, Niederschlag), Extremereignisse sowie die räumliche und zeitliche Verteilung dieser Erscheinungen eingegangen. Zum anderen werden als weitere wichtige Elemente des Globalen Wandels Landnutzungsänderungen und Veränderungen im Kohlenstoffkreislauf besprochen.

Kapitel 4 ist das zentrale Kapitel dieses Berichtes. Hier werden die Auswirkungen des Globalen Wandels (insb. des Klimawandels) und der Stand der Anpassung an den Globalen Wandel für sieben ausgewählte Bereiche behandelt (Wasser, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Biodiversität und Naturschutz, Gesundheit, Tourismus und Verkehr), sowie Schlussfolgerungen über die Vulnerabilität dieser Bereiche gezogen. Dabei werden Ergebnisse aus dem Projekt ATEAM und anderen Studien sowie die Ergebnisse der Expertenbefragungen zum Thema Anpassung berücksichtigt.

Kapitel 5 fasst die Ergebnisse des im Rahmen dieser Studie durchgeführten Stakeholder-Workshops mit Beteiligten aus Politik, Verwaltung und Wirtschaft zum Thema Anpassung an den Klimawandel zusammen.

Kapitel 6 beinhaltet Schlussfolgerungen und Empfehlungen. Schlussfolgerungen über die Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel werden aus den Ergebnissen von Kapitel 4 gezogen und hoch vulnerable Regionen und Bereiche identifiziert. Empfehlungen werden bezogen auf die Kommunikation der Folgen des Klimawandels, den Umgang mit Unsicherheiten in Klimaszenarien und die gesamtgesellschaftliche Anpassung an den Klimawandel ausgesprochen.

Kapitel 7 gibt in Kurzform die Ergebnisse des Berichtes in deutscher und englischer Sprache wieder.

1.2 Globaler Wandel

1.2.1 Historische Entwicklung des Klimawandels

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 (Moberg et al., 2005). 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 (IPCC, 2001; WMO, 2003) (Abb. 1-1). 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 (IPCC, 2001). Seit 1950 ist ein deutlicher Anstieg der Schäden durch Naturkatastrophen und Überschwemmungen zu verzeichnen (Munich Re, 2002).

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 (IPCC, 2001; Oreskes, 2004). 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 (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) 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 Konzentration von CO_2 , dem wichtigsten Treibhausgas, um 34% von 280 auf 375 ppm (parts per million) erhöht und damit wahrscheinlich das höchste Niveau der letzten 400'000 Jahre erreicht (Petit et al., 1999). 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, IPCC 2001), wenn nicht drastische Emissionsminderungen dem entgegenwirken.

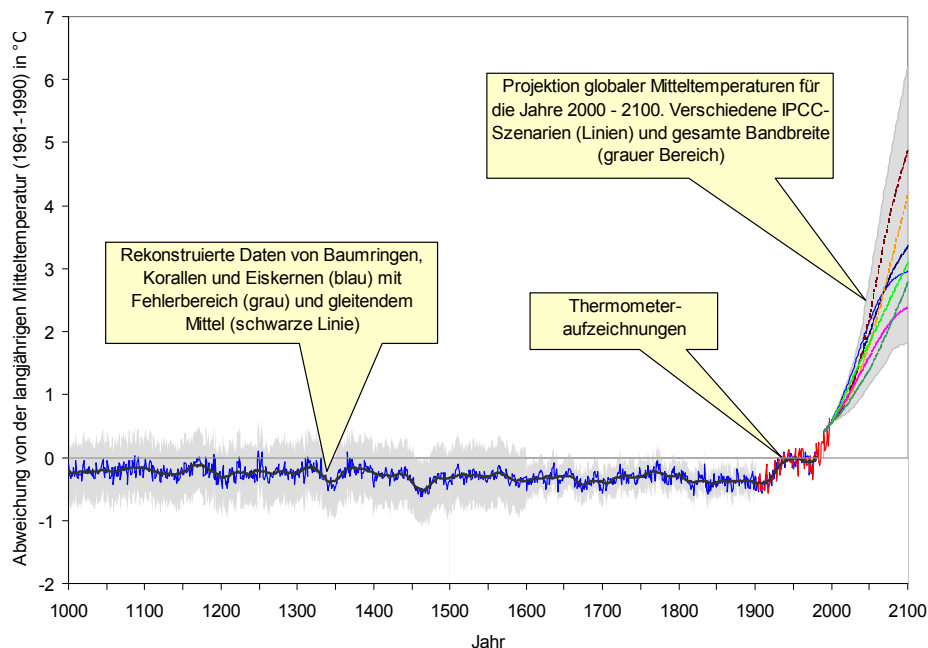


Abb. 1-1: Entwicklung der Mitteltemperatur der Nordhemisphäre in den letzten 1000 Jahren und Projektionen für die nächsten hundert Jahre (IPCC, 2001; Mann et al., 1999).

1.2.2 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 CO_2 -Konzentration, wird global zwischen 1,5 und 4,5°C angenommen. Die Wahrscheinlichkeit, das 2-Grad-Ziel langfristig zu überschreiten, steigt mit CO_2 -Konzentrationen, die viel höher als heutige Werte liegen, rapide an (Hare & Meinershausen, 2005). 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 (Jaeger & Oppenheimer, 2005). 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 (Nakicenovic & Swart, 2000). In der Folge wird mit einem weiter beschleunigten Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 1,4-5,8°C bis zum Jahr 2100 gerechnet (Abb. 1-1). 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 (IPCC, 2001). Auch eine Zunahme der Zyklonenaktivität in den Tropen ist wahrscheinlich. Kälteextreme werden sehr wahrscheinlich abnehmen.

1.2.3 Klimawandel in Europa

Die globale Mitteltemperatur stieg seit 1900 um $0,7 \pm 0,2^\circ\text{C}$ an. Europa hat sich in derselben Zeit noch stärker, nämlich um $0,95^\circ\text{C}$, erwärmt (EEA, 2004). Ähnlich dem globalen Trend sind dabei die Temperaturen im Winter stärker angestiegen als im Sommer. Die Erwärmung war im Nordwesten Russlands und auf der Iberischen Halbinsel am größten. Klimaprojektionen für Europa zeigen eine Erwärmung von $2,0$ - $6,3^\circ\text{C}$ von 1990 bis 2100. Das „nachhaltige“ EU-Ziel der globalen Erwärmung um höchstens 2°C im Vergleich zu vorindustriellen Temperaturen wird wahrscheinlich schon um das Jahr 2050 überschritten sein (EEA, 2004).

Klimabeobachtungen in der Zeit von 1900-2000 zeigen eine Zunahme der Jahresniederschläge in Nordeuropa (10-40% feuchter), und eine Abnahme in Südeuropa (bis zu 20% trockener). Innerhalb der meisten europäischen Regionen waren diese Veränderungen am stärksten im Winter (EEA, 2004). Klimaprojektionen zeigen einen Anstieg des Jahresniederschlags in Nordeuropa um 1-2% pro Jahrzehnt und eine Abnahme des Jahresniederschlags in Südeuropa um 1% pro Jahrzehnt (im Sommer können Abnahmen von bis zu 5% pro Jahrzehnt vorkommen). Für Südeuropa werden ernsthafte Wasserknappheit und häufigere Dürren erwartet.

In den letzten hundert Jahren ist die Anzahl der Frosttage in den meisten Regionen Europas zurückgegangen. Gleichzeitig nahm die Zahl der Sommertage (Temperaturen über 25°C) und der Hitzewellen zu. Die Häufigkeit extrem nasser Tage hat in den letzten Jahrzehnten in Mittel- und Nordeuropa zugenommen, aber in Südeuropa an vielen Orten signifikant abgenommen. Kalte Winter (definiert als Winter, die kälter sind als 90% aller Winter in der Periode von 1961-1990) werden nach Szenarienrechnungen bis 2080 fast vollständig verschwunden sein, während heiße Sommer (definiert als Sommer, die wärmer sind als 90% aller Sommer in der Periode von 1961-1990) viel häufiger werden. Es ist außerdem wahrscheinlich, dass bis 2080 sowohl Dürren als auch Starkniederschlagsereignisse in Europa häufiger vorkommen (EEA, 2004).

Die Gletscher in acht von neun europäischen Gletscherregionen sind im Rückzug und liegen damit im globalen Trend. Der momentane Gletscherrückzug übersteigt das Ausmaß der letzten 5000 Jahre. Es ist sehr wahrscheinlich, dass dieser Trend anhält. Bis zum Jahr 2050 werden wahrscheinlich ca. 75% der Gletscher in den Schweizer Alpen verschwunden sein. Auch die Dauer der Schneebedeckung der nördlichen Hemisphäre (zwischen Breitengrad 45° und 75°) hat zwischen 1971 und 1994 im Schnitt um 8,8 Tage pro Jahrzehnt abgenommen. Laut Szenarienrechnungen wird dieser Trend im 21. Jahrhundert weiter fortschreiten (EEA, 2004).

1.2.4 Andere Elemente des Globalen Wandels

Globaler Wandel ist ein weit reichender und viel verwendeter Sammelbegriff. Wir verstehen darunter nicht nur den globalen Klimawandel, sondern auch Trends anderer Faktoren, die vom menschlichen Einfluss auf das Erdsystem zeugen, also vom sog. Zeitalter des *Anthropozäns* (Crutzen, 2002).

Die intensive Nutzung unseres Planeten hinterlässt Spuren. Zum Beispiel hat der Mensch mittlerweile 30-50% der Erdoberfläche verändert (Vitousek et al., 1997b). Und die globale Bevölkerung wächst; im Jahr 2050 werden wahrscheinlich weitere 2-4 Milliarden Menschen hinzu gekommen sein (Cohen, 2003). Die Düngerproduktion bindet heute mehr Stickstoff durch synthetische Stickstofffixierung als die natürliche Fixierung aller terrestrischen Ökosysteme zusammen (Vitousek et al., 1997a).

In dem vorliegenden Forschungsprojekt haben wir uns vorrangig auf die Faktoren atmosphärische Kohlendioxidkonzentration, Klimawandel und Landnutzungswandel konzentriert.

1.3 Auswirkungen, Anpassung und Vulnerabilität

1.3.1 Beziehung Ökosysteme – Gesellschaft: Ökosystemfunktionen

Ökosysteme stellen Funktionen und Güter bereit, die für das menschliche Wohlergehen unverzichtbar sind (Daily, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2003). Deshalb sind Ökosysteme und die Gesellschaft untrennbar miteinander verwoben. Die Fülle von Ökosystemfunktionen (inkl. Gütern), wie z.B. Nahrungsmittel- und Futterproduktion, Trinkwasserspeicherung, Klimaschutz, Bodenbildung, Inspiration und ästhetischer Wert von Landschaften, wird leicht unüberschaubar. Es ist deshalb hilfreich, Ökosystemfunktionen in vier Kategorien einzuteilen: *versorgende, regulierende, kulturelle und erhaltende Ökosystemfunktionen* (siehe Tab. 1-1).

Tab. 1-1: Einteilung der Ökosystemfunktionen in verschiedene Kategorien, sowie Kurzerläuterungen und Beispiele (Quelle: Millennium Ecosystem Assessment 2003).

Versorgende Ökosystemfunktionen	Regulierende Ökosystemfunktionen	Kulturelle Ökosystemfunktionen
Güter, die entnommen werden.	Nutzen, der durch die regulierende Wirkung auf Ökosystemprozesse entsteht.	Nicht-materieller Nutzen.
- Nahrung - Trinkwasser - Brennholz - Faserstoffe - biochemische Pharmazeutika - Genetische Ressourcen	- Klimaregulation - Krankheitsregulation - Wasserspeicherung - Wasserfiltration - Bestäubung	- spiritueller und religiöser Wert - Erholung und Ökotourismus - Ästhetischer Wert - Inspiration - Bildung - Regionale Identität - Kulturelles Erbe
Erhaltende Ökosystemfunktionen		
Funktionen die notwendig sind, um alle anderen Ökosystemfunktionen zu erhalten.		
Bodenbildung	Nährstoffkreisläufe	Primärproduktion

Wegen der Untrennbarkeit von Mensch und Umwelt hat sich in der Nachhaltigkeitsforschung der Begriff *Mensch-Umwelt-System* eingebürgert (Schröter et al., 2005 (in press); Turner et al., 2003). Dieser Begriff verdeutlicht, dass Menschen als Nutzer, Akteure und Manager nicht externe Größen, sondern integrale Bestandteile des Systems sind. Im Mensch-Umwelt-System stellen Ökosystemfunktionen eine vitale Verbindung zwischen Mensch und Umwelt dar. Wir verstehen klimasensitive Systeme als Mensch-Umwelt-Systeme und wählen Ökosystemfunktionen als Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung.

1.3.2 Bisherige Auswirkungen des Globalen Wandels auf Ökosystemfunktionen und die Gesellschaft

Der Globale Wandel beeinflusst Ökosysteme durch Veränderungen in Prozessraten und Systemstruktur (Schröter et al., 2004b). Die Auswirkungen Globalen Wandels auf Ökosysteme und ihre Funktionen sind bereits auf unterschiedlichen Skalenebenen sichtbar. So hat der anthropogene Klimawandel bereits einen „Fingerabdruck“ auf Ökosystemen hinterlassen – die Verbreitung vieler Arten hat sich polwärts (bzw. aufwärts) verschoben, und der biologische Frühling (z.B. Aufbrechen der Baumknospen und Ankunftszeitpunkt von Zugvögeln) beginnt früher im Jahr (Parmesan & Yohe, 2003; Stenseth et al., 2002; Walther et al., 2002). Es ist weder erstaunlich noch neu, dass sich Klimaänderungen auf Tier- und Pflanzenarten auswirken. Allein Ausmaß und Rate dieser Auswirkungen sind größer als je zuvor (Root et al., 2003). Die Artenvielfalt geht zurück. Der Mensch hat die Aussterberate gegenüber der erdgeschichtlich natürlichen Rate tausendfach erhöht (Reid et al., 2005). Des weiteren wird die Verbreitung der Arten homogener, d.h. Regionen werden weniger charakteristisch in Bezug auf ihre Artenzusammensetzung.

In den 140 Jahren zwischen 1850 und 1990 hat der globale Landnutzungswandel zu einer Zunahme an landwirtschaftlich genutzter Fläche geführt (von ca. 13 auf 49 Millionen km²). Dies geschah auf Kosten von Waldflächen (Abnahme von global ca. 60 auf 48 Millionen km²) und Grünland (Abnahme von global ca. 60 auf 36 Millionen km²) (McNeill, 2001). Der Löwenanteil dieser dramatischen Umwandlung geschah in den letzten sechzig Jahren. Der Landnutzungswandel ging mit massiver Bodenerosion einher und bewirkte außerdem starke Veränderungen im globalen Kreislauf von Kohlenstoff und Nährstoffen, wie z.B. Phosphor und Stickstoff (Houghton, 1999; McNeill & Winiwarter, 2004). Manche Studien vermuten, dass der negative Effekt des Landnutzungswandels auf die terrestrische Biodiversität noch größer sein wird als der des Klimawandels (Sala et al., 2000). Als dritt-wichtigster Faktor wird der Stickstoffeintrag genannt.

Landwirtschaftliche Flächen und Wälder erhalten heute bis zu 16mal mehr Stickstoff durch Eintrag aus der Atmosphäre als vor der Industrialisierung (Holland et al., 1999). Dies bewirkt Eutrophierung und verändert die Struktur und Funktion der Ökosysteme (Matson et al., 2002; Smith et al., 1999). In aquatischen Systemen wird der Eutrophierungseffekt schnell in Form von Algenblüten und dem „Umkippen“ von Gewässern sichtbar. Wälder hingegen reagieren langsamer. Oft kommt es zunächst zu einer Wachstumssteigerung, bis das Stickstoffangebot den Bedarf überschreitet und Stickstoffionen im Boden andere wichtige Nährstoffe (z.B. Kalzium und Magnesium) binden. Gemeinsam werden sie dann ins Grundwasser ausgewaschen. Die nun unterversorgten Bäume werden anfälliger für Frost, Trockenheit und Parasiten. Steigende Versauerung gefährdet die Lebensvielfalt im Boden (Aber et al., 1998). Trotz des Gothenburg-Protokolls (1999) zur Reduzierung der Schwefel- und Stickstoffemissionen bleibt der Stickstoffeintrag in mitteleuropäische Ökosysteme sehr hoch (Alcamo et al., 2002). Der Langzeiteffekt dieser ungeplanten Düngung ist derzeit unbekannt.

Der Globale Wandel verändert die grundlegenden Bedingungen für die Basisfunktionen von Ökosystemen (Bodenbildung, Nährstoffkreislauf, Primärproduktion, siehe auch „erhaltende Ökosystemfunktionen“, Tab. 1-1) und damit indirekt alle weiteren Funktionen. Außerdem hat der Globale Wandel direkten Einfluss auf die Lebens- und Landschaftsvielfalt (Biodiversität im weiteren Sinne). Im März 2005 wurde die globale Ökosystem-Studie „Millennium Ecosystem Assessment“ abgeschlossen. Eines der Hauptergebnisse dieser einzigartigen Studie ist, dass die globale Degradierung von Ökosystemen eine große Hürde beim Erreichen der sog. „Millennium Development Goals“ (Millennium-Entwicklungsziele) der Vereinten Nationen darstellt (Reid et al., 2005). Über 1300 Wissenschaftler waren sich darin einig, dass die globale

Verminderung der Kindersterblichkeit, die Überwindung von extremer Armut und Hunger, die Bekämpfung von Krankheiten wie HIV/AIDS und Malaria sowie andere Entwicklungsziele von einem nachhaltigen Management des Mensch-Umwelt-Systems abhängen. Auch in wirtschaftlich reichen Ländern führt die Degradierung von Ökosystemen zu Problemen, die über eine leichte Verminderung unserer hohen Lebensqualität weit hinaus gehen. Die Exekutivdirektorin der Europäischen Umweltagentur (European Environment Agency, EEA) fasst es so zusammen:

"Klimaänderung [ist] bereits im Gange und [hat] weit reichende Auswirkungen auf Menschen und Ökosysteme in ganz Europa, häufig verbunden mit erheblichen wirtschaftlichen Verlusten", Prof. Jacqueline McGlade, Exekutivdirektorin der EEA.

So war die verheerende Elbflut 2002 nicht nur Folge von ungewöhnlich extremen Starkniederschlägen sondern auch von fehlenden Retentionsflächen, wie z.B. natürlichen Flutungspoldern. Der Verlust von Wasser speichernden Flusslandschaften machte sich so jäh bemerkbar.

Oft werden Ökosystemfunktionen als öffentliche Güter unbewusst genutzt und ihr Verlust wird erst durch gesellschaftlichen Schaden sichtbar. Um innerhalb unserer Gesellschaft nachhaltig zu leben und zu wirtschaften, müssen wir die für uns essentiellen Ökosystemfunktionen erkennen und verstehen.

1.3.3 Die Konzepte Vulnerabilität, Anpassung und Anpassungskapazität

Der Begriff Vulnerabilität bezeichnet die Schadensrisiken von Mensch-Umwelt-Systemen (siehe auch Box 1-1). 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.

Box 1-1 – Definitionen zentraler Begriffe

Die Grundlage der meisten Definitionen ist der dritte Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2001).

Potenzielle Auswirkungen des Globalen Wandels – Alle Auswirkungen, die aufgrund plausibler Szenarien Globalen Wandels möglich erscheinen, ohne Berücksichtigung gegenwärtiger und zukünftiger Anpassungsmaßnahmen.

Anpassung an Klimawirkungen – Veränderungen natürlicher und menschlicher Systeme als Reaktion auf tatsächliche oder erwartete klimatische und/oder klimabedingte Umweltveränderungen, die Schaden mindern oder günstige Gelegenheiten nutzen (unverändert, IPCC, 2001). Im Gegensatz dazu wird der Versuch, klimatische Veränderungen zu verhindern oder abzuschwächen, Mitigation genannt.

Anpassungsgrad – Ausmaß der Angepasstheit an aktuelle und zukünftige Auswirkungen des Globalen Wandels. Der Anpassungsgrad bestimmt sich aus dem Vorhandensein von Anpassungsmaßnahmen, die Schäden mindern oder günstige Gelegenheiten nutzen.

Spontane Anpassung (autonome Anpassung) – Anpassung durch ökologische oder biologische Veränderungen innerhalb von natürlichen Systemen, sowie spontane Anpassungen im Markt oder Sozialwesen (Metzger & Schröter, 2005 (in review); Schröter et al., 2004a). Spontane Anpassung ist keine bewusste oder geplante Anpassung an den Globalen Wandel. *Beispiele für spontane Anpassung:* Waldbaumarten, die ihre bioklimatische Toleranzbreite durch evolutionäre Veränderungen vergrößern; Nachlassen der Nachfrage als Konsequenz von Preiserhöhungen, die auf Angebotsknappheit beruhen.

Anpassungskapazität – Die Fähigkeit, *geplante* Anpassungsmaßnahmen durchzuführen (unverändert, IPCC, 2001). Die Anpassungskapazität bezieht die Fähigkeit zu spontaner Anpassung (auch autonome Anpassung) nicht mit ein. *Beispiel für Anpassungskapazität:* Eine Region hat eine hohe Anpassungskapazität im Hinblick auf Flutkatastrophen, wenn sie den politischen Willen, die Freiheit, die Ressourcen und das Know-how besitzt, neue Flutungspolder etc. in Erwartung häufigerer und extremerer Hochwasser zu bauen.

Vulnerabilität (gegenüber dem Globalen Wandel) – Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein spezifisches Mensch-Umwelt-System Schaden nimmt durch Veränderungen in der Gesellschaft oder der Umwelt und unter Berücksichtigung seiner Anpassungskapazität (Turner et al., 2003). *Beispiele für Vulnerabilität:* Siedlungsgebiete die in Überflutungspoldern liegen, sind vulnerabel gegenüber Starkniederschlägen. Auf einer anderen Ebene, sind auch Menschen, die natürliche Flussläufe für Rekreation und Inspiration nutzen, vulnerabel gegen Landnutzungswandel wie Flussbegradigungen. Ältere Menschen, die außerhalb eines sozialen Pflagenetzes leben, sind sehr direkt vulnerabel gegenüber sommerlichen Hitzewellen.

Vulnerabilität ohne weitere Maßnahmen (aktuelle Vulnerabilität, Ohne-Maßnahmen-Szenario) – Zukünftiges Schadensrisiko eines Mensch-Umwelt-Systems aufgrund des Globalen Wandels (insb. des Klimawandels) unter der Annahme, dass sich am gegenwärtigen Anpassungsgrad in der Zukunft nichts ändert.

Vulnerabilität mit weiteren Maßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario) – Zukünftiges Schadensrisiko eines Mensch-Umwelt-Systems aufgrund des Globalen Wandels (insb. des Klimawandels) unter der Annahme, dass die vorhandene Anpassungskapazität maximal genutzt wird, um den zukünftigen Anpassungsgrad zu verbessern.

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 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.

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.

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). 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.

1.3.4 Anpassungsstrategien und die Rolle von Wissenschaft und Politik

Anpassung an veränderte Umweltbedingungen gehört selbstverständlich zum täglichen Leben. Meist passieren diese Anpassungen als Reaktion auf bereits geschehene Veränderungen. *Anpassungsstrategien* hingegen beinhalten eine Vorstellung von der zukünftigen Entwicklung eines Geschehens. Globaler Wandel ist bereits Realität. Weiterer Klimawandel ist unvermeidbar, auch wenn wir die besten Mitigationsmaßnahmen (v.a. Minderungen der Treibhausgasemissionen) sofort umsetzen. Auf den Globalen Wandel erst zu reagieren, wenn erhebliche negative Folgen eintreten, wäre mehr als fahrlässig. Deshalb müssen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Bürger zusammen arbeiten, um Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Anpassungsstrategien stellt diese Studie multiple plausible Szenarien des Globalen Wandels zur Verfügung. Die Szenarien beruhen auf unterschiedlichen Annahmen zur globalen sozio-ökonomischen Entwicklung, und stellen somit einen ersten Rahmen an Handlungsoptionen dar. Die Szenarien betreffen nicht nur die Einflussfaktoren, sondern auch die potenziellen Auswirkungen auf essentielle Ökosystemfunktionen. Diese Szenarien repräsentieren den Stand des Wissens inklusive der wichtigsten Unsicherheiten.

Sozio-ökonomische Indikatoren können Rahmenbedingungen für Anpassungsmaßnahmen beschreiben. Letztendlich sind Anpassungsstrategien allerdings vom Zusammenhang abhängig. Wir brauchen Handlungsstrategien auf unterschiedlichen Skalenebenen (europäisch, regional, national und lokal) und für verschiedene Sektoren und relevante Ökosystemfunktionen (z.B. Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Gesundheit, Tourismus).

Das nachhaltige Management des Mensch-Umwelt-Systems und der Ökosystemfunktionen kann die Vulnerabilität gegenüber dem Globalen Wandel vermindern. In diesem Bericht betrachten wir verschiedene Ökosystemfunktionen genauer, denn nachhaltiges Management ist selbstverständlich kontextabhängig. Eine Ökosystemfunktion zu erkennen und zu benennen, ist der erste essentielle Schritt. Als nächstes muss die Dynamik der Ökosystemfunktion unter Einfluss von Mensch und Umwelt und im Zusammenspiel mit anderen Ökosystemfunktionen betrachtet werden. Hierbei sind numerische Ökosystemmodelle hilfreiche Werkzeuge, vor allem, wenn sie menschliches Management mit einbeziehen, wie zum Beispiel die Modelle für Forst- und Landwirtschaft sowie Kohlenstoffdynamik. Es ist außerdem wichtig, ob die Ökosystemfunktion ein privates oder öffentliches Gut darstellt, weil dies die Interessengruppen klarstellt und die Möglichkeiten zur Regulierung verdeutlicht.

Die Entwicklung von Anpassungsstrategien kann und sollte nicht allein Sache der Wissenschaft sein. Ein spezifisches, handlungsorientiertes Verständnis der Wirtschaftsweise einzelner Sektoren kann nur durch Stakeholder bereit gestellt werden. Außerdem ist die Entscheidung, was eine geeignete und gute Anpassungsstrategie darstellt, nicht allein eine Frage der Fakten und plausiblen Szenarien, sondern auch der Werte. Zwangsläufig ergeben sich Interessen- und Wertkonflikte, die nur im gleichberechtigten Dialog aller Beteiligten gerecht gelöst werden können.

Die Anpassungsstrategien, die in dieser Studie dargestellt sind, wurden im Dialog zwischen Wissenschaftlern und Stakeholdern aus öffentlichen und privaten Sektoren entwickelt. In Form von Handlungsoptionen stellen sie eine Diskussionsgrundlage für den Entscheidungsfindungsprozess dar.

1.4 Stand der internationalen und nationalen Forschung

Eine Reihe von Industrieländern haben auf nationaler Ebene umfassende integrierte Untersuchungen der Vulnerabilität bezüglich Klimaveränderungen durchgeführt. Zu nennen sind hierbei insbesondere Großbritannien (viele Regionen sowie ausgewählte Sektoren), Norwegen (alle Regionen), die USA (alle Regionen), Kanada (alle Regionen) und Portugal (national sowie regionale Fallstudien), mit Einschränkungen auch Australien und Frankreich. Eine vergleichbare, alle Regionen und Sektoren umfassende Untersuchung existiert bislang für Deutschland nicht. Wenngleich eine Verallgemeinerung der Ergebnisse aus unterschiedlichen Ländern nur eingeschränkt möglich ist, so zeigen sich dennoch einige Gemeinsamkeiten. Insbesondere ist ersichtlich, dass Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel stark skalenabhängig und regional zum Teil sehr unterschiedlich ist, dass bestehende Unsicherheiten über zukünftige regionale Klimaänderungen robuste Vorhersagen über regionale Klimafolgen häufig nicht erlauben, dass mögliche abrupte Klimaänderungen („climate surprises“) nur in sehr wenigen Fällen berücksichtigt wurden, dass die Integration wissenschaftlicher Analysen mit partizipativen Ansätzen auf regionaler Ebene wichtige Voraussetzung für die Erzielung umsetzbarer Ergebnisse ist, und dass der Klimawandel meist nur einer unter mehreren Faktoren für politische Entscheidungen ist.

Die Finanzierung der umsetzungsorientierten Klimawirkungsforschung in Deutschland erfolgt aus unterschiedlichen Quellen. Ein umfassendes integrierendes Forschungsprogramm auf nationaler Ebene, wie etwa das vorbildliche *United Kingdom Climate Impacts Programme* (UKCIP), gibt es in Deutschland derzeit nicht. Wichtigster Förderer der Klimawirkungsforschung in Deutschland ist das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF; Förderschwerpunkte F75010 und F75099, DEKLIM), mit dessen Unterstützung eine Vielzahl von sektoral oder regional integrierten Forschungsprojekten durchgeführt wurden und werden. Förderschwerpunkte bestehen insbesondere im Bereich des Küsten- und Hochwasserschutzes, der Wasserwirtschaft sowie der Forstwirtschaft. Die traditionell grundlagenorientierte Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat bislang nur zwei Sonderforschungsbereiche mit unmittelbarer Relevanz für die Anpassung an den Klimawandel eingerichtet (SFB 419: <http://www.uni-koeln.de/sfb419/>, und SFB 433, http://www.sfb607.de/deutsch/science/bedeutung/sfb_forstwirtschaft.html). Die Europäische Kommission (DG Research) hat seit dem 4. Rahmenprogramm eine Reihe von integrierten Forschungsprojekten auf europäischer Ebene unterstützt, die auch für Deutschland relevante Ergebnisse lieferten (z.B. ACACIA, ATEAM, AVEC, cCASHh, CLAWINE, DINAS-COAST, ECLAT-2, EUROTAS, ENRICH, LTEEF, PRUDENCE, SPRUCE GROWTH, WAKE, WISE). Aufgrund der notwendigerweise gröberen regionalen Auflösung können diese Arbeiten detailliertere Untersuchungen auf nationaler Ebene im Regelfall jedoch nicht ersetzen. Auch die deutschen Bundesländer spielen eine wichtige Rolle für die umsetzungsorientierte Forschungsförderung, jedoch mit erheblichen Unterschieden zwischen einzelnen Ländern. Integrierte Vulnerabilitätsstudien auf Länderebene wurden bislang für Bayern (BayFORKLIM, 1990-1999), Brandenburg (Brandenburg-Studien 1997 und 2003) und Baden-Württemberg (KLARA, 2003-2005) durchgeführt, wenn auch mit sehr unterschiedlichen Ansätzen und Ergebnissen. Weitere Regionen, die zumindest in Teilbereichen ausführlicher untersucht wurden, sind die Nord- und Ostseeküste sowie die Insel Sylt, das Weser-Ästuar, die Einzugsgebiete von Elbe, Oder und Donau, die Stadt Köln sowie die Bornhöveder Seenkette.

Für Deutschland liegen eine Vielzahl von naturwissenschaftlich dominierten Sensitivitätsstudien und Klimafolgenuntersuchungen für ausgewählte klimasensitive Systeme vor, welche regelmäßig in der referierten Literatur veröffentlicht werden. Demgegenüber sind die Ergebnisse der wenigen integrierten Vulnerabilitäts- und Anpassungsstudien häufig nicht in der internationalen und referierten Literatur zugänglich, sondern nur in Projektberichten oder etwa in den Mitteilungen einer der 22 Geographischen Gesellschaften in Deutschland.

Aufgrund der Zersplitterung der Forschungslandschaft, der regional und sektoral sehr lückenhaften Abdeckung und der unterschiedlichen Methodik (sowie der Hürden beim Zugang

zu manchen Forschungsergebnissen) ist es trotz der Vielzahl von einzelnen Untersuchungen sehr schwer, zu einem Gesamtbild der Vulnerabilität von Deutschland gegenüber dem Klimawandel zu gelangen. Es sollte allerdings auch beachtet werden, dass der Vergleich von Regionen, die sehr unterschiedlichen Risiken ausgesetzt sind (z.B. Sturmfluten und Rückgang des Wintertourismus), konzeptionell problematisch und nicht ohne Wertentscheidungen möglich ist. Eine recht gute Datenlage besteht im Bereich des Küstenschutzes (z.B. KRIM, Fallstudie Sylt, KLIMU, BALTEX), der Forstwirtschaft (z.B. Deutsche Waldstudie/GFS), der Wasserwirtschaft (z.B. KLIWA, GLOWA-Elbe, GLOWA-Danube, EMTAL), sowie der Katastrophenvorsorge (z.B. DFNK, DKKV). In anderen Bereichen (z.B. Landwirtschaft, Biodiversität, menschliche Gesundheit, Tourismus, Energieversorgung) bestehen hingegen zum Teil erhebliche Wissenslücken. In der kürzlich abgeschlossenen zweiten Brandenburg-Studie wurden die zurückgehende Wasserverfügbarkeit und die zunehmende Waldbrandgefahr als Hauptrisiken des Klimawandels genannt, wobei letztere durch ein entsprechendes Waldumbauprogramm minimiert werden kann. Im Abschlussbericht von BayFORKLIM wurden (trotz eines ausgeprägten Klimaänderungsszenarios) außerhalb des Hochwasserschutzes kaum kritische Gefahren identifiziert. Detailliertere Aussagen über regionale Bedrohungen bedürfen einer vertieften Analyse der verfügbaren Literatur. Aus den genannten Gründen ist jedoch nicht zu erwarten, dass hieraus ein allgemeines Vulnerabilitätsmaß oder umfassende sektorspezifische Vulnerabilitätskarten abgeleitet werden können.

Der Vergleich und die Zusammenfassung der vorhandenen Studien werden vor allem dadurch erschwert, dass die Untersuchungen auf den unterschiedlichsten Klimawandelszenarien beruhen. Oftmals werden nur wenige Szenarien betrachtet, ohne dass eine solche Auswahl begründet werden kann. Die Europäische Vulnerabilitätsstudie ATEAM ist die erste, die auf einer umfassenden Gruppe von konsistenten Szenarien multipler Faktoren Globalen Wandels (Sozio-Ökonomie, Klima, Landnutzung, Stickstoffdeposition) beruht. Somit werden die Ergebnisse aus verschiedenen Sektoren innerhalb dieser Studie vergleichbar. Außerdem wird die Vorhersageunsicherheit durch die unterschiedlichen Szenarien umfassender als sonst berücksichtigt. Die vorliegende Studie basiert deshalb auf den von ATEAM gelieferten Ausgangsdaten (siehe Kapitel 2).

1.5 Literatur

- Aber, J., McDowell, W., Nadelhoffer, K., Magill, A., Berntson, G., Kamakea, M., McNulty, S., Currie, W., Rustad, L., Fernandez, I. (1998): Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. *BioScience*, 48, 921-934.
- Alcamo, J., Mayerhofer, P., Guardans, R., van Harmelen, T., van Minnen, J., Onigkeit, J., Posch, M., de Vries, B. (2002): An integrated assessment of regional air pollution and climate change in Europe: findings of the AIR-CLIM Project. *Environmental Science & Policy*, 5, 257-272.
- Cohen, J.E. (2003): Human Population: The Next Half Century. *Science*, 302, 1172.
- Crutzen, P.J. (2002): Geology of mankind: The Anthropocene. *Nature*, 415, 23.
- Daily, G.C. (1997): *Nature's services*. Island Press / Shearwater Books, Washington.
- EEA (2004). *Impacts of Europe's changing climate, An indicator-based assessment*, Rep. No. 2. European Environment Agency (EEA), Luxembourg.
- Hare, B., Meinshausen, M. (2004): How much warming are we committed to and how much can be avoided? Potsdam Institute for Climate Impact Research, PIK-report No. 93, pp. 49.
- Holland, E.A., Dentener, F.J., Braswell, B.H., Sulzman, J.M. (1999): Contemporary and pre-industrial global reactive nitrogen budgets. *Biogeochemistry*, 46, 7-43.
- Houghton, R.A. (1999): The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 51, 298-313.
- IPCC (2001): *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Third Assessment Report. Climate Change 2001: The Scientific Basis; Impacts, Adaptation & Vulnerability; Mitigation*. Cambridge University Press.
- Jaeger, C., Oppenheimer, M. (2005): *Emissions Pathways to Avoid Dangerous Climate Change -- A Transatlantic View*. INTACT, Options for Future Climate Policy: Transatlantic Perspectives, 7-17.
- Mann, M.E., Bradley, R.S., Hughes, M.K. (1999): Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 26.
- Matson, P., Lohse, K.A., Hall, S.J. (2002): The Globalization of Nitrogen Deposition: Consequences for Terrestrial Ecosystems. *Ambio*, 31, 113-119.
- McNeill, J.R. (2001): *Something new under the sun: An environmental history of the twentieth-century world*. W.W. Norton & Company Inc., New York, NY, USA.
- McNeill, J.R., Winiwarter, V. (2004): Breaking the Sod: Humankind, History, and Soil. *Science*, 304, 1627-1629.
- Metzger, M., Schröter, D. (2005 (in review)): Concept for a spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of Europe. *Regional Environmental Change*.
- Millennium Ecosystem Assessment (2003): *Ecosystems and Human Well-being: a framework for assessment -- Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington.
- Moberg, A., et al., 2005. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature*, 433, 613-617.
- Munich Re (2002): *Annual Review: Natural Catastrophes 2002. Topics*, http://www.munichre.com/pdf/topics_2002_e.pdf.
- Nakicenovic, N., Swart, R. (2000) *IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Oreskes, N. (2004): The scientific consensus on climate change. *Science*, 306, 1686.
- Parmesan, C., Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42.

- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.-M., Basile, I., Benders, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delayque, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E., Stievenard, M. (1999): Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399, 429-436.
- Reid, W.V., Mooney, H.A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S.R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Hassan, R., Kasperson, R., Leemans, R., May, R.M., McMichael, T.A.J., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R.T., Zakri, A.H., Shidong, Z., Ash, N.J., Bennett, E., Kumar, P., Lee, M.J., RaudseppHearne, C., Simons, H., Thonell, J., Zurek, M.B. (2005): Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report. Island Press, Washington DC.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., Pounds, J.A. (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421, 57-60.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H. (2000): Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Schröter, D., Acosta-Michlik, L., Arnell, A.W., Araújo, M.B., Badeck, F., Bakker, M., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T., Vega-Leinert, A.C.d.l., Erhard, M., Espíñeira, G.Z., Ewert, F., Fritsch, U., Friedlingstein, P., Glendining, M., Gracia, C.A., Hickler, T., House, J., Hulme, M., Kankaanpää, S., Klein, R.J.T., Krukenberg, B., Lavorel, S., Leemans, R., Lindner, M., Liski, J., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T., Mohren, F., Morales, P., Moreno, J.M., Reginster, I., Reidsma, P., Rounsevell, M., Pla, E., Pluimers, J., Prentice, I.C., Pussinen, A., Sánchez, A., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Werf, G.v.d., Vayreda, J., Wattenbach, M., Wilson, D.W., Woodward, F.I., Zaehle, S., Zierl, B., Zudin, S., Cramer, W. (2004a). ATEAM (Advanced Terrestrial Ecosystem Analyses and Modelling) Final Report. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam.
- Schröter, D., Brussaard, L., Deyn, G.D., Poveda, K., Brown, V.K., Berg, M.P., Wardle, D., Moore, J., Wall, D.H. (2004b): Trophic interactions in a changing world: modelling above-ground-belowground interactions. *Basic and Applied Ecology*, 5, 515-528.
- Schröter, D., Polsky, C., Patt, A.G. (2005 (in press)): Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight step approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- Smith, V.H., Tilman, G.D., Nekola, J.C. (1999): Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100, 179-196.
- Stenseth, N.C., Mysterud, A., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Chan, K.-S., Lima, M. (2002): Ecological Effects of Climate Fluctuations. *Science*, 297, 1292-1296.
- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A. (2003): A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 8074-8079.
- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, D.G. (1997a): Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications*, 7, 737-750.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J., Melillo, J.M. (1997b): Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277, 494-499.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- WMO - World Meteorological Organization (2003): Global temperature in 2003 third warmest. press release.

2 Konzepte und Methoden

Teile des vorliegenden Berichts beruhen auf dem Europäischen Projekt ATEAM², dessen Vulnerabilitäts-Konzepte und -Methodik zum Teil übernommen wurden und dessen Ergebnisse in diese Studie mit einfließen. Die europäische Vulnerabilitäts-Abschätzung beruhte auf einem Satz konsistenter, räumlich expliziter Szenarien des Globalen Wandels, einer Reihe von Ökosystemmodellen, Indikatoren für Ökosystemfunktionen, einem generischen Index für regionale Anpassungskapazität, sowie einem kontinuierlichen Dialog mit Stakeholdern (Schröter et al., 2004). Im Folgenden werden einige Elemente der ATEAM-Vulnerabilitäts-Methodik genauer beschrieben.

2.1 Sozioökonomische Szenarien und Emissionsszenarien

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) empfiehlt eine Gruppe von Zukunftsszenarien, welche die Bandbreite der Unsicherheiten bezüglich der Einflussfaktoren sowie der Emissionsentwicklung umfasst, ohne irgendein bestimmtes Szenario mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit zu belegen (Nakicenovic & Swart 2000). Durch die Verwendung multipler Expositions-Szenarien wird eine große Spannbreite an möglichen Zukunftsentwicklungen abgedeckt. Obwohl es nach heutigem Stand des Wissens nicht möglich ist, eines dieser Szenarien als am meisten oder am wenigsten wahrscheinlich auszuweisen, so ist es bei vergleichender Betrachtung vieler Szenarien doch möglich, zwischen Regionen zu unterscheiden, die bei den meisten Szenarien verwundbar erscheinen, und solchen, die nur bei einem spezifischen Szenario problematisch werden. Auch wird man Regionen erkennen, die bei keinem der untersuchten Szenarien verwundbar erscheinen. Ausgehend von Szenarien für Sozioökonomie, Emissionen und atmosphärische Kohlendioxidkonzentration basiert das ATEAM-Projekt deshalb auf einem Satz konsistenter, räumlich expliziter Szenarien mit der Auflösung 10'x10' (entspricht ca. 16 x 16 km) für die Haupteinflussfaktoren Klima und Landnutzungswandel für die Zeitschritte 2020, 2050 und 2080 sowie für die Ausgangssituation 1990. Die Zeitschritte repräsentieren dreißigjährige Mittelwerte (1990 ist das Mittel aus 1961-1990, 2020 aus 1991-2020, 2050 aus 2021-2050, 2080 aus 2051-2080). Des weiteren liegen Szenarien für atmosphärischen Stickstoffeintrag vor – allerdings nur für oxidierte, nicht aber reduzierte Stickstoffverbindungen, die ca. 50% der Gesamtdosition ausmachen. Die Stickstoffdepositionsszenarien werden derzeit im europäischen Folgeprojekt ALARM³ weiterentwickelt, d.h. die reduzierten Stickstoffverbindungen sollen nun mit berücksichtigt werden.

Ausgangspunkt der Szenarienentwicklung sind die sogenannten Marker-Szenarien oder IPCC-SRES-Szenarien⁴ (Nakicenovic & Swart 2000). Diese Szenarien beruhen auf erzählerischen Beschreibungen plausibler Zukunftswelten („storylines“), die von einer internationalen Expertengruppe⁵ erstellt und in einem offenen Reviewprozess⁶ überarbeitet wurden. Die Beschreibungen beruhen auf Überlegungen zu den Haupteinflussfaktoren wie z.B. Bevölkerungswachstum, ökonomische und technologische Entwicklung. Die SRES-Szenarien sind in vier Hauptgruppen unterteilt, genannt A1, A2, B1 und B2. Jede dieser Gruppen betont eine unterschiedliche Kombination sozialer, ökologischer und ökonomischer Ideale. Diese Ideale werden entlang zweier Achsen organisiert (siehe Abb. 2-1). Die vertikale Achse unterscheidet eine ökonomisch orientierte (A) von einer sozial- und umweltverträglich orientierten Welt (B). Die horizontale Achse repräsentiert die Spanne zwischen globaler (1) und regionaler (2)

² ATEAM – Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling (EU Project No. EVK2-2000-00075), www.pik-potsdam.de/ATEAM.

³ ALARM – Assessing Large-scale Environmental Risks with Tested Methods (EU Project No. GOCE-CT-2003-506675).

⁴ SRES = Special Report on Emission Scenarios.

⁵ Die Expertengruppe bestand aus mehr als 50 Experten aus über 18 Ländern.

⁶ Öffentlich zugänglich im Internet von Juni 1998 bis Januar 1999.

Entwicklung. So bezeichnet beispielsweise A1 eine ökonomisch und global orientierte Entwicklung.

Die qualitativen Szenarien spezifizieren typische Aspekte und Prozesse für jeden der vier Quadranten, die durch die zwei Achsen aufgespannt werden. Das A1-Szenario wurde außerdem unter Annahme unterschiedlicher Kombinationen von Brennstofftypen und technologischer Entwicklung im Energiesektor in drei Unterszenarien aufgeteilt, genannt A1f, A1b und A1t. Das Energiesystem der A1f-Welt wird von fossilen Brennstoffen dominiert, in der A1b-Welt wird eine Mischung aus fossilen und erneuerbaren Energien genutzt (b steht für ‚balanced‘), und in der A1t-Welt basiert das Energiesystem auf neuen energie-effizienten technologischen Entwicklungen und erneuerbaren Energieträgern. Diese Differenzierung innerhalb der A1-Szenario-Gruppe ist nötig, weil gerade in dieser Welt des starken ökonomischen Wachstums technologische Entwicklungen im Energie-Sektor starken Einfluss auf die Emissionsentwicklung und letztendlich auf die Treibhausgaskonzentrationen haben. In der vorliegenden Studie haben wir uns auf die SRES-Szenarien A1f, A2, B1 und B2 konzentriert.

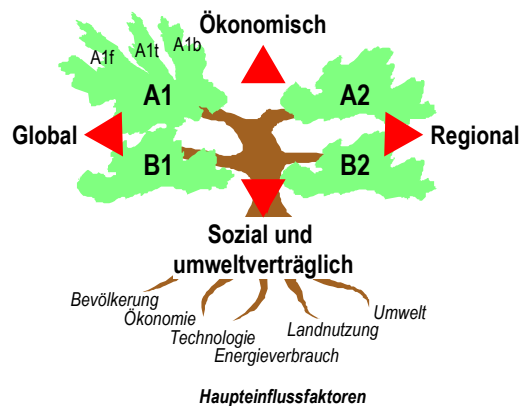


Abb. 2-1: Dimensionen und Einflussfaktoren der SRES-Szenarien.

Exemplarisch für eine sozioökonomische Größe sei das Beispiel der Bevölkerungsentwicklung für Deutschland in den einzelnen SRES-Szenarien beschrieben. In allen Szenarien außer A2 nimmt die Bevölkerung schwach ab (gegen Ende des 21. Jahrhunderts auf knapp unter 80 Millionen in den Szenarien A1 und B1 und auf ca. 70 Millionen im B2 Szenario). Im A2 Szenario beginnt die Gesamtbevölkerung nach anfänglicher schwacher Abnahme gegen Ende des nächsten Jahrhunderts wieder leicht anzusteigen (Schröter et al., 2004).

In ähnlicher Form beinhalten die SRES-Szenarien Information zur Ökonomie, Technologie, zum Energieverbrauch und so weiter. Um aus den Beschreibungen dieser Faktoren quantitative Szenarien abzuleiten, werden integrierte Assessment-Modelle genutzt. Für die vorliegende Untersuchung verwendeten wir Treibhausgasemissionen, die mit Hilfe des integrierten Assessment-Modells IMAGE für jedes Szenario errechnet wurden (IMAGE Team 2001). Die szenariospezifischen Treibhausgasemissionen führen zu unterschiedlichen atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen. In allen Szenarien steigt die Treibhausgaskonzentration im Verlauf des 21. Jahrhunderts an. Der stete Anstieg in der Treibhausgaskonzentration beginnt sich erst im Jahr 2050 zwischen den Szenarien deutlicher zu unterscheiden. Ab 2050 zeigt das Szenario B1 den schwächsten Anstieg (auf knapp 520 ppmv in 2100), gefolgt von B2 (auf knapp 610 ppmv in 2100). Die ökonomisch orientierten Szenarien führen zu deutlich höheren Treibhausgaskonzentrationen, besonders für das A1f Szenario (knapp 960 ppmv in 2100), während die CO₂-Konzentration für das A2-Szenario im Jahr 2100 bei 870 ppmv liegt.

2.2 Klimaszenarien

Um die Klimaszenarien zu erhalten, wurden vier moderne Klimamodelle (HadCM3, CSIRO2, CGCM2 und PCM) mit den vier aus den Emissionsszenarien resultierenden atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationsentwicklungen angetrieben. Die Auswahl der Klimamodelle erfolgte aus den international anerkannten Modelle nach Verfügbarkeit. Die sich ergebenden 16 Klimaszenarien repräsentieren 93 % der vom IPCC 2001 angegebenen möglichen Temperaturanstiegs-Szenarien. Die Ergebnisse der Modellläufe sind über das IPCC-Datenzentrum frei verfügbar. Sie liegen allerdings dort in einer räumlichen Auflösung von 0,5°x0,5° (entspricht ca. 50x50 km) vor, die für das Studium vieler klimasensitiver Systeme und insbesondere der Vulnerabilität des Mensch-Umwelt Systems nicht ausreichend ist. Hierzu müssen ökologische und sozioökonomische Prozesse beschrieben werden, die sich in einer Auflösung von 0,5°x0,5° nicht adäquat abbilden lassen. Deshalb wurden die Klimaszenarien auf eine Auflösung von 10x10' (entspricht ca. 16x16 km) herunterskaliert (Mitchell et al., 2004). Des weiteren wurde die beobachtete Klimavariation von 1901-2000 verwendet, um eine realistische Klimavariation auch für die Zukunftsszenarien zu erzeugen. Die Szenarien sind als TYN SC 1.0 bekannt und öffentlich zugänglich. Eine neuere Version der Szenarien mit einigen Verbesserungen ist vom ATEAM-Projekt erhältlich (Schröter et al., 2004).

2.3 Landnutzungsszenarien

Parallel zu den Klimaszenarien wurde ein Satz von Landnutzungsszenarien mit derselben räumlichen Auflösung (10'x10') entwickelt (Ewert et al., 2004; Kankaanpää & Carter, 2004a, b; Reginster & Rounsevell, 2005; Rounsevell et al., 2005a; Rounsevell et al., 2005b). Die Landnutzungstypen urbane Nutzung, Ackerland, Grünland, Bioenergieproduktion (Biomasse-energieträger aus landwirtschaftlichem Anbau, wie z.B. aus Gerste oder Rapsöl), Wald sowie Schutz- und Erholungsgebiete wurden berücksichtigt. Die Landnutzungsszenarien beruhen auf den Emissionen und der sozioökonomische Entwicklung der SRES-Marker-Szenarien sowie auf den daraus entwickelten Klimaszenarien. Dazu wurden die sozioökonomischen Einflussfaktoren auf Europa, dann auf Deutschland und schließlich auf eine regionale Skala (sogenannter NUTS2-level, entspricht in etwa der Regierungsbezirksebene) herunterskaliert. Veränderungen in der landwirtschaftlich genutzten Fläche wurden aus Nahrungsmittelangebot und -nachfrage errechnet. Hierbei wurden szenarioabhängige Veränderungen im Ernteertrag mit einbezogen, die auf Klimaänderungen, dem atmosphärischen Kohlendioxidanstieg und der technologischen Entwicklung beruhen. Die Nachfrage nach einzelnen Landnutzungen (Nahrungsmittelproduktion, Biomasse Energie, Forstproduktion, Siedlungsgebiete) wurde dem integrierten Assessment-Modell IMAGE entnommen und bezieht sozioökonomische Entwicklungen außerhalb Deutschlands und Europas mit ein (IMAGE Team 2001).

Tab. 2-1: Verwendete Prioritätsszenarien im Projekt ATEAM

7 Szenarien		4 globale Klimamodelle (GCMs)			
		CGCM2	CSIRO2	HadCM3	PCM
4 SRES Szenarien	A1f			A1f-HadCM3	
	A2	A2-CGCM2	A2-CSIRO2	A2-HadCM3	A2-PCM
	B1			B1-HadCM3	
	B2			B2-HadCM3	

Die eigentliche Allokation der Landnutzung erfolgte nach szenario-abhängigen Annahmen über politische Vorgaben. Hierzu wurde eine szenario-abhängige Hierarchie entwickelt, nach der die Landnutzungstypen bei konkurrierender Nachfrage verteilt wurden. So wurde die Änderung im prozentualen Flächenanteil über die Zeit und pro Szenario für jede 10'x10' Gt-

terzelle ermittelt. Die Szenario-Entwicklung erfolgte durch eine Gruppe von Experten und unter Beteiligung von Stakeholdern aus der Land- und Forstwirtschaft sowie aus dem Naturschutzsektor (Rounsevell et al., 2005ab). Den Szenarien der Forstentwicklung liegt eine länderspezifische Forstpolitik-Analyse zugrunde (Kankaanpää & Carter, 2004b).

Aus Kostengründen wurden im Projekt ATEAM für die Landnutzungsszenario-Entwicklung sieben Prioritätsszenarien aus dem Satz der 16 Klimaszenarien ausgewählt: A1f, A2, B1, B2 angetrieben mit den Klimavorhersagen von HadCM3, außerdem A2 zusätzlich angetrieben mit den Klimavorhersagen aus CSIRO2, CGCM2 und PCM (bezeichnet als A1f-HadCM3, A2-HadCM3, B1-HadCM3, B2-HadCM3, A2-CSIRO2, A2-CGCM2, A2-PCM) (siehe Tab. 2-1). So entstand ein Satz konsistenter Zukunftsszenarien, der die Unsicherheiten sowohl in der Emissionsvorhersage, als auch in der Klimavorhersage abbildet. Die Landnutzungsszenarien beruhen auf den anderen Szenarien (SRES Sozioökonomie, Emissionen, Konzentrationen und Klimaszenarien). Deshalb werden sie konsistent immer in Kombination mit den entsprechenden anderen Szenarien zum Antrieb von Impact-Modellen, wie z.B. Ökosystemmodellen, genutzt.

2.4 Ökosystemmodelle – Quantifizierung von potenziellen Auswirkungen

Potenzielle Auswirkungen des Globalen Wandels sind zum Beispiel Änderungen im Angebot der Ökosystemfunktionen wie etwa Ertragsverluste in der Forstwirtschaft durch Trockenheit und erhöhte Waldbrandgefahr. Um die Szenarien Globalen Wandels in potenzielle Auswirkungen zu übersetzen, wurde eine Reihe von Ökosystemmodellen verwendet (siehe Tab. 2-2). Zusammen mit Stakeholdern aus der Privatwirtschaft und dem öffentlichen Sektor wurden Indikatoren für Ökosystemfunktionen ausgewählt, die für die Bereiche Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Kohlenstoffspeicherung und Energie, Wasser, Naturschutz sowie Tourismus von Bedeutung sind. Insbesondere wurden die Funktionen landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Produktion, Speicherung von Kohlenstoff in Vegetation und Boden, Wasserabflussmenge und Dynamik, Artenreichtum und Schneesicherheit ausgewählt.

Tab. 2-2: Ökosystemmodelle, die zur Modellierung der potenziellen Auswirkungen verwendet wurden, aufgeführt nach Bereichen.

Bereiche	Modell	Referenz
Landwirtschaft	ROTHC	(Coleman et al., 1997)
	IMAGE (biofuel demand)	(IMAGE team, 2001)
Forstwirtschaft	GOTILWA+	(Sabaté et al., 2002)
	EFISCEN	(Karjalainen et al., 2003)
Kohlenstoffspeicherung	LPJ	(Sitch et al., 2003; Thonicke et al., 2001; Venevsky et al., 2002)
Wasser	Mac-pdm	(Arnell, 1999 modifiziert; Arnell, 2003)
Naturschutz	Statistische Nischen Modelle – BIOMOD	(Thuiller, 2003; Thuiller, 2004)
Bergökosysteme	RHESsys	(Tague & Band, 2004)

2.5 Ergebnisse anderer Studien und Projekte

Neben dem Projekt ATEAM dienten zahlreiche andere Studien und Projekte auf nationaler und regionaler Ebene als Informationsquelle. Insbesondere für die Bereiche Gesundheit, Tourismus und Verkehr lagen keine bzw. nur wenige Ergebnisse aus dem Projekt ATEAM vor, so dass hier vollständig auf Ergebnisse aus der Literatur zurückgegriffen wurde. Hinweise auf die berücksichtigten Studien und Projekte finden sich in den Kapiteln 3 und 4 des vorliegenden Berichts.

2.6 Befragungen regionaler Experten

Über das ATEAM-Projekt hinausgehend wurden innerhalb der vorliegenden, auf Deutschland bezogenen Studie in den sieben untersuchten klimasensitiven Bereichen (Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Naturschutz / Biodiversität, Gesundheit und Verkehr) Befragungen mit regionalen Experten aus den bereichsspezifischen Fachressorts der Bundesländer durchgeführt.

Ziele der Befragungen

Ziele der Befragungen waren vor allem

- a) Einschätzungen der regionalen und bereichsspezifischen Bedeutsamkeit von potenziellen Auswirkungen des Klimawandels und
- b) Einschätzungen des bisherigen Anpassungsgrades und geeigneter Anpassungsmaßnahmen an diese Auswirkungen zu erhalten.

Die Einschätzungen zur Bedeutsamkeit potenzieller Auswirkungen des Klimawandels dienen v.a. dazu, Anhaltspunkte für Vulnerabilitätseinschätzungen in den verschiedenen Bereichen und Regionen zu erhalten; denn für eine solche Bewertung ist innerhalb der Klimafolgenforschung nur sehr wenig bereichs- und regionenspezifisches Wissen vorhanden. Zudem werden durch den Einbezug der Risikoeinschätzungen von regionalen Experten deren Schutzziele mitberücksichtigt und die Vulnerabilitätseinschätzungen auf eine breitere Bewertungsbasis gestellt.

Bisherige Wissenslücken waren auch der Grund für die Erhebung von Einschätzungen des bisherigen Anpassungsgrades und geeigneter Anpassungsmaßnahmen. In Deutschland steht der Prozess der Anpassung an die Folgen des Klimawandels noch am Anfang. Einzelne Bereiche und Regionen stellen sich bereits dieser Herausforderung. So war es Ziel der Befragung regionaler Experten, zum einen bestehende Initiativen zu identifizieren und deren Erfahrungen zu sammeln, zum anderen den Umsetzungsgrad von Maßnahmen zu erfassen, die zur Anpassung an den Klimawandel *geeignet* sind, auch wenn sie durch andere Gründe *motiviert* waren (z.B. Umbau zu Mischwäldern in der Forstwirtschaft).

Die Befragten

Befragt wurden ausschließlich Vertreter aus den bereichsspezifischen Fachressorts der Bundesländer, z.B. aus Landesforstverwaltungen oder Gesundheitsministerien. Aus Kostengründen konnte nur ein Vertreter pro Bundesland und Bereich befragt werden.

Selbstverständlich sind die mittels der Befragungen gewonnenen Einschätzungen von der Subjektivität der Befragten beeinflusst. Weiterhin repräsentieren sie ausschließlich die Sicht staatlicher Verwaltungen. Einschätzungen von Interessenverbänden, Nichtregierungsorganisationen, Unternehmen oder Bürgern sind nicht repräsentiert. Zudem gab es aus einigen Bundesländern nur einen sehr geringen Rücklauf der Fragebögen.

Dennoch sind die Einschätzungen der Befragten geeignet, insbesondere um einen Eindruck von vorhandenen und sinnvollen Anpassungsmaßnahmen in Deutschland, aber auch eine praxisnahe, bereichs- und regionenspezifische Bewertung besonders wichtiger Risiken und Chancen des Klimawandels zu erhalten.

Die Fragebögen

Zur Erprobung des Befragungsverfahrens wurde im Forstbereich eine telefonische Pilotbefragung mit Experten aus den Forstverwaltungen der Länder durchgeführt. In den übrigen untersuchten klimasensitiven Bereichen wurde im Anschluss an die Befragung im Forstbereich aus Kostengründen eine etwas verbesserte Befragung mittels schriftlicher Fragebögen realisiert.

Pro Bereich und Bundesland wurde ein spezifischer Fragebogen entwickelt. Alle Fragebögen gliedern sich in zwei Hauptteile: (a) Risiko- und Chancenbewertungen und (b) Bewertungen von Anpassungsmaßnahmen.

Bei den **Risiko- und Chancenbewertungen** geht es um Einschätzungen des Klimawandels und bestimmter potenzieller Elemente⁷ und bereichsspezifischer Auswirkungen⁸ des Klimawandels

- in dem jeweiligen Bereich des Befragten,
- in verschiedenen Naturräumen⁹ innerhalb des jeweiligen Bundeslandes des Befragten (siehe Abb. 2-2),
- in verschiedenen Zeiträumen (in letzter Zeit: 1990 bis heute; kurzfristig: heute bis 2010; mittelfristig: 2010 bis 2020; langfristig: 2020 bis 2050),
- auf einer qualitativen Bewertungsskala (sehr negativ – negativ – etwas negativ – weder pos. noch neg. – etwas positiv – positiv – sehr positiv).¹⁰

Positivbewertungen werden als Chanceneinschätzungen, Negativbewertungen als Risikoeinschätzungen interpretiert.

Beispielsweise wird von dem Befragten aus Baden-Württemberg im Bereich Gesundheit im Naturraum Oberrheingraben die potenzielle Auswirkung des Klimawandels „mehr Probleme mit Hitze (Kreislaufprobleme, Hirngefäß- und Atemwegserkrankungen, Hitzetod)“ bereits in letzter Zeit als „negativ“, kurz-, mittel- und langfristig sogar als „sehr negativ“ eingeschätzt. Diese Auswirkung stellt nach Einschätzung des Befragten also ein großes Risiko dar.

Die Befragten wurden gebeten, bei ihren Antworten zu berücksichtigen, (a) ob und wie ausgeprägt eine genannte Entwicklung im Rahmen des Klimawandels ihrer Einschätzung nach in verschiedenen Naturräumen ihres Bundeslandes zutrifft bzw. zutreffen wird, (b) wie positiv bzw. negativ sich die Entwicklung auf den jeweiligen Bereich im genannten Naturraum und Zeitabschnitt auswirkt und (c) wie ausgeprägt die Anpassung und Anpassungskapazität des Bereiches in ihrem Bundesland gegenüber der Entwicklung ist bzw. sein wird, so dass Risiken der Entwicklung vermieden bzw. Chancen genutzt werden können.

Neben den standardisiert erfragten Elementen und Auswirkungen des Klimawandels wurde außerdem nach weiteren Chancen und Risiken des Klimawandels gefragt, welche die Befragten für ihren Bereich in ihrem Bundesland sehen.

Weiterhin wurde der bisherige Informationsstand über den Klimawandel und seine Auswirkungen erfragt, z.B. mit der Frage, ob den Befragten Analysen der Klimaentwicklung der letzten Jahre bzw. Jahrzehnte in ihrem Bundesland oder Projektionen zukünftiger Klimaentwicklungen (Szenarien) vorliegen. Dieser bisherige Informationsstand kann zur Bewertung der Verlässlichkeit der Befragteneinschätzungen herangezogen werden.

⁷ Als Elemente des Klimawandels wurden beispielsweise die steigende Jahresmitteltemperatur und die vermehrten Starkniederschläge bewertet. In allen Bereichen (z.B. Biodiversität, Landwirtschaft) wurden von den Befragten dieselben Elemente bewertet, was z.T. Positivbewertungen in dem einen Bereich und Negativbewertungen in einem anderen Bereich ergab.

⁸ Als bereichsspezifische Auswirkungen des Klimawandels wurden z.B. im Biodiversitätsbereich Veränderungen in der Phänologie (Austrieb, Blüte etc.) von Pflanzen bewertet. Die erfragten bereichsspezifischen Auswirkungen waren von Bereich zu Bereich unterschiedlich.

⁹ Naturräume richten sich nicht nach Landesgrenzen, sondern sind abhängig von biologischen und geographischen Faktoren. So wurde derselbe Naturraum von mehreren Befragten bewertet, wobei jedoch jeweils unterschiedliche landesspezifische Teile dieses Naturraums eingeschätzt wurden.

¹⁰ Die Pilotbefragung in der Forstwirtschaft erfragte die Einschätzungen der Wichtigkeit von Elementen und Auswirkungen des Klimawandels in den jeweiligen Bundesländern, ohne nach verschiedenen Zeiträumen und Naturräumen zu differenzieren.

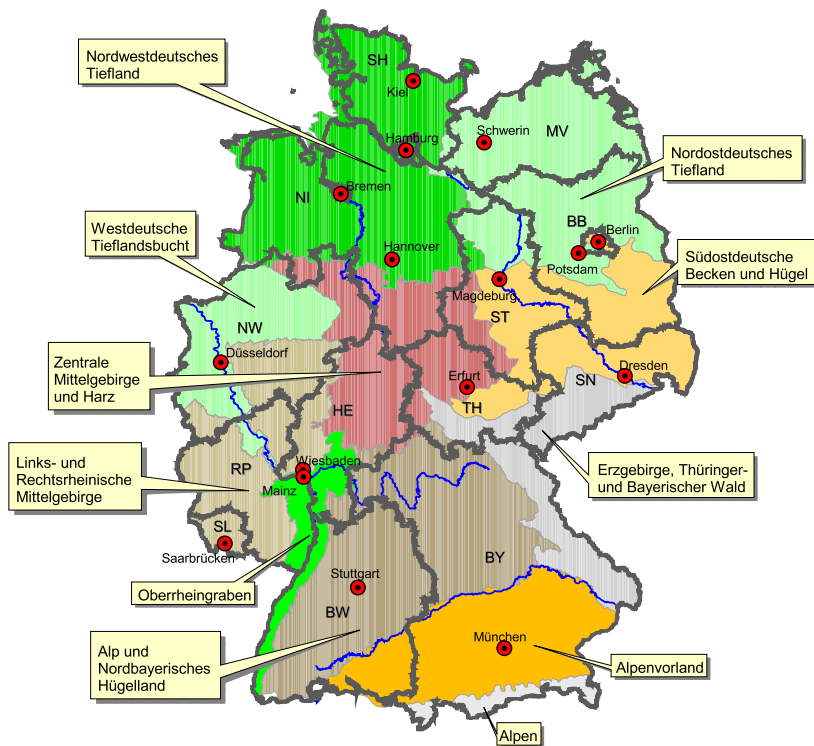


Abb. 2-2: Bewertete Naturräume hinsichtlich potenzieller Auswirkungen des Klimawandels.

Bei den **Anpassungsbewertungen** geht es um Einschätzungen

- der Wirksamkeit verschiedener bereichsspezifischer Maßnahmen, um den potenziellen Auswirkungen des Klimawandels in dem jeweiligen Bundesland zu begegnen (d.h. Risiken zu mindern u. Chancen zu nutzen), mit den Antwortmöglichkeiten „wirksam“ oder „unwirksam“,
- des bisherigen Umsetzungsgrades der Maßnahmen in dem jeweiligen Bundesland auf einer qualitativen Stufenskala (nicht diskutiert – momentan diskutiert – konkret geplant – bereits partiell eingeführt – bereits umgesetzt),
- der Gründe für die Einführung bzw. Nichteinführung der Maßnahmen (aufgrund des Klimawandels u./od. aus anderen Gründen),
- der Hindernisse der erfolgreichen Umsetzung der Maßnahme (finanziell, organisatorisch, legislativ, fehlendes Wissen u./od. andere Hindernisse), sofern die Maßnahme noch nicht vollständig umgesetzt ist, und
- der Aufwändigkeit der Maßnahmen vor dem Hintergrund der Hindernisse auf einer qualitativen Stufenskala (nicht aufwändig – etwas aufwändig – aufwändig – sehr aufwändig).

Die Befragten werden ausdrücklich gebeten, diese Fragen auch dann zu beantworten, wenn in ihrem Bereich in ihrem Bundesland noch keine Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels vollzogen worden sind; denn oft werden Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, bereits aus anderen Gründen durchgeführt (z.B. Umbau zu Mischwäldern in der Forstwirtschaft).

Neben den standardisiert erhobenen Maßnahmen wird innerhalb der Fragebögen außerdem nach weiteren Maßnahmen gefragt, die zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels nach Einschätzung der Befragten in ihrem Bereich und in ihrem Bundesland geeignet sind.

Um auch Maßnahmen und Initiativen zu identifizieren, die v.a. zur Anpassung an den Klimawandel erfolgen, wird weiterhin die bisherige Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel in den befragten Fachressorts erhoben und dabei beispielsweise nach

dem Vorhandensein praktischer Programme (d.h. nicht primär forschungsbezogene Projekte) zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels gefragt. Der aktuelle Stellenwert des Themas Anpassung an den Klimawandel in der jeweiligen Verwaltung im Vergleich zu anderen Themen wird auf einer qualitativen Stufenskala (unwichtig – etwas wichtig – wichtig – sehr wichtig) erhoben.

Eine besondere Herausforderung der Anpassung an die Folgen des Klimawandels stellt die Unsicherheit dieser Folgen dar. Die Einschätzungen zum Klimawandel und seinen wahrscheinlichen Folgen sind immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Es gibt keine absolut zuverlässigen Vorhersagen über die Entwicklung des Klimas in der Zukunft. Daher enthalten die Fragebögen auch die Frage zum Umgang mit dieser Unsicherheit in den befragten Verwaltungen und wie diese Unsicherheit bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt wird.

2.7 Stakeholder-Workshop

Im öffentlichen und politischen Diskurs in Deutschland wurden bisher vor allem Emissionsminderungsmaßnahmen als notwendige Reaktion auf den Klimawandel diskutiert. Diese Maßnahmen sind notwendig, weil sie die Ursache des anthropogenen Klimawandels reduzieren. Die ebenso notwendige Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland erhält erst seit kurzer Zeit vermehrte Aufmerksamkeit. Das Bewusstsein der Öffentlichkeit und auch von Entscheidungsträgern in Wirtschaft, Politik und Verwaltung muss hierfür geschärft werden.

Die im vorigen Abschnitt dargestellten Befragungen in den klimasensitiven Bereichen Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Naturschutz/Biodiversität, Gesundheit und Verkehr fanden ausschließlich mit Vertretern aus den Fachressorts der Bundesländer statt. Um auch Einschätzungen aus der Wirtschaft und von anderen Stakeholdern in diesen Bereichen zu erhalten, wurde durch das Umweltbundesamt mit Unterstützung des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung ein Stakeholder-Workshop durchgeführt, zu dem neben Vertretern aus Wissenschaft, Politik und Verwaltung auch Vertreter aus Unternehmen und Interessensverbänden (auch Naturschutzverbänden) eingeladen wurden.

Ziele des Workshops

Die Ziele des Stakeholder-Workshops waren:

- Information und Diskussion zu Forschungsergebnissen über Klimafolgen und Anpassung in Deutschland, Sensibilisierung der Akteure für das Klimaproblem und die Anpassungserfordernisse,
- Entwicklung eines Dialogs zwischen Akteuren, um zu geeigneteren Abschätzungen der Vulnerabilität zu gelangen,
- Prüfen erster Anpassungsempfehlungen durch betroffene Akteure,
- Kommunikation von Unsicherheiten, Entscheiden unter Unsicherheiten, Umgang der Akteure mit Forschungsergebnissen,
- Aktive Öffentlichkeitsarbeit (Folgen durch Klimaschäden, Notwendigkeit von Klimaschutz und Anpassung) einschließlich begleitender Presseinformation und / oder -konferenz
- Kick-off für ein Akteurs-Netzwerk zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland durch Ausweitung des bestehenden „Verwaltungsnetzwerkes“; insbes. Klärung der Rolle des Akteurs- Netzwerkes einschließlich einer Bedarfsanalyse: Identifizierung des weiteren Informations- und Betreuungsbedarfs,
- Bekanntmachung von Zielen, Aufgaben und Produkten des *Kompetenzzentrums Klimafolgen* am Umweltbundesamt; Einbeziehung weiterer Kompetenzen.

Das Workshop-Programm, welches vor dem Hintergrund dieser Ziele zusammengestellt wurde, findet sich in Box 2-1.

Box 2-1 – Programm des Stakeholder-Workshops

9:00 Uhr	Begrüßung; Darstellung der Ziele des Workshops Dr. H. Lehmann (Umweltbundsamt), Prof. W. Cramer (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)
9:15 Uhr	Vorstellung der Erwartungen der Teilnehmer aus der Vorbefragung T. Grothmann (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)
9:30 Uhr	Vorstellung und Kurzstatements der Anwesenden
10:15 Uhr	Begriffsklärung zu Klimafolgen und Anpassung T. Grothmann (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)
10:30 Uhr	PAUSE
10:45 Uhr	Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen in Deutschland Prof. C.-D. Schönwiese (Institut für Atmosphäre und Umwelt, Universität Frankfurt)
11:15 Uhr	Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Naturschutz, Tourismus, Verkehr und Gesundheit in Deutschland Dr. M. Zebisch (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)
12:00 Uhr	Entscheiden, Kommunikation und Umgang mit Unsicherheiten Prof. G. Gigerenzer (Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin)
12:30 Uhr	MITTAGSPAUSE
13:30 Uhr	Anpassungsmaßnahmen in Deutschland – Nutzung von Chancen und Minderung von Risiken T. Grothmann (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)
14:15 Uhr	Diskussion zu Leitfragen
15:00 Uhr	PAUSE
15:15 Uhr	Fortsetzung der Diskussion
15:45 Uhr	Zukunftsperspektive: Aufgaben und Struktur des Kompetenzzentrums Klimafolgen am UBA P. Mahrenholz (Umweltbundsamt)
16:45 Uhr	Zusammenfassung der Workshop-Ergebnisse, Abschluss und Feedback T. Grothmann (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)
17:00 Uhr	Verabschiedung und Ausblick Dr. B. Hain (Umweltbundsamt)

Workshop-Teilnehmer

Zur Förderung der gewünschten Diskussion wurde die Teilnehmerzahl auf 35 beschränkt. Aus jedem der sieben untersuchten klimasensitiven Bereiche sollten jeweils zwei bis drei Akteure gewonnen werden. In den Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Verkehr und Tourismus sollten dies möglichst Wirtschaftsvertreter sein, im Bereich Gesundheit Experten aus entsprechenden Institutionen, im Bereich Biodiversität und Naturschutz Fachvertreter aus staatlichen Naturschutzbehörden und von Naturschutzverbänden. Aus dem bereits bestehenden Fachgesprächskreis „Klimafolgen“ des Umweltbundesamtes, dem Vertreter aus allen Bundesländern angehören, sollten einige Vertreter hinzugezogen werden, aus der Bundestagsverwaltung klimapolitische Referenten und dem Umweltbundesamt die Mitar-

beiter, die das dortige *Kompetenzzentrum Klimafolgen* vorbereiten. Als Referenten wurden Vertreter aus der Wissenschaft eingeladen.

Teilnehmervorbefragung

Vor dem Workshop wurde eine schriftliche Befragung der Workshop-Teilnehmer durchgeführt. Diese diente insbesondere zur Erhebung der Teilnehmererwartungen an den Workshop. Darüber hinaus wurde auch nach der Risiko- bzw. Chancenbewertung des Klimawandels und der aktuellen Wichtigkeit des Themas Anpassung an den Klimawandel in den Organisationen der Teilnehmer gefragt – Fragen, die auch in den Befragungen regionaler Experten (siehe 2.6) gestellt wurden.

2.8 Integrierte Vulnerabilitätsabschätzungen

Der Begriff Vulnerabilität bezeichnet die Schadensrisiken von Mensch-Umwelt-Systemen gegenüber dem Globalen Wandel (siehe Kap. 1.3.3). In dem vorliegenden Forschungsprojekt verstehen wir unter Globalem Wandel vor allem den Klimawandel¹¹, jedoch auch die Zunahme der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration und den Landnutzungswandel. Wir unterscheiden zwei Arten der Vulnerabilität:

- Vulnerabilität ohne weitere Maßnahmen (aktuelle Vulnerabilität, Ohne-Maßnahmen-Szenario) – Zukünftiges Schadensrisiko eines Mensch-Umwelt-Systems aufgrund des Globalen Wandels (insb. des Klimawandels) unter der Annahme, dass sich am gegenwärtigen Anpassungsgrad (z.B. im Hochwasserschutz) in der Zukunft nichts ändert.
- Vulnerabilität mit weiteren Maßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario) – Zukünftiges Schadensrisiko eines Mensch-Umwelt-Systems aufgrund des Globalen Wandels (insb. des Klimawandels) unter der Annahme, dass die vorhandene Anpassungskapazität maximal genutzt wird, um den zukünftigen Anpassungsgrad zu verbessern.

Durch den Vergleich der Vulnerabilität *ohne* weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario) und der Vulnerabilität *mit* weiteren Maßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario) entsteht ein Eindruck der Schadensrisiken aufgrund des Globalen Wandels mit und ohne weitere Anpassungsmaßnahmen.

Beide Formen der Vulnerabilität werden in der vorliegenden Studie auf einer dreistufigen qualitativen Skala (geringe – mäßige – hohe Vulnerabilität) eingeschätzt. 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.

Zur Einschätzung der Vulnerabilität wurden die Ergebnisse der innerhalb dieses Projektes berechneten Szenarien potenzieller Auswirkungen des Globalen Wandels in Deutschland (siehe 2.1 bis 2.4), Befunde anderer Studien und Projekte (siehe 2.5) und die Resultate der Befragungen regionaler Experten (siehe 2.6) integriert. Dies geschah im Dialog der beteiligten Wissenschaftler und unter Berücksichtigung der Risiko- bzw. Vulnerabilitätseinschätzungen der befragten regionalen Experten. Ursprünglich war geplant, auch die Einschätzungen der Vertreter aus Wirtschaft, Nichtregierungsorganisationen, Verwaltung und Politik, die am Stakeholder-Workshop teilnahmen (siehe 2.7 und Kap. 5), zum Abgleich der Vulnerabilitätsabschätzungen zu nutzen, doch zeigte sich in der Vorbefragung der Teilnehmer, dass ihre bisherige Beschäftigung mit dem Thema für eine Beurteilung der Vulnerabilität nicht ausreichte.

Vulnerabilitätseinschätzungen liegen vor allem für die untersuchten sieben klimasensitiven Bereiche (Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Biodiversität/Naturschutz, Gesundheit und Verkehr) vor (siehe Kap. 4 u. Kap. 6.1.2). Außerdem wird in Kap. 6.1.1 die Vulnerabilität verschiedener Regionen bzw. Naturräume in Deutschland abgeschätzt.

¹¹ Da es in diesem Bericht vor allem um die Auswirkungen des Klimawandels geht, wird oftmals nicht von der Vulnerabilität gegenüber dem Globalen Wandel, sondern von der Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel gesprochen.

Abschließend soll betont werden, dass es sich bei den qualitativen Vulnerabilitätseinschätzungen innerhalb dieser Studie um vorläufige und hoch aggregierte Aussagen handelt, die vor allem dem Zweck einer zusammengefassten Gefahreneinschätzung für die verschiedenen Bereiche bzw. Regionen in Deutschland dienen. Konkretere und handlungsrelevantere Informationen zu den potenziellen Gefahren aufgrund des Globalen Wandels bzw. Klimawandels finden sich in den Abschnitten „Auswirkungen des Klimawandels“ in Kapitel 4. Um zu verlässlicheren Vulnerabilitätseinschätzungen zu gelangen, sollten zukünftige Forschungsprojekte noch stärker als die vorliegende Studie versuchen, Stakeholder und betroffene Gruppen in den Prozess der Vulnerabilitätsbewertung einzubeziehen.

2.9 Literatur

- Arnell, N.W. (1999): A simple water balance model for the simulation of streamflow over a large geographic domain. *Journal of Hydrology*, 217, 314-335.
- Arnell, N.W. (2003): Effects of IPCC SRES emissions scenarios on river runoff: a global perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7, 619-641.
- Coleman, K., Jenkinson, D., Crocker, G., Grace, P., Klir, J., Körschens, M., Poulton, P., Richter, D. (1997): Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. *Geoderma*, 81, 29-44.
- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M., Leemans, R. (2004): (in press) Technology development and climate change as drivers of future agricultural land use. In: *Rural lands, agriculture and climate beyond 2015: Usage and management responses* (Hrsg. B. McCarl). Kluwer Academic Publishers.
- IMAGE team (2001): The IMAGE 2.2 implementation of the SRES scenarios: A comprehensive analysis of emissions, climate change and impacts in the 21st century. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, The Netherlands.
- Kankaanpää, S., Carter, T.R. (2004a): Construction of European forest land use scenarios for the 21st century. Finnish Environment Institute, Helsinki.
- Kankaanpää, S., Carter, T.R. (2004b): An overview of forest policies affecting land use in Europe. Finnish Environment Institute, Helsinki.
- Karjalainen, T., Pussinen, A., Liski, J., Nabuurs, G.-J., Eggers, T., Lapveteläinen, T., Kainpainen, T. (2003): Scenario analysis of the impacts of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget. *Forest Policy and Economics*, 5, 141-155.
- Mitchell, T.D., Carter, T.R., Jones, P.D., Hulme, M., New, M. (2004): A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper, 55, 25.
- Nakicenovic, N., Swart, R. (2000) IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES). Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Reginster, I.R., Rounsevell, M.D.A. (2005): Future scenarios of urban land use in Europe. *Environ. Plan. B.*, (submitted).
- Rounsevell, M.D.A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R., Carter, T.R. (2005a): Future scenarios of European agricultural land use II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 107, 117-135.
- Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araújo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaanpää, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P., Tuck, G. (2005b): A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture Ecosystems & Environment* (submitted).
- Sabaté, S., Gracia, C.A., Sánchez, A. (2002): Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology & Management*, 162, 23-37.
- Schröter, D., Acosta-Michlik, L., Arnell, A.W., Araújo, M.B., Badeck, F., Bakker, M., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T., Vega-Leinert, A.C.d.l., Erhard, M., Espíñeira, G.Z., Ewert, F., Fritsch, U., Friedlingstein, P., Glendining, M., Gracia, C.A., Hickler, T., House, J., Hulme, M., Kankaanpää, S., Klein, R.J.T., Krukenberg, B., Lavorel, S., Leemans, R., Lindner, M., Liski, J., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T., Mohren, F., Morales, P., Moreno, J.M., Reginster, I., Reidsma, P., Rounsevell, M., Pla, E., Pluimers, J., Prentice, I.C., Pussinen, A., Sánchez, A., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Werf, G.v.d., Vayreda, J., Wattenbach, M., Wilson, D.W., Woodward, F.I., Zaehle, S., Zierl, B., Zudin, S., Cramer, W. (2004). ATEAM (Advanced Terrestrial Ecosystem Analyses and Modelling) Final Report. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam.

Sitch, S., Smith, B., Prentice, I.C., Arneth, A., Bondeau, A., Cramer, W., Kaplan, J.O., Levis, S., Lucht, W., Sykes, M.T., Thonicke, K., Venevsky, S. (2003): Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ Dynamic Global Vegetation Model. *Global Change Biology*, 9, 161-185.

Tague, C., Band, L. (2004): RHESSys: Regional hydro-ecologic simulation system: An object-oriented approach to spatially distributed modelling of carbon, water and nutrient cycling. *Earth Interactions*, 8, 1-42.

Thonicke, K., Venevsky, S., Sitch, S., Cramer, W. (2001): The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a Dynamic Global Vegetation Model. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 661-677.

Thuiller, W. (2003): BIOMOD – optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9, 1353-1362.

Thuiller, W. (2004): Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology*, 10, 2020-2027.

Venevsky, S., Thonicke, K., Sitch, S., Cramer, W. (2002): Simulating fire regimes in human-dominated ecosystems: Iberian Peninsula case study. *Global Change Biology*, 8, 984-998.

3 Globaler Wandel in Deutschland: Klimawandel, Landnutzungswandel und Kohlenstoffbilanz

3.1 Klimawandel

3.1.1 Historische Trends

Temperatur

Langjährige Reihen der Wetteraufzeichnung zeigen, dass Deutschland bereits vom Klimawandel betroffen ist. Wie im weltweiten Durchschnitt waren auch in Deutschland die 1990er Jahre das wärmste Jahrzehnt im 20. Jahrhundert. Die Jahresmitteltemperatur hat von 1900-2000 um ca. 0,8 – 1,0°C zugenommen (Rapp, 2000; DWD, 2004). Allerdings verlief die Erwärmung nicht linear (Abb. 3-1). 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 (1990er Jahre) war der Anstieg in Süd- und Südwestdeutschland überdurchschnittlich.

Jährliche mittlere Tagesmitteltemperatur in Deutschland 1901 - 2003

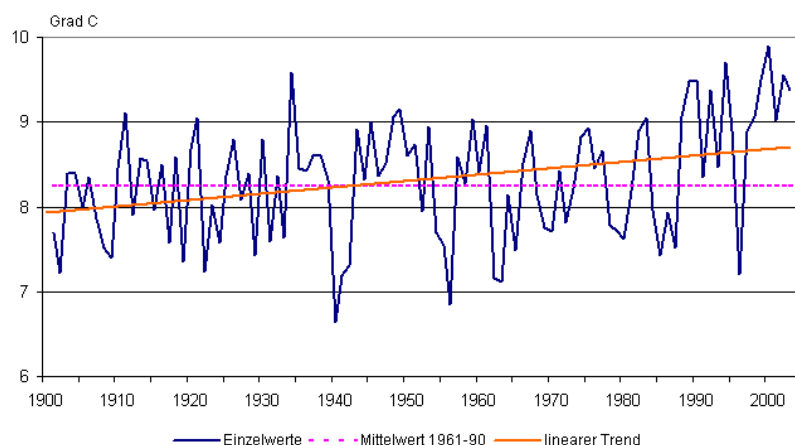


Abb. 3-1: Jahresmitteltemperatur in Deutschland 1901-2003 (DWD, 2004).

Tab. 3-1: Übersicht über Klimatrends in Deutschland (Jonas et al., 2005).

Klimaelement	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Temperatur, 1901 - 2000	+ 0.8 °C	+ 1.0 °C	+ 1.1 °C	+ 0.8 °C	+ 1.0 °C
Temperatur, 1981 - 2000	+ 1.3 °C	+ 0.7 °C	- 0.1 °C	+ 2.3 °C	+ 1.1 °C
Niederschlag, 1901 - 2000	+ 13 %	- 3 %	+ 9 %	+ 19 %	+ 9 %
Niederschlag, 1971 - 2000	+ 13 %	+ 4 %	+ 14 %	+ 34 %	+ 16 %

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 (Tab. 3-1). Dies wird vielfach auf die erhöhte Häufigkeit von winterlichen zonalen Wetterlagen zurückgeführt, die milde ozeanische Luft nach Deutschland bringen (Günther, 2004).

Niederschlag

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 (Abb. 3-2). In den letzten 100 Jahren findet sich zwar ein leichter Trend zu mehr Niederschlag im Winter, aber auch dieser ist nicht signifikant (Müller-Westermeier, 2001). In den letzten 30 Jahren ist allerdings eine deutliche Zunahme der Winterniederschläge zu verzeichnen. Die Sommerniederschläge änderten sich hingegen nur wenig (Tab. 3-1). Auch dieser Trend ist vermutlich auf eine Zunahme der zonalen Zirkulationsmuster im Winter zurückzuführen, die viel Niederschlag mit sich bringen.

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) betrug 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 (Günther, 2004).

Jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland 1901-2003

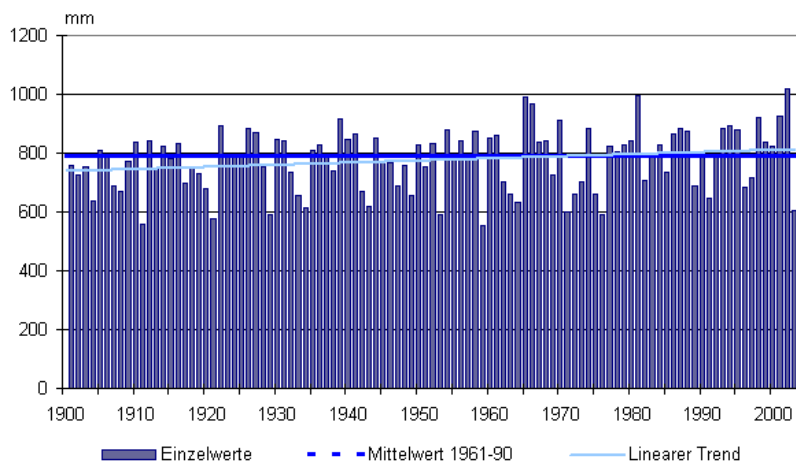


Abb. 3-2: Jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland (DWD, 2004).

Klimaextreme

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. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Hitzesommers wie im Jahr 2003 stieg im Verlauf des 20. Jahrhunderts um mehr als das 20-fache. Dennoch war 2003 auch für heutige Verhältnisse ein außergewöhnliches Jahr. Das

2003 auch für heutige Verhältnisse ein außergewöhnliches Jahr. Das Jahr 2003 war das heißeste Jahr in Deutschland seit Beginn der Wetteraufzeichnung und zeigte mit Sommertemperaturen von 3,4°C über dem 30-jährigen Mittel auch die stärkste Sommeranomalie (Schönwiese et al., 2003). Zudem war das Jahr 2003 auch besonders trocken. Außergewöhnlich war die langanhaltende Trockenphase von Februar bis August.

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 (Grieser & Beck, 2002).

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 (Bft > 8) im Winter überwiegend zugenommen (Ausnahme Küstenbereich) und im Sommer überwiegend abgenommen (Ausnahme Süddeutschland) (Jonas et al., 2005).

3.1.2 Szenarien zum zukünftigen Klimawandel

Datenquellen und Methoden

Klimawandel ist ein globales Phänomen mit globalen Triebkräften als Auslöser. Grundlage jeder Klimamodellierung sind daher globale Klimamodelle. Diese sind meist gekoppelte Ozean-Atmosphärenmodelle, die Prozesse im Klimasystem in Form mathematischer Gleichungen für Gitterzellen mit einer Auflösung von mehreren 100km berechnen. Solche Modelle werden als *General Circulation Models* (GCM) bezeichnet.

Diese Modelle liefern Szenarien für Anwendungen im globalen Maßstab. Für Anwendungen auf nationaler Ebene sind diese Modelle allerdings zu grob. Um Informationen in einer höheren Auflösung zu erhalten, können verschiedenen Methoden zum Herunterskalieren (*downscaling*) angewandt werden. Zum einen existieren regionale Klimamodelle, wie das Hamburger Modell REMO (Jacob & Podzun, 1997), die für das Untersuchungsgebiet atmosphärische Prozesse in höherer Auflösung (10-50km) darstellen und nur die Bedingungen an den Rändern des Untersuchungsfensters von den GCMs übernehmen. Zum anderen existieren verschiedene statistische Verfahren, die aufgrund von hochauflösenden Informationen über Klima, Witterung und Wetter in der Vergangenheit die groben Informationen der GCMs verfeinern. Beide Methoden haben Vor- und Nachteile. Regionale Klimamodelle können auch komplexe Wetterphänomene (Extreme, Wind) darstellen, sind allerdings schwer zu kalibrieren, produzieren aufgrund ihrer Komplexität und Sensitivität z.T. wenig realistische Ergebnisse und sind sehr rechenaufwändig. Statistische Verfahren sind im Vergleich relativ robust und wenig rechenaufwändig, übernehmen allerdings z.T. Fehler und Unsicherheiten aus den GCMs und behalten meist nur Mittelwerte von Klimaparametern. Extremereignisse können mit den meisten statistischen Methoden nicht abgebildet werden.

Für Deutschland und Teilregionen liegen verschiedene Modellrechnungen über zukünftige Klimaveränderungen vor. Dazu zählen unter anderem Ergebnisse des Modells REMO und der statistischen Verfahren nach Werner und Gerstengarbe (Werner & Gerstengarbe, 1997) und Enke (Enke, 2003).

In diesem Bericht soll im Wesentlichen auf die Ergebnisse des Projektes ATEAM (siehe Kap. 2) zurückgegriffen werden. Hier wurden mit einer statistischen Methode (*pattern scaling*; Mitchell et al., 2004) die Ergebnisse von vier GCMs des IPCC-Berichtes (HadCM3, PCM, CSIRO2, CGCM2) unter Berücksichtigung von vier verschiedenen Szenarien über zukünftige Treibhausgasemissionen (SRES-Szenarien, siehe Kap. 2.1) auf ein Raster mit einer Kantenlänge von ca. 16x16km herunterskaliert. Die ATEAM-Klimaszenarien decken ganz Europa ab. ATEAM-Ergebnisse liegen als langjährige Mittel für verschiedene klimatische Größen für die Zeitscheiben 2020 (1991-2020), 2050 (2021-2050) und 2080 (2051-2080) vor.

Temperatur

In allen sieben ATEAM-Szenarien ist eine deutliche Erwärmung Deutschlands zu erkennen (Abb. 3-3). Die Spanne der Erwärmung der langjährigen Jahresmitteltemperaturen aller berücksichtigten Klimaszenarien bis zum Jahr 2080 reicht von +1,6°C bis +3,8°C.

Räumlich zeigen viele Szenarien eine besonders starke Erwärmung im Südwesten, z.T. auch im äußersten Osten Deutschlands (Abb. 3-8 im Anhang). 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.

Betrachtet man nur die mit dem Klimamodell HadCM3 berechneten Temperaturverläufe für unterschiedliche SRES-Emissionsszenarien (A1, A2, B1, B2, rote Linien in Abb. 3-3) fällt die starke Abhängigkeit der Ergebnisse vom Emissionsszenario auf. Während in den beiden „umweltorientierten“ Szenarien B1 und B2 die Erwärmung bis 2080 „nur“ 2,1°C beträgt, steigt die Temperatur in dem „ökonomisch orientierten“ Szenario A1 unter der Annahme des weiteren Gebrauchs fossiler Brennstoffe um bis zu 3,8°C bis 2080.

Vergleicht man die Ergebnisse aller vier berücksichtigten Klimamodelle (HadCM3, CGCM2, CSIRO2, PCM, siehe Kap. 2.2) für das Emissionsszenario A2 miteinander, ergibt sich eine Spanne für die Erwärmung bis 2080 von 1,6°C bis 2,9°C. Eine Ursache für diese relativ große Spanne ist die geringe Erwärmung in den Szenarien, die mit dem Modell PCM errechnet wurden (grüne Linie). Dieses Modell zeichnet sich durch eine besonders geringe Klimasensitivität (Erwärmung bei Verdoppelung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre) aus (Meehl et al., 2005) und fällt deshalb hier etwas aus der Reihe.

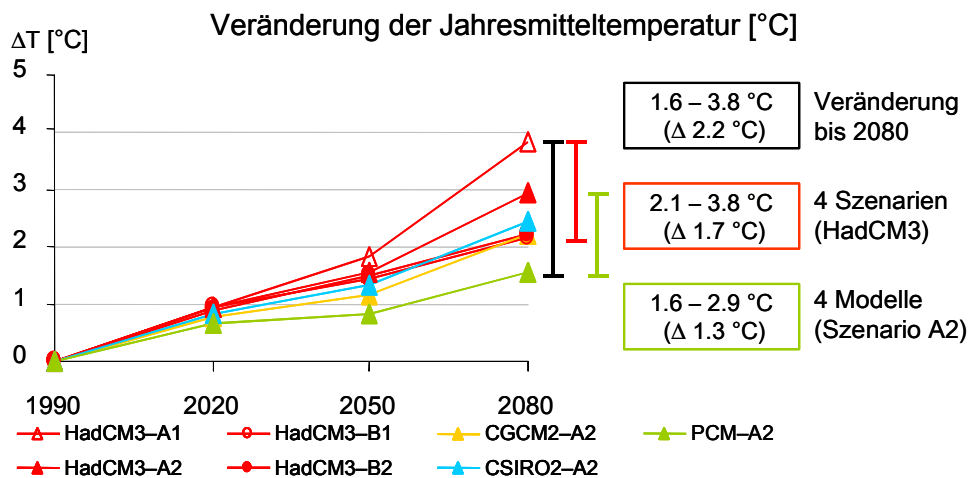


Abb. 3-3: Klimaszenarien zur Veränderung der langjährigen Jahresmitteltemperatur gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

In diesem Vergleich werden zwei verschiedene Ursachen von Unsicherheit in Klimaszenarien deutlich. Zum einen resultiert die Unsicherheit der Projektion des zukünftigen Klimawandels aus der möglichen Spanne zukünftiger Treibhausgasemissionen. Damit verbunden ist aber auch ein Handlungspotenzial, denn es zeigt sich, dass eine Reduktion der Treibhausgasemissionen die zu erwartende Erwärmung deutlich reduzieren kann. Zum anderen divergieren die Ergebnisse unterschiedlicher Klimamodelle für ein bestimmtes Emissionsszenario. Diese Unsicherheit liegt in der Schwierigkeit begründet, das globale Klimasystem mit seinem hohen Anteil an nichtlinearen Prozessen und Rückkopplungen für einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten darzustellen. Auch wenn in den letzten Jahren auf diesem Gebiet große Fortschritte erzielt wurden, wird diese Unsicherheit in Zukunft nicht völlig auszuschließen sein.

Für das Klimaelement Temperatur kann davon ausgegangen werden, dass zumindest für größere Räume die Modellunsicherheit geringer ist als die Unsicherheit im Zusammenhang mit der Realisierung zukünftiger Treibhausgasemissionen.

Niederschlag

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 (Abb. 3-4), nehmen die Sommerniederschläge in den meisten Szenarien ab (Abb. 3-5). Dies ist konsistent mit dem bereits zu beobachtenden Trend einer Verschiebung der Niederschläge in den Winter. Diese Verschiebung fällt in den Szenarien mit hoher Treibhausgaskonzentration (A1, A2) stärker aus als in den „umweltorientierten“ Szenarien (B1, B2).

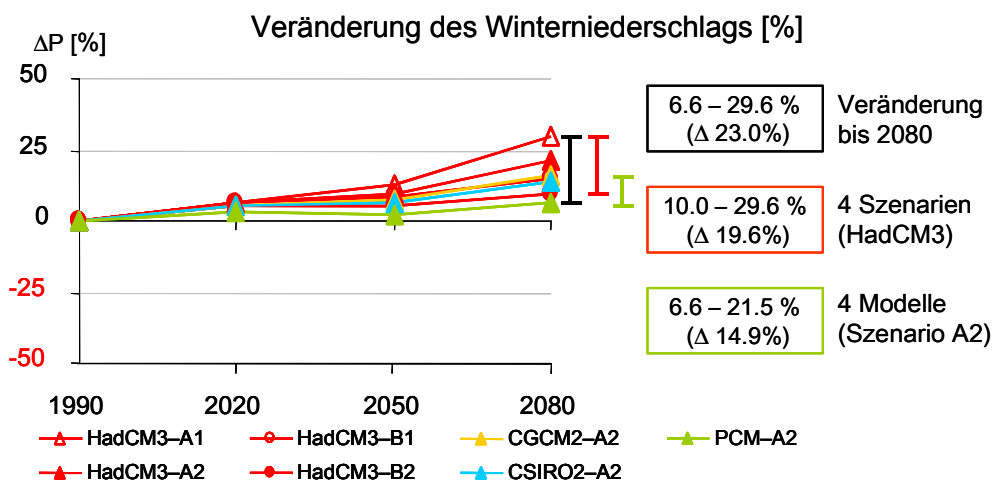


Abb. 3-4: Klimaszenarien zur Veränderung des Winterniederschlags gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

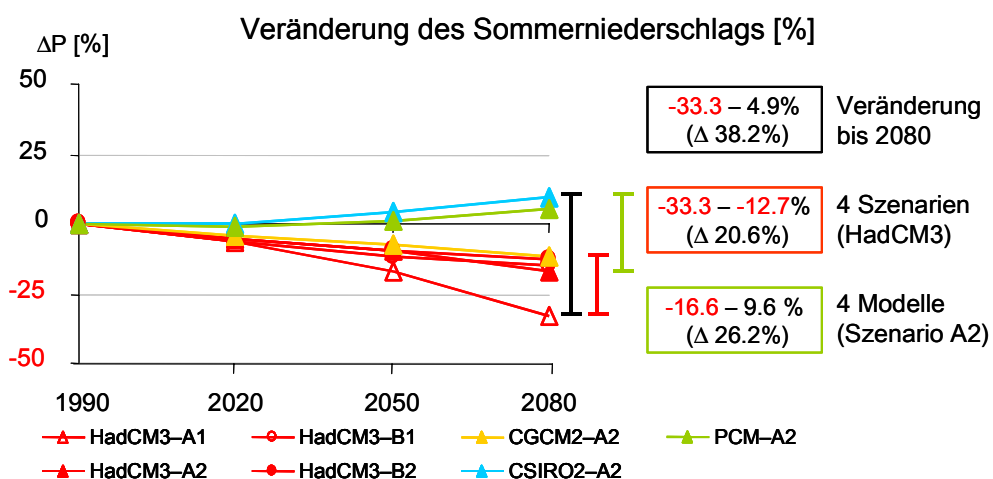


Abb. 3-5: Klimaszenarien zur Veränderung des Sommerniederschlags gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

Regional ergibt sich für die Winterniederschläge eine besonders deutliche Zunahme in Süddeutschland, zumindest in den auf HadCM3 aufbauenden Szenarien (Abb. 3-9 im Anhang). Der Rückgang der Sommerniederschläge konzentriert sich in diesen Szenarien auf Südwestdeutschland (Rheinland) und die zentralen Teile Ostdeutschlands (Abb. 3-10 im Anhang). Die Ergebnisse der anderen Modelle liefern allerdings räumlich z.T. widersprüchliche Trends.

Vergleicht man die Aussagen der unterschiedlichen Klimamodelle, zeigt sich, dass für den Niederschlag die Modellunsicherheit erheblich größer ist als für die Temperatur. Insbesondere in Aussagen über die räumliche Verteilung der Niederschlagstrends herrscht noch große Unsicherheit.

Ergebnisse anderer Klimamodelle

Im Folgenden sollen nur exemplarisch Ergebnisse anderer Projekte zusammengefasst werden.

Für das Elbe-Einzugsgebiet liegen Szenarien von Werner und Gerstengarbe vor (in Wechsung et al., 2004). Hier ergibt sich bei einer moderaten Erwärmung von 1,4°C bis 2055 eine z.T. deutlich Abnahme der Niederschläge, vor allem im Sommer, von bis zu 200mm. Ausgenommen von diesem Trend sind nur die Kammlagen der Mittelgebirge.

Für Bayern und Baden-Württemberg existieren verschiedenen Klimaszenarien für den Zeitraum 2021-2050 aus dem Projekt KLIWA (Weber, 2004). Hier wurden Ergebnisse des Regionalmodells REMO und der beiden statistischen Verfahren nach Enke und Werner & Gerstengarbe miteinander verglichen. Für das Sommerhalbjahr wurde, je nach Modell, eine Erwärmung von 1,2 – 1,7°C, für das Winterhalbjahr von 1,0 – 2,0 °C gefunden. Die Niederschlagsänderungen bis 2050 werden mit +5% bis +13% im Sommerhalbjahr und mit 0 bis +34% im Winterhalbjahr angegeben. Auch hier finden sich die allgemeinen Trends zu einer Erwärmung und eine Erhöhung der Winterniederschläge wieder. Allerdings zeigen sich auch die Unsicherheiten, insbesondere bei Aussagen zu regionalen Niederschlagstrends.

Für Thüringen existieren Szenarien von Enke (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, 2004) für den Zeitraum 2021-2050. Hier wird eine Erwärmung von 1,5°C ermittelt. Bei den Niederschlägen wird eine Erhöhung der Winterniederschläge um 23%, bei den Sommerniederschlägen eine Abnahme von 8% errechnet.

Ähnliche Szenarien liegen auch für andere Bundesländer vor, z.B. für Sachsen (Enke, 2003), Brandenburg und Nordrhein-Westfalen (beide mit der Methode nach Werner & Gerstengarbe), oder werden gerade entwickelt. Zur Zeit werden im Auftrag des Umweltbundesamtes Klimaszenarien des Regionalmodells REMO mit hoher Auflösung für ganz Deutschland vorbereitet. Diese sollen in Zukunft eine konsistente Datengrundlage für Fragestellungen des Klimawandels und seiner Auswirkungen bieten.

3.2 Landnutzungswandel

Neben Klimaänderungen haben aktuelle und zu erwartende Landnutzungsänderungen einen erheblichen Einfluss auf Ökosysteme und ihre Funktionen. Im ATEAM-Projekt wurden deshalb neben Klimaszenarien auch Landnutzungsszenarien entwickelt und Rückkopplungen zu den Klimaszenarien berücksichtigt.

Die bedeutendste Landnutzungsänderung, die Deutschland in Zukunft zu erwarten hat, ist die Aufgabe von landwirtschaftlichen Flächen. In Folge des Abbaus von Subventionen, der EU-Osterweiterung, Marktliberalisierungen und sinkenden Weltmarktpreisen ist mit einem Rückzug der Landwirtschaft aus der Fläche, insbesondere auf den schlechteren Böden, zu rechnen. Wie stark dieser Rückgang ist, wird vor allem von der Entwicklung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen abhängen.

Auch in den ATEAM-Szenarien hängt der Rückgang nahezu vollständig von den sozioökonomischen Rahmenbedingungen ab. Für die umweltorientierten B-Szenarien (B1, B2) wird mit einem Rückgang des Ackerlandes von ca. 12%, für die ökonomieorientierten Szenarien mit einem Rückgang von bis zu 25% gerechnet (Abb. 3-6). Anders schaut die Entwicklung im Forstbereich aus. Insbesondere in den umweltorientierten Szenarien wird von einem höheren

Holzbedarf aufgrund verstärkter Nachfrage nach nachwachsenden Rohstoffen ausgegangen. Das führt zu Aufforstungen und einer Erhöhung des Waldanteils an der Flächennutzung um ca. 10% (Abb. 3-6). In den ökonomisch orientierten und auf Verbrauch fossiler Brennstoffe aufbauenden A-Szenarien geht die Waldfläche allerdings leicht zurück (um ca. 5%).

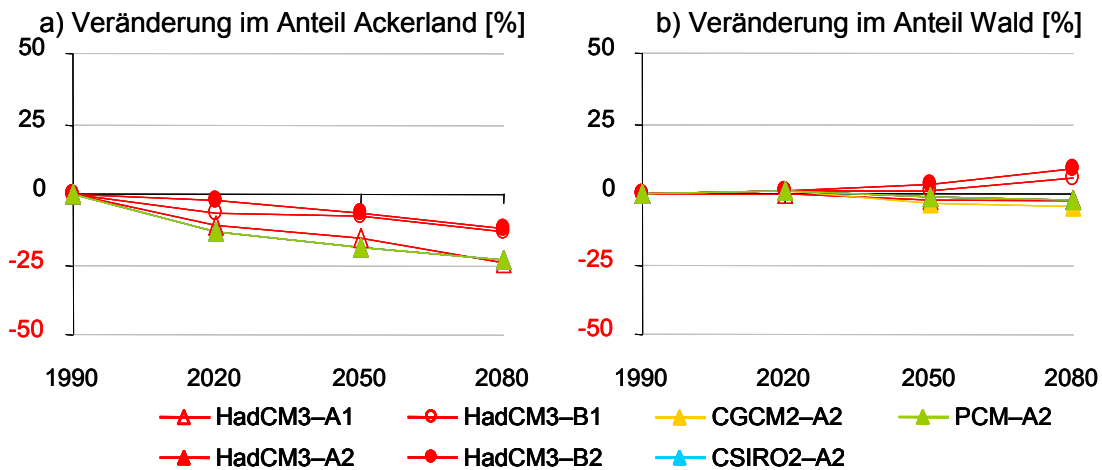


Abb. 3-6: Landnutzungsszenarien zur Veränderungen im Anteil Ackerland (a) und Wald (b) an der Flächennutzung in Deutschland gegenüber 1990 für alle sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

Die frei werdenden landwirtschaftlichen Flächen stellen einerseits wirtschaftlich eine Beeinträchtigung insbesondere der ländlichen Räume dar. Andererseits bieten sie auch neue Chancen als Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe (und damit auch einer neuen Einnahmequelle für die Landwirtschaft) und als Flächen, die dem Naturschutz zur Verfügung gestellt werden können. Auch eine Extensivierung der Flächen ist denkbar, mit einer Erhöhung des Anteils ökologischer Landwirtschaft.

3.3 Nettokohlenstoffbilanz von Ökosystemen

Ökosysteme nehmen Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid auf. Große Teile davon werden u.a. bei der Veratmung und bei der Zersetzung organischer Substanz im Boden wieder freigesetzt. Die Bilanz aus aufgenommenem und abgegebenem Kohlenstoff wird als Nettokohlenstoffbilanz bezeichnet. Ökosysteme mit positiver Nettokohlenstoffbilanz stellen Kohlenstoffquellen dar, Ökosysteme mit negativer Kohlenstoffbilanz werden als Kohlenstoffsenken bezeichnet. Kohlenstoffsenken können durch die Aufnahme von Kohlenstoff zur Reduktion der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration und damit zum Klimaschutz beitragen.

Aus dem Projekt ATEAM liegen auch für die Kohlenstoffbilanz Szenarien bis 2080 vor (Abb. 3-7). Im Basisjahr 1990 ist nach diesen Ergebnissen die Nettokohlenstoffbilanz der Ökosysteme in Deutschland ausgeglichen (weder Quelle noch Senke). Die Modellergebnisse zeigen bis 2020 in allen Szenarien zunächst eine Verstärkung des Senkencharakters. Ursache hierfür ist die verstärkte Aufnahme von Kohlenstoff als Folge eines verstärkten Pflanzenwachstums, ausgelöst durch eine erhöhte CO_2 -Konzentration und eine moderate Erhöhung der Temperatur.

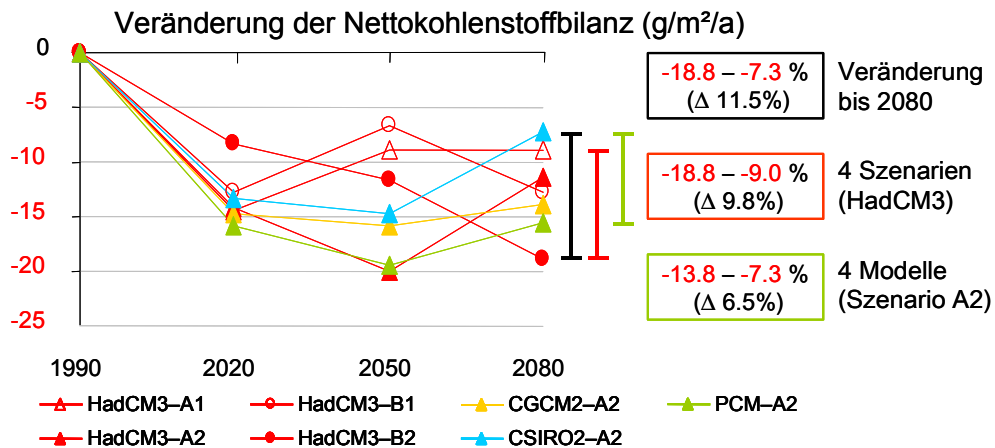


Abb. 3-7: Szenarien zur Veränderung der Nettokohlenstoffbilanz gegenüber 1990 für alle sieben ATEAM-Szenarien bis 2080. Negative Werte bedeuten einen geringen Kohlenstoffaustrag und damit eine Verstärkung des Senkencharakters.

Vor allem in den Szenarien mit starker Erhöhung der Treibhausgaskonzentration und entsprechend deutlicher Erwärmung (A1- und A2-Szenarien) hält dieser Trend bis 2050 an. Danach verringert sich der Senkencharakter wieder. Zum einen können ab 2050 aufgrund des erreichten Sättigungsniveaus keine weiteren Steigerungen des Pflanzenwachstums durch weitere Erhöhung der CO₂-Konzentration erzielt werden, zum anderen wird durch die gesteigerte Zersetzung von Bodenkohlenstoff bei erhöhten Temperaturen mehr Kohlenstoff aus dem Boden freigesetzt, so dass sich langfristig Kohlenstoffsenken auch wieder in Kohlenstoffquellen verwandeln können.

In den umweltorientierten Szenarien (B1 und B2) hält der Trend zur Verstärkung des Senkencharakters allerdings bis 2080 an. Ursache hierfür ist neben der geringeren Erwärmung auch, dass für diese Szenarien mit einer Ausweitung von Wäldern, die potenzielle Kohlenstoffsenken darstellen, gerechnet wird.

3.4 Literatur

DWD – Deutscher Wetterdienst (2004): Mitteilung vom 27.07.2004. Umweltdaten Deutschland Online, <http://www.env-it.de/umweltdaten>, Umweltbundesamt, Berlin.

Enke, W. (2003): Anwendung eines Verfahrens zur wetterlagenkonsistenten Projektion von Zeitreihen und deren Extreme mit Hilfe globaler Klimasimulation, Abschlussbericht. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.

Grieser, J. & Beck, C. (2002): Extremniederschläge in Deutschland – Zufall oder Zeichen. In: Klimastatusbericht 2002 (Hrsg. DWD – Deutscher Wetterdienst). DWD, Offenbach.

Günther, T. (2004): Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen. In: Klimaveränderung und Konsequenz für die Wasserwirtschaft – 2. KLIWA-Symposium (Hrsg. Arbeitskreis KLIWA). Bayerisches Amt für Wasserwirtschaft, München.

Jacob, D. & Podzun, R. (1997): Sensitivity studies with the regional climate model REMO. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 63, 119-129.

Jonas, M., Staeger, T., Schönwiese, C.-D. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland; UBA-Forschungsvorhaben 201 41 254. Institut für Atmosphäre und Umwelt, Universität Frankfurt/Main.

Meehl, G.A., Washington, W.M., Collins, W.D., Arblaster, J.M., Hu, A., Buja, L.E., Strand, W.G., Teng, H. (2005): How much more global warming and sea level rise? *Science*, 307, 1769-1772.

Mitchell, T.D., Carter, T.R., Jones, P.D., Hulme, M., New, M. (2004): A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre for Climate Change Research – Working Paper; http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp55.pdf, 55.

Müller-Westermeier, G. (2001): Klimatrends in Deutschland. In: Klimastatusbericht 2001 (Hrsg. DWD – Deutscher Wetterdienst). DWD, Offenbach.

Rapp, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland, DWD-Bericht Nr. 212. Selbstverlag, Offenbach.

Schönwiese, C.-D., Staeger, T., Trömel, S., Jonas, M. (2003): Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland. In: Klimastatusbericht 2003 (Hrsg. DWD – Deutscher Wetterdienst). DWD, Offenbach.

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2004): Klimawandel in Thüringen – eine Herausforderung unserer Zeit. Freistaat Thüringen, Jena.

Weber, H. (2004): Das Kooperationsvorhaben KLIWA – Zielsetzung, Konzeption, Sachstand. In: Klimaveränderung und Konsequenz für die Wasserwirtschaft – 2. KLIWA-Symposium (Hrsg. Arbeitskreis KLIWA). Bayerisches Amt für Wasserwirtschaft, München.

Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (2004): Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

Werner, P.C., Gerstengarbe, F.-W. (1997): Proposal for the development of climate scenarios. *Climate Research*, 8, 171-180.

3.5 Anhang

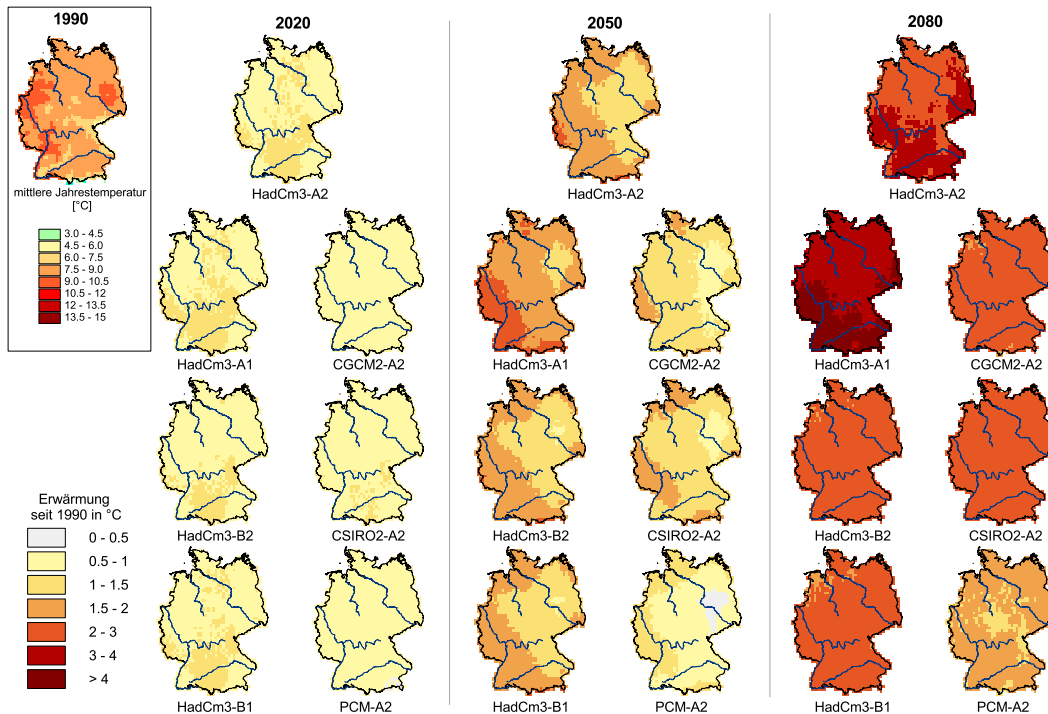


Abb. 3-8: Veränderung der mittleren Jahrestemperatur in Deutschland.

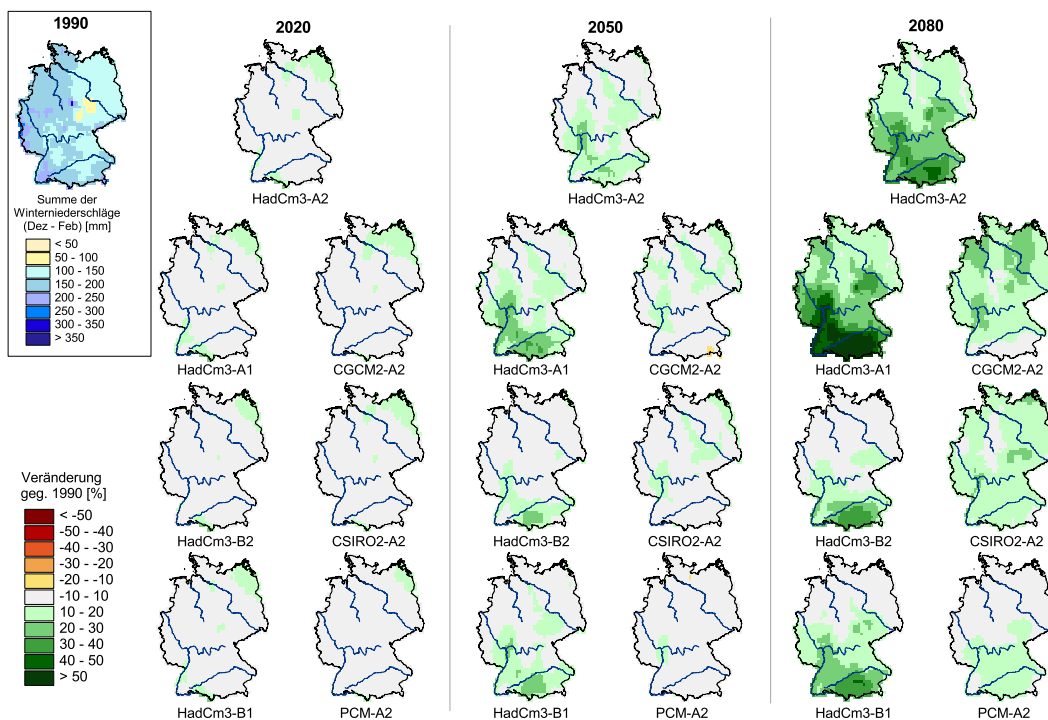


Abb. 3-9: Veränderung der Winterniederschläge in Deutschland.

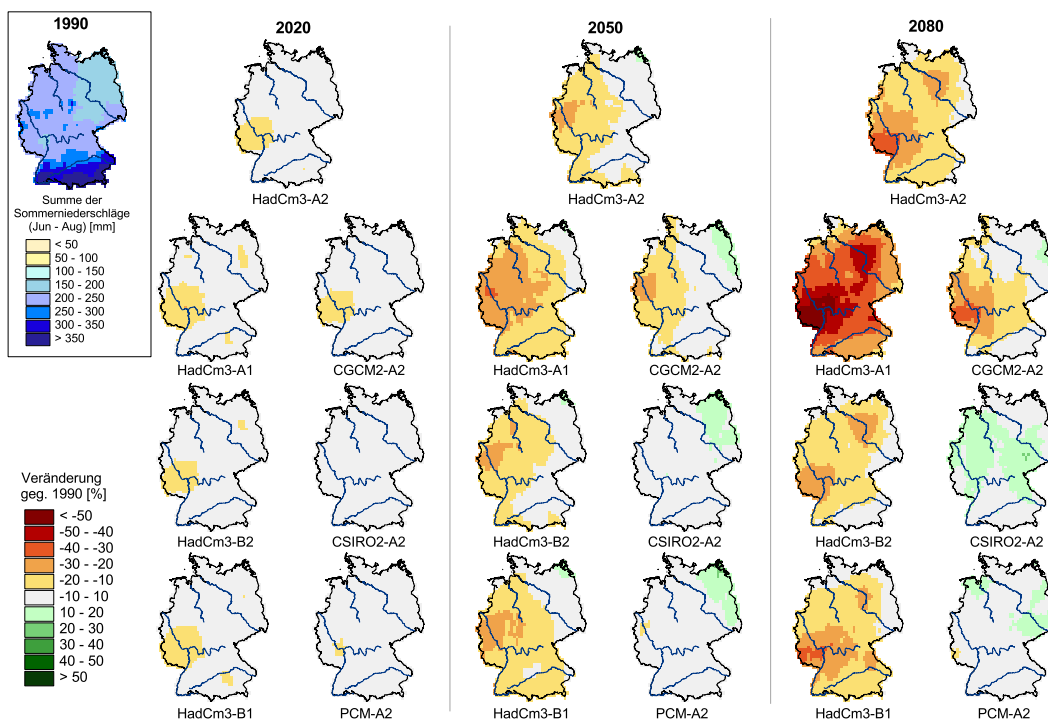


Abb. 3-10: Veränderung der Sommerniederschläge in Deutschland.

4 Auswirkungen des Globalen Wandels und Anpassungsstrategien in ausgewählten klimasensitiven Systemen

4.1 Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

4.1.1 Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Wasser

Von den möglichen negativen Auswirkungen des Klimawandels sind im Wasserbereich vor allem die erhöhte Hochwassergefahr und die Verringerung des Wasserdargebots im Sommer von Bedeutung.

Diese Auswirkungen sind das Ergebnis einer bereits zu beobachtenden und in Zukunft verstärkt zu erwartenden Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter sowie einer erhöhten Verdunstung als Folge steigender Temperaturen. Hinzu kommt eine besonders im Winter erhöhte Wahrscheinlichkeit von Starkregenereignissen und Veränderungen in der Schneedeckendauer.

Die Hochwassergefahr steigt in ganz Deutschland vermutlich vor allem in den Winter- und Frühjahrsmonaten. Besonders gefährdet sind der Alpenraum und Gebiete ohne ausreichende Retentionsflächen und/oder mit hoher Bebauungsdichte. Inwieweit auch die Gefahr von Sommerhochwässern steigt, ist noch ungeklärt.

Von einem verringerten Wasserdargebot in den Sommermonaten sind vor allem die zentralen und östlichen Gebiete Ostdeutschlands betroffen. Hier steigt die Gefahr von Dürren, die Einschränkungen in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft, Energieversorgung und Schifffahrt und evtl. auch in der Trinkwasserversorgung mit sich bringen.

Eine weitere mögliche negative Folge des Klimawandels ist die Reduzierung der Grundwasserneubildungsrate. Bisher sind trotz vielerorts zunehmender Eutrophierung keine Einschränkungen der Trinkwasserversorgung durch den Klimawandel in Deutschland zu erwarten.

Bisher ist die Wasserwirtschaft in Deutschland wenig an die Folgen des Klimawandels angepasst. Im Bereich Hochwasserschutz existieren zwar Schutzmaßnahmen, allerdings werden die Auswirkungen des Klimawandels in den meisten Bundesländern noch kaum in der Planung berücksichtigt. Deshalb ist in diesem Bereich zur Zeit in ganz Deutschland von einer „hohen“ Vulnerabilität auszugehen (Ohne-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8). Auf sommerlichen Wassermangel ist die Wasserwirtschaft bisher überhaupt nicht vorbereitet. Werden keine Maßnahmen getroffen, ist in den betroffenen Regionen (Ostdeutschland) ebenfalls von einer „hohen“ Vulnerabilität auszugehen. In den übrigen Regionen besteht aktuell nur eine „mäßige“ Vulnerabilität in Bezug auf Wassermangel.

Allgemein sollte die Wasserwirtschaft jedoch die Fähigkeit haben, sich in Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandel anzupassen, denn ihr steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung, auch wenn diese zumeist als aufwändig bewertet werden. Zur Erhöhung einer Anpassung an möglichst viele, mit Unsicherheit behaftete Auswirkungen des Klimawandels werden vor allem dem Wassersparen und dem naturnahen Ausbau von Fließgewässern besonders breite Wirkspektren zugeschrieben. Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel lassen sich in der Wasserwirtschaft jedoch voraussichtlich nicht ohne besondere Unterstützung (insb. in finanzieller Hinsicht) realisieren. Werden die notwendigen Anpassungsmaßnahmen realisiert, ist eine Reduktion auf eine „geringe“ Vulnerabilität der Wasserwirtschaft gegenüber dem Klimawandel zu erwarten (Mit-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8).

4.1.2 Wasser und Klima

Wasser stellt die Grundlage für fast alle Lebensprozesse dar und ist ein wichtiges Element in allen Ökosystemen. Die Bereitstellung von Wasser in ausreichender Menge und Qualität ist direkte Grundlage für verschiedene versorgende Ökosystemfunktionen (siehe Kap. 1.3). Der Mensch benötigt Wasser als essenzielles Nahrungsmittel sowie für sanitäre Zwecke. Wasser dient der Industrie zur Produktion von Gütern und Dienstleistungen. Andere Ökosystemfunktionen sind indirekt vom Wasser abhängig. So leben in Flüssen, Seen und im Meer Pflanzen und Tiere, die eine lohnende Nahrungsquelle für den Menschen darstellen (Lozan et al., 2005). Auch alle anderen in diesem Bericht angesprochene Bereiche (Land- und Forstwirtschaft, Biodiversität, Gesundheit, Tourismus, Verkehr) hängen direkt oder indirekt von der Verfügbarkeit von Wasser in ausreichender Menge und Qualität ab.

Neben der langfristigen Verfügbarkeit von Wasser in ausreichender Menge und Qualität hat die Gesellschaft auch ein Bedürfnis nach einer möglichst geringen Gefahr durch hydrologische Extremereignisse (regulierende Ökosystemfunktion). Zu wenig Wasser führt zu Dürren, die sich negativ auf Natur (aquatische Ökosysteme und Feuchtgebiete) und Gesellschaft (Land- und Forstwirtschaft, Schifffahrt, Industrie, Energiegewinnung, Trinkwasserversorgung) auswirken können. Zuviel Wasser führt zu Hochwasserereignissen, die hohe Sach- und Personenschäden verursachen können.

Der Wasserkreislauf ist Teil des Klimasystems und von daher eng mit klimatischen Größen verbunden. Wasser gelangt hauptsächlich in Form von Niederschlag in die terrestrischen Ökosysteme. Ein großer Teil des Wassers verdunstet direkt (Evaporation) oder wird über die Pflanzenverdunstung (Transpiration) wieder an die Atmosphäre zurück geleitet. Die Summe dieser Größen, die sog. Evapotranspiration, ist ebenfalls von klimatischen Größen wie Temperatur, Strahlung, Dampfdruck und Wind abhängig. Daneben spielen die Art und der Zustand der Bodenbedeckung eine wichtige Rolle.

Der Anteil des Niederschlags, der nicht wieder verdunstet, fließt oberirdisch oder unterirdisch ab und speist so Oberflächengewässer und Grundwasservorkommen. Die Höhe dieses Abflusses ist ein wichtiger Hinweis auf den Wasserüberschuss und die Menge an Wasser, die für Umwelt und Gesellschaft zu Verfügung steht. Kurzfristig werden zudem „Speicher“ (z.B. der Boden) gefüllt bzw. geleert.

Außer dem Abfluss spielen für die Wasserverfügbarkeit auch die Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen, die geologischen Bedingungen für die Grundwasserneubildung und die Verfügbarkeit von Oberflächengewässern eine Rolle. Ob und in welchem Maße der Natur und der Gesellschaft genügend Wasser zur Verfügung steht, hängt zudem stark vom regionalen Wasserbedarf ab. Ist dieser hoch, kann die Wasserverfügbarkeit eingeschränkt sein.

4.1.3 Ausgangssituation: Wasserwirtschaft in Deutschland

Wasser in Deutschland

Deutschland ist ein wasserreiches Land, dessen Fläche zu 2,2% mit Wasser bedeckt ist. Die Wasserfläche setzt sich zusammen aus elf großen Flüssen (Elbe, Donau, Rhein, Weser, Ems, Warnow/Peene, Elde, Schiel/Trave, Oder, Rhone, Maas; Einteilung nach EG-WRRL) sowie ihren Vorflutern. Der Rest entfällt auf natürliche Seen (ca. 0,85% der Landesfläche) und ca. 291 Talsperren. Ca. 11,7% der Landesfläche sind als Trinkwasserschutzgebiete verzeichnet und unterliegen Nutzungseinschränkungen für die Sicherung der vorhandenen Wasserressourcen.

Wasserdargebot

Das Wasserdargebot hängt stark von der klimatischen Wasserbilanz ab. Die klimatische Wasserbilanz, definiert als Differenz zwischen der Niederschlagshöhe und der Höhe der potenziellen Verdunstung, ist innerhalb Deutschlands sowohl großräumig als auch kleinräumig sehr unterschiedlich ausgeprägt (Abb. 4.1-1). Während im Alpenraum und in den Mittelgebirgen deutlich mehr Niederschlag fällt als verdunstet (positive klimatische Wasserbilanz), ist in

weiten Teilen Ostdeutschlands die klimatische Wasserbilanz negativ. Die größten Defizite der klimatischen Wasserbilanz treten im östlichen Harzvorland und im Oderbruch auf, wo die geringsten Niederschläge innerhalb Deutschlands zu verzeichnen sind. In den Sommermonaten kommt es in weiten Teilen Deutschlands zu einer negativen Bilanz. Bei niederschlagsarmer Witterung können negative Werte allerdings in allen Monaten außer im November und Dezember auftreten. Gebiete mit einer ungünstigen Wasserbilanz weisen potenziell ein geringes Wasserdargebot auf und sind eher von Dürren und Trockenheit bedroht als andere Gegenden.

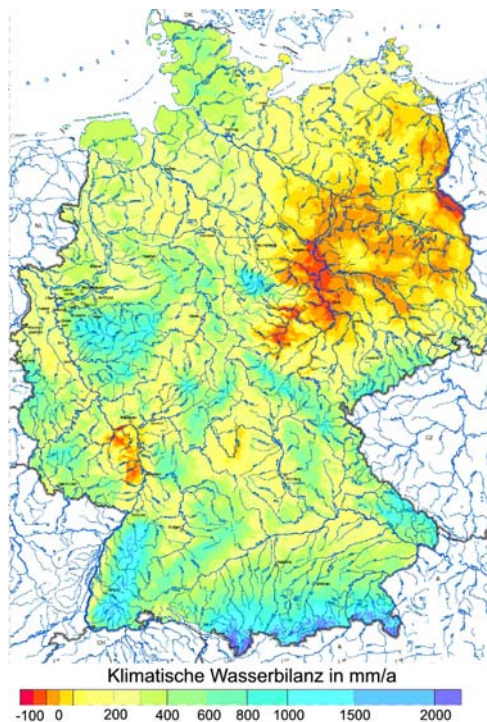


Abb. 4.1-1: Klimatische Wasserbilanz in Deutschland (BMU, 2003).

Wasserbedarf

Der Wasserbedarf ist in Deutschland regional und lokal unterschiedlich. Er richtet sich nach dem Ausmaß der Besiedelung, der Industrialisierung und den jahreszeitlichen Unterschieden von Wasserdargebot und -verbrauch. Der größte Teil des Wassers, etwa 56%, wird als Kühlwasser für die öffentlichen Energieversorger genutzt. Bergbau und Industrie verbrauchen zusammen ca. 18%. Ca. 13% des genutzten Wassers dient der öffentlichen Wasserversorgung. Land- und Forstwirtschaft verbrauchen weniger als 1% des Wassers (Abb. 4.1-2; Statistisches Bundesamt, 2005).

Im Zeitraum von 1990 – 1998 war ein starker Rückgang des Wasserbedarfs für Industrie und Wärmekraftwerke zu verzeichnen. Insbesondere in Ostdeutschland ist z.B. der tägliche Wasserverbrauch von 142 l / Tag / Einwohner (1990) auf 93 l / Tag / Einwohner (2000) zurück gegangen (BGW, 2001). Gründe dafür sind wassersparende Technologien und die Investitionen in effektivere wasserwirtschaftliche Anlagen. Der Anstieg der Wasser- und Abwasserpreise hat außerdem zu einem veränderten Konsumverhalten der Bevölkerung, veränderten Produktionsverfahren und dem Beheben von Wasserverlusten in den Rohrleitungen geführt.

Zur Zeit werden bundesweit die Wasservorräte in Deutschland als ausreichend angesehen, weil nur etwa 24% der vorhandenen Ressourcen genutzt werden (UBA, 2001). In Regionen mit einer ungünstigen Wasserbilanz (v.a. in Brandenburg) kommt es aber auch aktuell immer wieder zu Wasserknappheit. Insbesondere fehlt hier Wasser für ein Konstanthalten der Pegelstände der Flüsse und zur Flutung von Tagebaurestlöchern.

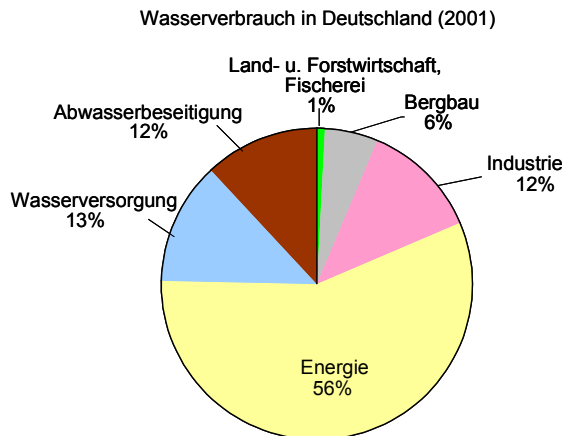


Abb. 4.1-2: Entnahme von Wasser aus der Natur in Deutschland im Jahr 2001 (Statistisches Bundesamt, 2005).

Gefahr von Trockenperioden und Dürren

Trockene Perioden sind generell ein natürliches und wiederkehrende Phänomen in Europa (EEA, 2001). Die heißen und trockenen Jahre in den 1990'er Jahren und vor allem das Jahr 2003 haben gezeigt, dass Deutschland, obwohl es in einer gemäßigten Klimazone liegt, von Niedrigwasser und Dürren betroffen sein kann. In Deutschland hat diese ungewöhnlich lang anhaltende trockene warme Phase unter anderem zu erhöhter Waldbrandgefahr und Einbußen in der Landwirtschaft geführt. Einschränkungen gab es für die Binnenschifffahrt sowie für Wärme-, Wasserkraft- und Atomkraftwerke. Entsprechend der Münchner Rückversicherung hat die Hitzewelle in Deutschland mehr als 1.2 Mrd. € an Kosten verursacht (Eisenreich, 2005). Die Versorgung mit Trinkwasser war aber 2003 nicht bedroht (Demuth, 2004).

Gefahr von Hochwasserereignissen

Die Entstehung von Hochwasser wird durch Niederschlagscharakteristika (Intensität, Volumen, Dauer), Anfangsbedingungen (Bodenfeuchte), Infiltrationsbedingungen, Geomorphologie, Ereignisgröße sowie die räumlichen und zeitlichen Skalen der Niederschläge gesteuert (Niehoff, 2002).

Extreme Niederschlagsereignisse haben in der Vergangenheit immer wieder zu ernststen Hochwasserkatastrophen geführt, die sowohl Sachschaden verursacht als auch Menschenleben gefordert haben (EEA, 2001). Die Jahrhunderthochwasserereignisse am Rhein im Winter 1993/1994 und 1995, im Sommer 1997 an der Oder und das Jahrtausendhochwasser an Donau und Elbe bzw. ihrer Nebenflüsse im August 2002 zeigen, dass Hochwasser eine häufig auftretende und ernstzunehmende Gefahr in Deutschland darstellt. Allein das Elbehochwasser forderte 20 Menschenleben und verursachte einen Schaden von ca. 9 Mrd. € (BFG, 2002). Die Hochwasserereignisse in den großen Einzugsgebieten werden meist durch lang anhaltende, advektive Niederschlagsereignisse (Landregen) mit und ohne Beteiligung von Schneeschmelze ausgelöst. Konvektive Starkniederschlagsereignisse (lokale Starkregenereignisse) lösen dagegen oft kleinräumige Hochwasser mit hohem Schadenspotenzial aus. In Deutschland werden etwa die Hälfte aller durch Hochwasser verursachten Schäden durch solche kleinräumigen Hochwässer verursacht (Bronstert, 1996).

Als mögliche Ursachen der zu beobachtenden Häufung von Hochwasserereignissen (z.B. in Südwestdeutschland, Caspary, 2004) wird u.a. die statistisch bereits nachweisbare zunehmende Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen (Grieser & Beck, 2002; Schönwiese, 2005) diskutiert. Allerdings lässt sich diese Zunahme nur für die Wintermonate belegen. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Wahrscheinlichkeit von Winterhochwässern, wie z.B. der Rheinhochwässer, bereits erhöht hat. Für die Entstehung von Sommerhochwässern, wie z.B. die Hochwässer an der Oder 1997 und an der Elbe 2002, sind oft bestimmte Groß-

wetterlagen verantwortlich (z.B. die sog. Vb Wetterlage). Auch hier existieren Studien, die zumindest die zunehmende Häufung solcher Wetterlagen belegen (Fricke & Kaminiski, 2002).

Neben den klimabedingten Einflüssen spielen der verminderte Gebietsrückhalt durch Begradigung von Flussläufen, der Bau von Staustufen, der Verlust von Auen und Feuchtgebieten und die zunehmende Versiegelung eine wichtige Rolle für die Hochwassergefahr. Der Rhein büßte beispielsweise bereits vier Fünftel seiner ursprünglichen Auen ein. Auch an der Elbe ist nur noch ein Rest von 15% des natürlichen Überschwemmungsgebiets vorhanden (IKSE, 1996; BMU, 2002). Ferner ist die Landwirtschaft durch den Einsatz von schweren Maschinen auf den Feldern, der eine Verdichtung der Böden und damit ein verringertes Infiltrationsvermögen nach sich zieht, Mitverursacher verstärkter Hochwasserentstehung. Aktuell überwiegt der Einfluss dieser anthropogenen Faktoren noch die Auswirkungen des Klimawandels.

Andere Faktoren

Neben der Wasserentnahme für Industrie, Haushalt und Landwirtschaft stellt die Sumpfung von Grundwasser für den Abbau von Braunkohle einen wichtigen Einflussfaktor auf den Wasserhaushalt dar. Betroffen hiervon sind das Rheinland, die Niederlausitz und das Gebiet zwischen Helmstedt und Leipzig/Halle. Durch die Sumpfung kommt es zu einem allmählichen Trockenfallen betroffener Feuchtgebiete, z.T. zum Versiegen von Bächen und Flüssen und zur Verringerung der bewirtschaftbaren Wassermenge für die öffentliche Wasserversorgung. Auch der Wasserbedarf, der bei der Flutung von Tagebauten entsteht, kann die regionale Wasserversorgung gefährden (z.B. an der Spree).

Abgesehen von einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit stellt die Wasserqualität einen wichtigen Anspruch der Gesellschaft an das Medium Wasser dar. Eine Belastung der Wasserqualität des Grundwassers und der Vorfluter geht in Deutschland in großem Maße von der Landwirtschaft durch das Aufbringen von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln auf die Felder aus. Diese gelangen entweder in das Grundwasser oder werden durch Erosion in die Oberflächengewässer transportiert und führen zur Eutrophierung der Oberflächengewässer und der Meere. Die Belastung des Grundwassers mit Nährstoffen wie z.B. Nitrat stellt eine erhebliche Einschränkung für die Nutzung des Aquifers als Trinkwasserressource dar und kann die Grundwasserbiologie negativ verändern. Ferner belasten Schwermetalle, organische Umweltchemikalien und Pflanzenschutzmittel die Wasserressourcen.

4.1.4 Auswirkungen des Klimawandels – Trends und Projektionen

Wasserdargebot und die Gefahr von Dürren

Aufgrund der engen Verknüpfung mit dem Niederschlag sind Aussagen über die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Wasser in hohem Maße von der Entwicklung der regionalen und saisonalen Verteilung der Niederschläge abhängig. Die Darstellung regionaler Niederschläge in Klimamodellen ist allerdings noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Je nach Modellansatz unterscheiden sich die Szenarien zum Teil stark von einander. Mit dieser Unsicherheit sind deshalb auch Aussagen zum Wasserdargebot belastet. Der zu erwartende Temperaturanstieg bewirkt vor allem eine Erhöhung der Evapotranspiration (Verdunstung) und verringert damit potenziell die klimatische Wasserbilanz. Indirekte Folgen, wie z.B. Veränderungen in der winterlichen Schneebedeckung und erhöhter Wasserverbrauch der Vegetation durch Verlängerung der Vegetationszeit, beeinflussen den Wasserhaushalt zusätzlich.

Aus dem Projekt ATEAM (siehe Kap. 2; Schröter et al. 2004) liegen für ganz Deutschland Szenarien des mittleren Jahresabflusses, des Mindestabflusses Q90 und des Sommerabflusses vor. Unter Abfluss wird hier im Wesentlichen die Differenz aus Niederschlag und aktueller Evapotranspiration (vegetationsabhängiger Verdunstung) verstanden. Der Abfluss ist damit mit der klimatischen Wasserbilanz vergleichbar.

Der Jahresabfluss ist eng mit den Jahresniederschlägen verbunden. Entsprechend der nur schwachen Veränderung im Jahresniederschlag in den meisten Klimaszenarien liegen deutschlandweit auch die Veränderungen im mittleren Jahresabfluss in allen sieben berücksichtigten Szenarien im Bereich von 10 bis 20 %.

sichtigen Klimaszenarien bis 2080 im Wesentlichen unter 10% (Abb. 4.1-3). Ein anderes Bild ergibt sich bei Betrachtung der regionalen Verteilung (Abb. 4.1-9 im Anhang). Hier zeigt sich vor allem in den Szenarien, die auf die Ergebnisse des Klimamodells HadCM3 aufbauen, eine Tendenz zu einem Rückgang des Abflusses im Norden und Nordosten und zu einer leichten Zunahme im Süden. Allerdings ergeben z.B. die auf dem Klimamodell CSIRO aufbauenden Ergebnisse genau den gegenläufigen Trend.

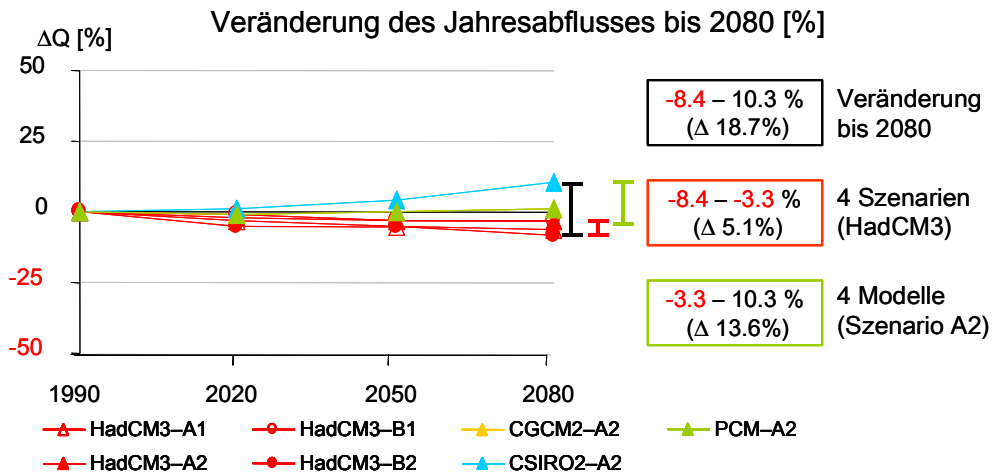


Abb. 4.1-3: Relative Veränderung im mittleren Jahresabfluss gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

Aufschlussreicher als die Betrachtung des Jahresabflusses ist die Betrachtung des Mindestabflusses Q90. Dieser Abfluss ist definiert als der Jahresabfluss, der in neun von zehn Jahren mindestens erreicht wird. Im Rückschluss liegt der Abfluss in einem von zehn Jahren unter diesem Wert. Insofern ist dieser Wert ein guter Hinweis auf den Abfluss in Trockenjahren. Für Deutschland zeigt sich insgesamt ein ähnliches Bild wie beim Jahresabfluss (Abb. 4.1-4).

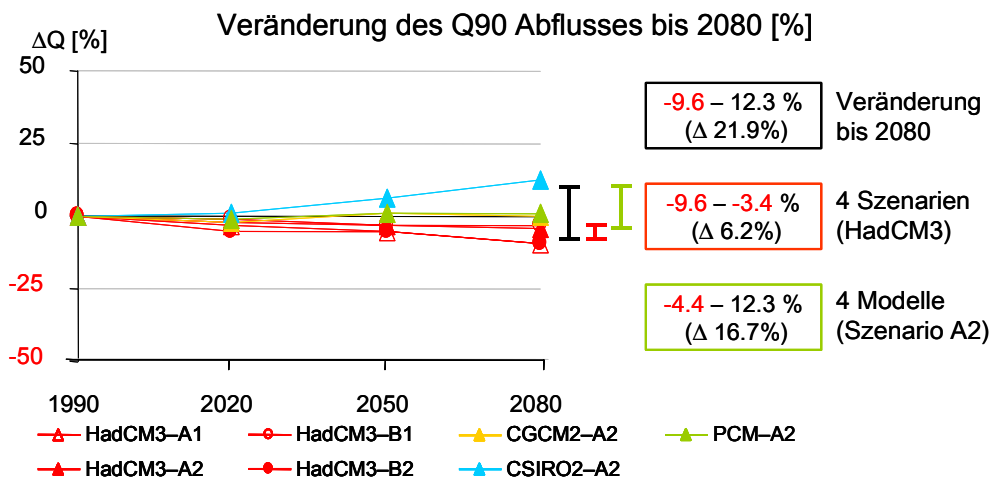


Abb. 4.1-4: Relative Veränderung im Mindestabfluss Q90 gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080. Q90 bezeichnet die Abflussmenge, die in neun von zehn Jahren erreicht wird.

Die Spanne der Veränderung bis 2080 liegt bei -10% bis +12%. Regional zeigt sich eine stärkere Differenzierung mit lokalen Rückgängen von z.T. über 50% in Nord- und Ostdeutschland (Abb. 4.1-10 im Anhang). Allerdings liefern auch hier Ergebnisse, die auf anderen Klimamodellen basieren, unterschiedliche Bilder.

Noch differenzierter stellen sich die Ergebnisse hinsichtlich einer Veränderung im Sommerabfluss dar (Abfluss in den Monaten Juni, Juli, August; Abb. 4.1-5). Aufgrund der von vielen Klimamodellen projizierten Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter und der durch Temperaturerhöhung gesteigerten Evapotranspiration (Verdunstung), insbesondere der Transpiration (Pflanzenverdunstung), steht im Sommer in fünf von sieben Klimaszenarien deutlich weniger Wasser zu Verfügung (Veränderung geg. 1990 bis 2080 von -43% - +5%). Dieser Rückgang betrifft alle Teile Deutschlands (Abb. 4.1-11 im Anhang).

Wie stark eine Region von der Veränderung des Abflusses betroffen ist, hängt neben dem Grad der Veränderung maßgeblich von der Ausgangssituation ab. Vor allem Gebiete, die heute schon eine ungünstige Wasserbilanz und geringe Abflüsse aufweisen, wie z.B. die zentralen Bereiche Ostdeutschlands (Abb. 4.1-1), können vom Klimawandel stark betroffen sein. Die wahrscheinliche Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter führt in diesen Regionen in den Sommermonaten, wo die Situation in Trockenjahren schon heute kritisch ist, zu weiter rückgängigen Abflüssen und damit zu weiteren Einschränkungen im Wasserangebot. Auch wenn sich die Ergebnisse je nach zu Grunde liegendem Klimamodell unterscheiden, deutet doch einiges daraufhin, dass mit dem Klimawandel die Gefahr einer Zunahme von trockenen Perioden und Dürren verbunden ist.

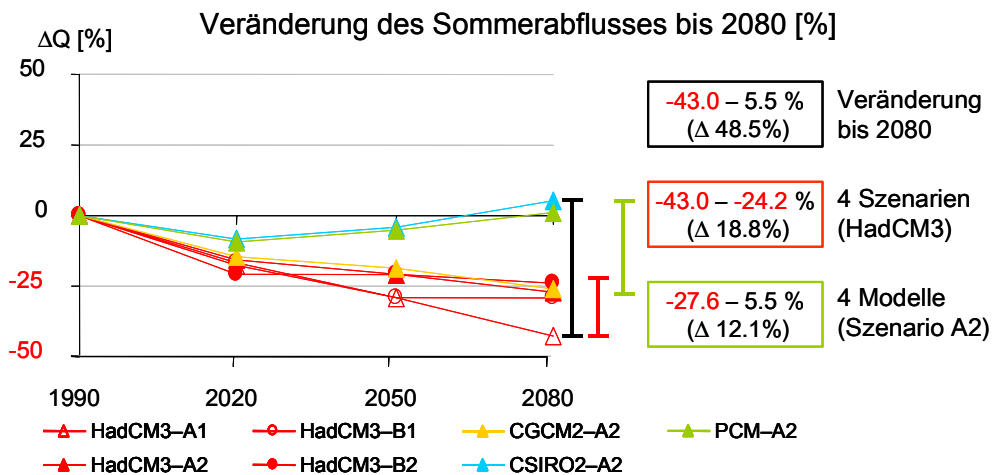


Abb. 4.1-5: Relative Veränderung im Sommerabfluss (Juni-August) gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

Niedrigwasser und Dürren haben schwerwiegende Folgen für fast alle in dieser Studie betrachteten Sektoren. Land- und Forstwirte, Energie- und Trinkwasserversorger und staatliche Stellen müssen sich auch in Deutschland auf wiederkehrende trockene Perioden einstellen. Problematisch ist auch die Gefahr für Feuchtgebiete und aquatische Ökosysteme. Insgesamt bedarf es einer gut abgestimmten Anpassungsstrategie, die Bevorratung, Einschränkungen im Wasserbedarf und alternative Wasserquellen berücksichtigt.

Gefahr von Hochwasserereignissen

Verschiedene Autoren gehen von einem generell erhöhten Risiko für Extremniederschläge und Hochwasser als Folge des Klimawandels aus (Palmer & Räisänen, 2002; Milly et al., 2002). Auch für Deutschland ist eine Auswirkung von Klimaänderungen auf die Hochwasserentstehung durch Veränderungen der Niederschlagscharakteristika zu erwarten (Bronstert, 1996). Das bezieht sich nicht nur auf die absolute Niederschlagsmenge, sondern auch auf die Intensität, die Dauer und die Häufigkeit der Niederschläge. Zwar sind die regionalen Trends für die Niederschlagsentwicklung in Deutschland uneindeutig (Eisenreich, 2005), doch deutet vieles auf eine Abnahme der Sommer- und Zunahme der Winter/Frühjahrsniederschläge und damit auf eine höhere Wahrscheinlichkeit winterlicher Hochwasser hin.

Allerdings könnte eine fehlende Schneeschmelze aufgrund temperaturbedingt ausbleibender Schneeakkumulation einige Hochwasserspitzen reduzieren (Eisenreich, 2005). Als eine weite-

re Konsequenz der Erwärmung ist mit einem weniger häufigen Zufrieren von Flüssen zu rechnen, was die Wahrscheinlichkeit von Eisstauhochwässern, wie sie vorwiegend an der Elbe in der Vergangenheit aufgetreten sind, verringert (Bronstert, 1996).

Integrierte Ergebnisse für einzelne Einzugsgebiete

Für den Rhein wird aufgrund der Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter von einer Verschiebung der Abflüsse in das zeitige Frühjahr ausgegangen (Middlekoop & Kwadijk, 2001). Diese Verschiebung spiegelt sich auch in den ATEAM-Ergebnissen wieder (Abb. 4.1-6). Hier wurde für das Szenario HadCM3-A2 eine Verschiebung der höchsten monatlichen Abflüsse des Rheins (Pegel Kaub) von den Monaten Mai und Juni (1990) in den Monat März (Szenario für 2050) ermittelt.

Detailstudien für drei Untersuchungsgebiete im Rheineinzugsgebiet aus dem Projekt LAHoR (Bardossy et al., 2003) projizieren eine Abnahme der Niederschläge im November und Dezember verbunden mit einer Zunahme der Niederschläge in den Monaten März und April bis 2080. Vor dem Hintergrund dieser Szenarien nimmt die Wahrscheinlichkeit für die typischen Weihnachtshochwässer am Rhein potenziell ab. Die Wahrscheinlichkeit für Frühjahrshochwasserereignisse steigt hingegen an. Dabei spielt neben der Zunahme der Niederschläge im zeitigen Frühjahr auch das zeitliche Zusammentreffen mit der Schneeschmelze in den Alpen und hohen Mittelgebirgen eine Rolle.

Diese Projektionen spiegeln sich auch in den Ergebnissen des Arbeitskreises KLIWA wider, die für den Rhein ebenfalls eine potenzielle Erhöhung der Hochwassergefahr im Winter und zeitigen Frühjahr ausweisen (Krahe et al., 2004).

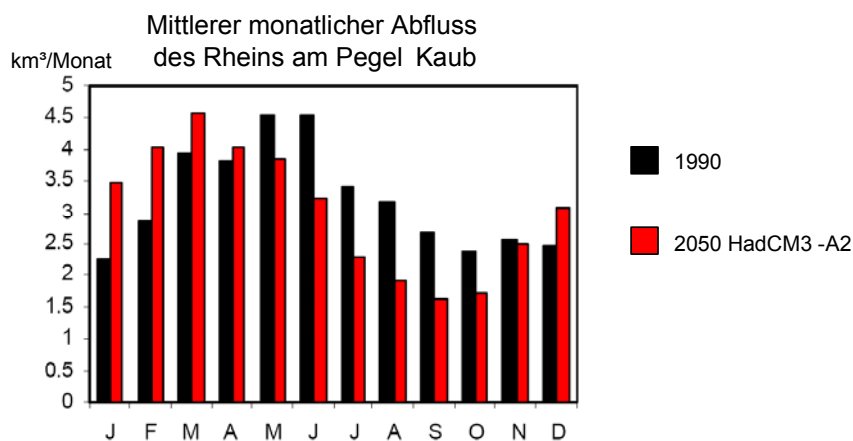


Abb. 4.1-6: Mittlerer monatlicher Abfluss des Rheins am Pegel Kaub 1990 und 2050 unter Verwendung des Szenarios HadCM3-A2 (ATEAM-Ergebnis).

Auch für die Einzugsgebiete des oberen Mains (Barth et al., 2004) und des Neckars (Gerlinger, 2004) liegen im Rahmen des Arbeitskreises KLIWA Ergebnisse vor. Diese stützen die Tendenz zur Verschiebung der Abflüsse in die Monate Februar, März, April sowie eine potenzielle Erhöhung der Hochwassergefahr in dieser Zeit.

Für das Einzugsgebiet der Elbe liegen Studien vor, die eine sinkende Wasserverfügbarkeit im Einzugsgebiet projizieren. Unter der Annahme eines Rückgangs der Jahresniederschläge bis 2050 in dieser Region wird mit Verringerungen des Abflusses um ca. 40% (Wechsung, 2004) und der Grundwasserneubildung um fast 50% (Hattermann et al., 2004) gerechnet.

Weitere Auswirkungen des Klimawandels

Änderungen des Abflusses können sich direkt auf die Wasserstände und Wasserqualität der Seen und Kanäle auswirken (Eisenreich, 2005). Besonders in relativ flachen und warmen

Gewässern kann es in Folge sinkender Wasserspiegel, zunehmender Erwärmung und verstärkter Aufwirbelung von Sedimenten zu vermehrtem Wachstum von Zoo- und Phytoplankton und damit zu der Gefahr einer Eutrophierung kommen. Diese Entwicklungen beeinträchtigen neben der Trinkwasserversorgung u.a. auch den Tourismus. So ist z.B. der Spreewald als Tourismusregion durch sinkende Sommerniederschläge und verringerten Zulauf aus dem Oberlauf gefährdet (Dietrich, 2004).

Auch bei der Rekultivierung und Flutung der Braunkohletagebaurestlöcher in Ostdeutschland wird aufgrund der möglichen Verringerung des Wasserdargebots, insbesondere in den Sommermonaten, mit Problemen gerechnet (Kaltofen et al., 2004)

Bezüglich des Einflusses des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung liegen bisher keine Studien vor. Zwar wird von einer Abnahme der Grundwasservorräte vor allem in Nord- und Westdeutschland sowie in Teilen Ostdeutschlands ausgegangen, grundsätzlich werden aber keine Probleme bezüglich der Trinkwasserversorgung erwartet (BMU, 2001).

4.1.5 Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten

Wie in Kap. 2.6 beschrieben, wurden in verschiedenen klimasensitiven Bereichen Deutschlands Expertenbefragungen durchgeführt – auch in der Wasserwirtschaft. Bereichsspezifische Bewertungen der potenziellen Elemente und Auswirkungen des Klimawandels liegen für verschiedene Naturräume (siehe Kap. 2.6) aus sieben Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Sachsen, Thüringen, Hessen und Baden-Württemberg. Negative Einschätzungen werden als Risikobewertungen, positive Einschätzungen als Chancenbewertungen interpretiert. Die Ergebnisse der Befragung sind in Abb. 4.1-7 grafisch dargestellt. Aufgrund des geringen Rücklaufs der Fragebögen aus den 16 Bundesländern und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Bewertungen nur als vorläufige Abschätzungen angesehen werden. Andererseits gründen mehr als die Hälfte der Befragten ihre Einschätzungen auf Studien über vergangene und zukünftige Klimaentwicklungen und deren Auswirkungen in ihren Bundesländern.

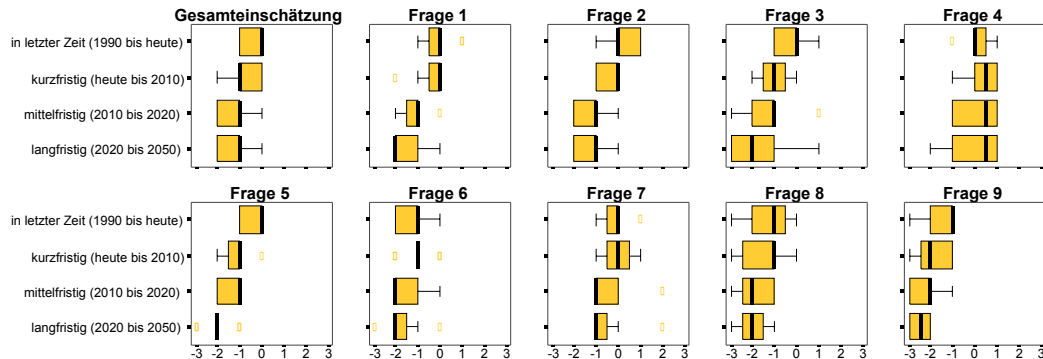
Gesamteinschätzung des Klimawandels

Die Bedeutung des Klimawandels für die Wasserwirtschaft bewerten die Befragten, gemittelt über alle Naturräume und Bundesländer in letzter Zeit (1990 bis heute), als „weder positiv noch negativ“, wobei auch einige Einschätzungen als „etwas negativ“ vorliegen. Kurzfristig (heute bis 2010), mittelfristig (2010 bis 2020) und langfristig (2020 bis 2050) wird der Klimawandel im Mittel „etwas negativ“ bewertet, wobei in der fernerer Zukunft die Einschätzungen als „negativ“ zunehmen. Eine Einschätzung als „sehr negativ“ wurde für keinen Naturraum und Zeitraum gewählt. Ebenso wenig gibt es Positivbewertungen des Klimawandels. So zeigt sich ein recht einheitlich negatives Bild des Klimawandels in der deutschen Wasserwirtschaft.

Risikobewertungen

Von den potenziellen *Elementen des Klimawandels* schätzen die Befragten vermehrte Starkniederschläge kurzfristig mit einer mittleren „Negativ“-Bewertung als das größte Risiko ein. Mittel- und langfristig wird dieses Risiko immer negativer gesehen. Kurzfristig „etwas negativ“ bewerten die Befragten steigende Temperaturen im Sommer, mehr heiße Tage und

Gesamteinschätzung des Klimawandels und Einschätzungen einzelner Elemente des Klimawandels



Wie positiv/negativ für Ihren Bereich ist/sind Ihrer Meinung nach ...

Frage 1: ... eine steigende Jahresmitteltemperatur

Frage 2: ... steigende Temperaturen im Winter?

Frage 3: ... steigende Temperaturen im Sommer?

Frage 4: ... eine Zunahme der Jahressumme der Niederschläge?

Frage 5: ... eine Abnahme der Jahressumme der Niederschläge?

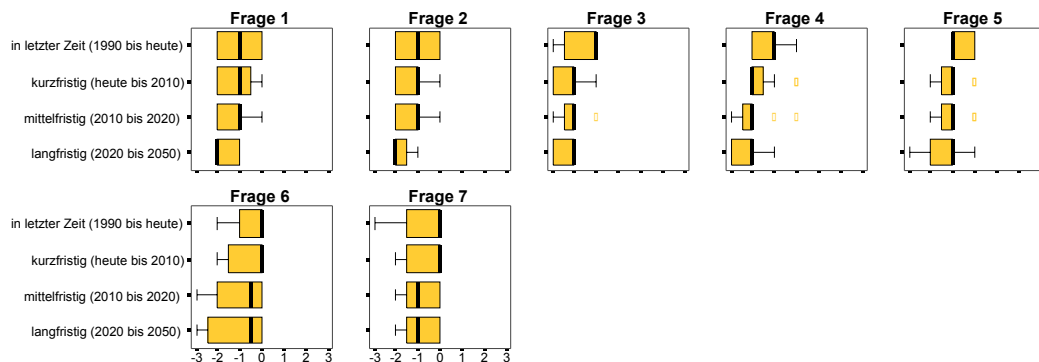
Frage 6: ... stärkere Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr?

Frage 7: ... weniger Frosttage?

Frage 8: ... mehr heiße Tage und Hitzewellen?

Frage 9: ... mehr Starkniederschläge?

Einschätzungen der Auswirkungen des Klimawandels



Wie positiv/negativ für Ihren Bereich ist/sind Ihrer Meinung nach ...

Frage 1: ... ein geringerer Abfluss (Niederschlag – Verdunstung) => geringeres Wasserdargebot?

Frage 2: ... stärkere Schwankungen im Wasserdargebot?

Frage 3: ... die steigende Gefahr von Hochwasser?

Frage 4: ... die steigende Gefahr von Niedrigwasser?

Frage 5: ... ein veränderter Grundwasserspiegel?

Frage 6: ... Änderungen in der Qualität/Quantität von Trinkwasser?

Frage 7: ... Änderungen in der Qualität/Quantität von Brauchwasser?

Antwortalternativen:
-3 = sehr negativ
-2 = negativ
-1 = etwas negativ
0 = weder pos. noch neg.
1 = etwas positiv
2 = positiv
3 = sehr positiv.

Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Einschätzungen für verschiedene Naturräume u. Bundesländer als Box-Plot: Die Box umfasst die mittleren 50% der Verteilung und bezeichnet somit die Werte zwischen dem unteren und dem oberen Quartil. Je weiter links sich die gelbe Box befindet, desto negativer wird die Auswirkung des Klimawandels bewertet. Die Lage des Medians (Mittelwert) wird durch einen dicken senkrechten Strich verdeutlicht. Zwei Linien links und rechts der Box verdeutlichen die Spannweite der gegebenen Einschätzungen. Als gelbe Balken werden Ausreißer und Extremwerte markiert, die 1,5 bis 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Quartil entfernt sind.
Auswertungsgrundlage: 7 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Sachsen, Thüringen, Hessen und Baden-Württemberg.

Abb. 4.1-7: Einschätzungen des Klimawandels und seiner potenziellen Auswirkungen im Bereich Wasserwirtschaft.

Hitzewellen, die Abnahme der Jahresniederschläge¹² und stärkere Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr. Die kurzfristig noch neutral bewerteten steigenden Jahresmitteltemperaturen, steigenden Wintertemperaturen und weniger Frosttage werden mittel- und langfristig auch als Risiken bewertet. Generell zeigen sich über die Zeit immer negativere Einschätzungen.

Betrachtet man die Bewertungen der sieben erfragten potenziellen *Auswirkungen des Klimawandels* auf die Wasserwirtschaft, so werden sie sämtlich als Risiken eingeschätzt. Die negativsten Bewertungen finden sich bei der steigenden Gefahr von Hochwasser (konsistent mit der hohen Risikobewertung von Starkniederschlägen) und der steigenden Gefahr von Niedrigwasser. Bereits in der Vergangenheit (1990 bis heute) werden diese beiden Entwicklungen im Mittel als „etwas negativ“ bewertet. In der Zukunft sind die Bewertungen meist „negativ“, in einigen Naturräumen auch „sehr negativ“. Kurzfristig „etwas negativ“ schätzen die Befragten den geringeren Abfluss und das damit verbundene geringere Wasserdargebot, die stärkeren Schwankungen im Wasserdargebot und die veränderten Grundwasserspiegel ein. Neutral bis „etwas negativ“ werden Änderungen in der Qualität/Quantität von Trinkwasser und Brauchwasser gesehen, wobei sich v.a. bei den Einschätzungen der Entwicklungen im Trinkwasserbereich enorme Unterschiede zwischen den bewerteten Naturräumen (von „sehr negativ“ bis neutral) zeigen.

Chancenbewertungen

Nur ein potenzielles *Element des Klimawandels* wird von den Befragten im Mittel als Chance bewertet: die mögliche Zunahme der Jahresniederschläge. Kurz-, mittel- und langfristig wird sie im Mittel als neutral bis „etwas positiv“ gesehen. Jedoch steigen die Unterschiede der einzelnen Bewertungen mit der Zeit immer weiter an und bewegen sich immer mehr auch in den Negativbereich.

Weitere Auswirkungen

Außerdem wurde nach weiteren möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Wasserwirtschaft gefragt. Hier nannten die Befragten Einflüsse auf die Limnologie von Seen, die Änderung der Temperaturen in Fließgewässern/ Standgewässern (jeweils abhängig vom Temperaturbereich) und die Ausdehnung der Feuchtgebiete.

4.1.6 Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels

Die Anpassung des Sektors Wassers an künftige Veränderungen des Klimas nimmt eine zentrale Bedeutung ein, weil das Management von Wasser nicht nur Extremereignisse wie Hoch- und Niedrigwasser berücksichtigt, sondern auch für eine ausgeglichene Bilanz von Wasserverfügbarkeit und Wasserbedarf sorgen muss. Alle Sektoren sind direkt oder indirekt auf eine ausreichende Wasserverfügbarkeit mit z.T. hohen Ansprüchen an die Wasserqualität angewiesen. Anpassungsmaßnahmen müssen daher gut aufeinander abgestimmt und in einem nationalen und internationalen Rahmen verankert werden.

Der Hochwasserschutz spielt in Deutschland schon seit Jahrhunderten eine zentrale Rolle. Für die Anpassung an künftige Klimaverhältnisse sollte die wahrscheinlich ansteigende Wiederkehrfrequenz und die mögliche Erhöhung des Abflusses berücksichtigt werden. Daher müssen bisherige Maßnahmen der Hochwasservorsorge angepasst werden. Dazu gehört ausreichender Hochwasserrückhalt auf Retentionsflächen, eine Flächenvorsorge, welche Bebauung und andere Nutzungen auf den wahrscheinlich betroffenen Überflutungsflächen einschränkt, Bau- und Verhaltensvorsorge sowie Katastrophenschutz und technischer Hochwasserschutz. Die Diskussion über mögliche Auswirkungen des Klimawandels wird künftig stärker von den Flussgebietskommissionen aufgegriffen werden müssen (UBA, 2001).

Das Auftreten von möglichen Zeitspannen mit Niedrigwasser und Trockenheit erfordert ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement, welches die Verweildauer des Wassers in der Land-

¹² Nach momentanem Wissenstand erscheinen je nach Region sowohl die Zu- als auch die Abnahme der Jahresniederschläge möglich. Daher wurden beide Optionen den Befragten zur Bewertung vorgelegt.

schaft sichert. Eine derartige Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes bringt auch Synergien für den Hochwasserschutz mit sich. Zudem sollte eine angepasste infrastrukturelle Vorsorge, wie die ausreichende Bevorratung von Wasser in Talsperren oder die Möglichkeit, über Fernwasserleitungen Trinkwasser zur Verfügung zu stellen, geschaffen werden. In Industrie, Land- und Forstwirtschaft sowie in privaten Haushalten sollten sinnvolle Wassersparmaßnahmen eingeführt werden, durch die Nutzungsrestriktionen vermieden werden können. Land- und Forstwirtschaft müssen sich mit angepassten Anbaukulturen und modernen wassersparenden Beregnungsanlagen auf mögliche Wasserknappheit einstellen. Auch in der Industrie lässt sich der Wasserbedarf durch verbesserte Produktionsverfahren weiter senken.

Für die Aufrechterhaltung des Leistungsvermögens der Oberflächengewässer als Ökosysteme sollten diese naturnah bewirtschaftet und, wenn nötig, naturnah ausgebaut werden (z.B. durch die Schaffung von Retentionsflächen oder die Reaktivierung von Altarmen). Mit der Verbesserung der Wasserqualität und des ökologischen Zustands des Oberflächengewässers, wie sie bereits in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie gefordert wird, sinkt die Anfälligkeit der aquatischen Ökosysteme gegenüber Veränderungen durch den Klimawandel.

Die monetäre Absicherung über Versicherungen gegen Hochwasserschäden, trockenheitsbedingte Ernteausfälle und die Bildung von Rücklagen für Schadensausgleichszahlungen und zukünftige Anpassungsmaßnahmen stellen weitere wichtige Anpassungsstrategien für den zu erwartenden Klimawandel in Deutschland dar.

4.1.7 Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten

Zu Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, liegen Ergebnisse von Expertenbefragungen (zur Methode siehe Kap. 2.6) aus den folgenden acht Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Sachsen, Thüringen, Hessen, Saarland und Baden-Württemberg. Aufgrund des geringen Rücklaufs der Fragebögen und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Befragungsergebnisse nur als sehr vorläufige Abschätzungen der Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich Wasserwirtschaft in Deutschland geeignet sind, angesehen werden.

Innerhalb der Befragung wurden die Maßnahmen hinsichtlich verschiedener Dimensionen bewertet, u.a. hinsichtlich der Maßnahmen-Wirksamkeit zur Minderung der in Abschnitt 4.1.5 dargestellten potenziellen Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels (siehe Tab. 4-1) und hinsichtlich der bisherigen Maßnahmen-Umsetzung (siehe Abb. 4.1-8).

Hochwasserschutzmaßnahmen

Um der durch den Klimawandel eventuell verstärkten Hochwassergefahr zu begegnen, werden von fast allen Befragten die sechs ersten in Tab. 4-1 aufgeführten Maßnahmen als wirksam eingeschätzt: natürlicher Hochwasserrückhalt, Flächenvorsorge, Bauvorsorge, Verhaltensvorsorge, Risikovorsorge und technischer Hochwasserschutz. Nur wenige Befragte sehen Effekte dieser Maßnahmen auf andere Bereiche – mit Ausnahme der Flächenvorsorge, der von einigen Befragten ein sehr breites Wirkspektrum zugeschrieben wird.

Hinsichtlich des Umsetzungsgrades der sechs Hochwasserschutzmaßnahmen (siehe Abb. 4.1-8) zeigt sich, dass die meisten im Mittel als „bereits partiell eingeführt“ eingeschätzt werden, die Bauvorsorge jedoch nur als „konkret geplant“ und der technische Hochwasserschutz als fast „bereits umgesetzt“. Jedoch zeigen sich große Unterschiede zwischen den verschiedenen Bundesländern. Die Spanne des Umsetzungsgrades reicht meist von „momentan diskutiert“ bis „bereits umgesetzt“. Diese Unterschiede sind zum Teil aus einer unterschiedlichen Hochwassergefährdung erklärbar. So finden sich oft geringe Einschätzungen des Umsetzungsgrades von Hochwasserschutzmaßnahmen in Schleswig-Holstein, hohe in Hessen,

Tab. 4-1: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Wasserwirtschaft. Dargestellt ist die Anzahl der Befragten, die den Maßnahmen eine Wirksamkeit zur Minderung bzw. Nutzung der Auswirkungen zuschreiben. Auswertungsgrundlage: 7 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Sachsen, Thüringen, Hessen und Baden-Württemberg.

Maßnahmen	Auswirkungen						
	Geringerer Abfluss (Niederschlag - Verdunstung) => geringeres Wasserdargebot	Stärkere Schwankungen im Wasserdargebot	Gefahr von Hochwasser	Gefahr von Niedrigwasser	Veränderter Grundwasserspiegel	Änderungen in der Qualität/ Quantität von Trinkwasser	Änderungen in der Qualität/ Quantität von Brauchwasser
Natürlicher Hochwasserrückhalt (Retentionsflächen)	-	2	6	-	2	-	-
Flächenvorsorge (keine Bebauung, Auflagen, Nutzungsänderung)	1	2	5	-	1	1	2
Bauvorsorge (hochwasserangepasstes Bauen)	-	-	5	-	-	-	-
Verhaltensvorsorge (Vorhersage + Handlungsempfehlungen)	-	1	5	1	-	-	1
Risikovorsorge (Katastrophenschutz)	-	-	6	-	-	-	-
Technischer Hochwasserschutz	-	2	6	1	-	-	-
Wassersparen	2	2	-	1	5	4	3
Wassergüte verbessern	1	-	-	1	-	4	5
Naturnaher Ausbau von Fließgewässern	-	2	3	1	1	-	2
Nutzungsbeschränkungen (Schifffahrt, Wasser- und Wärmenutzung)	1	1	-	1	-	-	4
<i>Gefahrenübergreifende Maßnahmen</i>							
Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel	-	1	2	-	-	-	-
Bildung von Rücklagen	-	-	4	1	-	-	-

Sachsen und im Saarland. Als Gründe für die Einführung der Hochwasserschutzmaßnahmen wird zumeist der Schutz vor Hochwasser und die Reduzierung des Schadenspotenzials genannt. Nur ein Befragter benennt den Klimawandel als mitausschlaggebend für die Einführung einiger dieser Maßnahmen.

Als Hindernisse bei der Umsetzung der Hochwasserschutzmaßnahmen bestehen nach Ansicht der Befragten v.a. *finanzielle Hürden* (auch Zeitprobleme aufgrund fehlender Haushaltsmittel). *Organisatorische Hindernisse* werden vor allem bei der Flächenvorsorge, aber auch beim natürlichen Hochwasserrückhalt, der Verhaltens- und der Risikovorsorge gesehen. *Legislative Hindernisse* scheinen nur beim natürlichen Hochwasserrückhalt, der Flächenvorsorge und dem technischen Hochwasserschutz, *fehlendes Wissen* nur bei der Bauvorsorge, der Verhaltensvorsorge und dem technischen Hochwasserschutz („fehlende Planungsgrundlagen“) im Weg zu stehen. Darüber hinaus werden als Hindernisse des natürlichen Hochwasserrückhaltes und der Flächenvorsorge Nutzungskonflikte und die fehlende Bereitschaft zur Flächenbereitstellung genannt. Vor dem Hintergrund dieser Hindernisse schätzen die Befragten die meisten Hochwasserschutzmaßnahmen im Mittel als „aufwändig“ ein. Nur die Flächenvorsorge wird als „sehr aufwändig“ und die Verhaltensvorsorge als nur „etwas aufwändig“ bewertet.

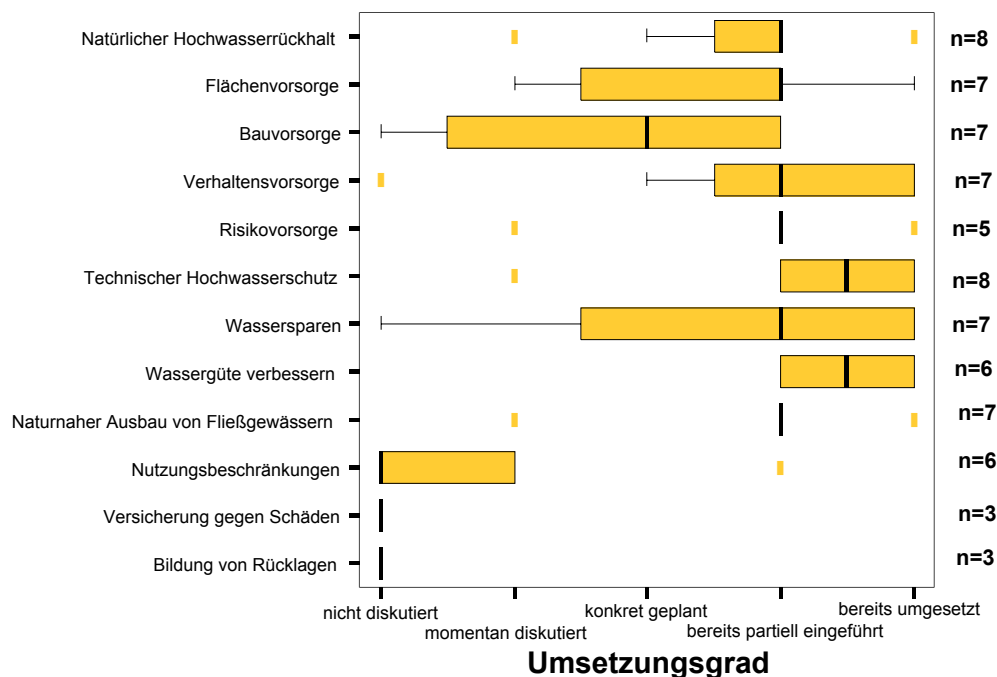


Abb. 4.1-8: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Wasserwirtschaft. Auswertunggrundlage: 8 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Sachsen, Thüringen, Hessen, Saarland und Baden-Württemberg. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden Fragebögen. Zur Erklärung der grafischen Darstellungsweise siehe Abb. 4.1-7.

Wassersparen und Wassergüte verbessern

Dem Wassersparen wird von den Befragten ein sehr breites Wirkspektrum hinsichtlich der potenziellen Auswirkungen des Klimawandels zugeschrieben (siehe Tab. 4-1). Die meisten Befragten sehen das Wassersparen als eine wirksame Maßnahme hinsichtlich eines sich verändernden Grundwasserspiegels. Eine geringere Wirksamkeit wird der Verbesserung der Wassergüte zugeschrieben. Die meisten Befragten bewerten die Maßnahme als wirksam hinsichtlich der Änderungen in der Qualität/Quantität von Trink- und Brauchwasser.

Der Umsetzungsgrad des Wassersparens wird im Mittel über die befragten acht Bundesländer als „bereits partiell eingeführt“, die Verbesserung der Wassergüte als fast „bereits umgesetzt“ eingeschätzt (siehe Abb. 4.1-8). Während sich in der Umsetzung des Wassersparens sehr große Unterschiede aus den Bundesländern berichtet werden, sind die Einschätzungen der Maßnahmenumsetzung zur Verbesserung der Wassergüte einheitlich hoch. Als Gründe für die Umsetzung von Maßnahmen zum Wassersparen und zur Verbesserung der Wassergüte werden von den Befragten u.a. der hohe Wasserverbrauch, der Ressourcenschutz, und die gesetzliche Verpflichtung durch EU-Verordnungen genannt. Kein Befragter benennt den Klimawandel als mitausschlaggebend für die Einführung dieser Maßnahmen.

Als hinderlich für die Maßnahmenumsetzung sehen die Befragten wiederum vor allem finanzielle Hürden. Darüber hinaus nennen sie als Hindernisse des Wassersparens ein momentan noch ausreichendes Wasserdargebot, kostengünstiges Wasser und die sehr geringe Eigenmotivation der Bürger. Als Schwierigkeiten für die Verbesserung der Wassergüte werden Widerstände in der Industrie und der Politik genannt. Vor dem Hintergrund dieser Hindernisse

schätzen die Befragten die Umsetzung von Maßnahmen des Wassersparens im Mittel als „aufwändig“, die Verbesserung der Wassergüte als „etwas aufwändig“ bis „aufwändig“ ein.

Naturnaher Ausbau von Fließgewässern und Beschränkungen der Wasser- u. Gewässernutzung

Dem naturnahen Ausbau von Fließgewässern wird von den Befragten ein breites Wirkspektrum hinsichtlich der möglichen Auswirkungen des Klimawandels zugeschrieben (siehe Tab. 4-1). Die meisten Befragten sehen diese Maßnahme als wirksame Hochwasserschutzmaßnahme an. Eine etwas weniger breite Wirksamkeit haben nach Ansicht der Befragten Beschränkungen für die Wasser- und Gewässernutzung. Hier überwiegen deutlich die Einschätzungen einer Wirksamkeit hinsichtlich der Änderungen in der Qualität/Quantität von Brauchwasser.

Der naturnahe Ausbau von Fließgewässern wird im Mittel über die befragten Bundesländer als „bereits partiell eingeführt“ eingeschätzt, während Nutzungsbeschränkungen im Mittel „nicht diskutiert“ werden (siehe Abb. 4.1-8). Dabei sind bei beiden Maßnahmen die Unterschiede zwischen den Bundesländern im Umsetzungsgrad relativ gering. Als ausschlaggebend für die Einführung des naturnahen Ausbaus von Fließgewässern werden u.a. der Hochwasserschutz und der Naturschutz genannt. Als Gründe dafür, dass Nutzungsbeschränkungen in den meisten befragten Bundesländern momentan nicht diskutiert werden, nennen die Befragten das momentan ausreichende Grundwasserdargebot, den fehlenden Bedarf für Nutzungsbeschränkungen und eine zur Zeit ohnehin rückläufige Nutzung. Der Klimawandel spielte auch hier für die Einführung bzw. Nicht-Einführung der Maßnahmen keine Rolle.

Der weit überwiegende Anteil der Befragten sieht vor allem finanzielle Hindernisse, die der Realisierung des naturnahen Ausbaus von Fließgewässern entgegen stehen. Als weitere Hürden werden der große Flächenbedarf, die vorhandene dichte Bebauung, der hohe Unterhaltungsaufwand und das fehlende flächendeckende Problembewusstsein genannt. Vor dem Hintergrund dieser Hindernisse schätzen die Befragten im Mittel den naturnahen Ausbau von Fließgewässern als „sehr aufwändige“ Maßnahme ein. Da Nutzungsbeschränkungen der Wasser- und Gewässernutzung von den meisten Befragten als nicht erforderlich angesehen werden, wurden von ihnen keine Angaben zu Umsetzungs Hindernissen und der Aufwändigkeit dieser Maßnahme gemacht.

Gefahrenübergreifende Maßnahmen: Versicherung und Rücklagen

Die Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel und die Rücklagenbildung für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen sehen die Befragten vor allem als wirksam hinsichtlich des Hochwasserschutzes an (siehe Tab. 4-1).

Zur Umsetzung dieser Maßnahmen konnten nur drei von acht Befragten Angaben machen (siehe Abb. 4.1-8). Sie stimmten jedoch darin überein, dass diese Maßnahmen im Bereich Wasserwirtschaft in ihren jeweiligen Bundesländern „nicht diskutiert“ werden – weil diese Maßnahmen keine Verwaltungsaufgabe seien und keine Finanzen für sie zur Verfügung ständen. Demnach haben diese Befragten die Frage nach Versicherungen und Rücklagen als auf ihre eigene Verwaltung bezogen verstanden. Würde man auch das Vorhandensein von Versicherungen und Rücklagen bei Bürgern und Unternehmen einbeziehen, ergäbe sich ein höherer Umsetzungsgrad dieser Maßnahmen.

Weitere Maßnahmen

In der Befragung wurde auch nach weiteren Maßnahmen in der Wasserwirtschaft gefragt, die geeignet sind, den Risiken des Klimawandels vorzubeugen bzw. dessen Chancen zu nutzen. Die Befragten nennen hier die folgenden Maßnahmen, die zum Teil spezielle Formen der zuvor behandelten allgemeineren Anpassungsmaßnahmen sind: Sicherung ausgewogener Grundwasserbilanzen durch Wasserversorgungspläne (Dargebotssicherung), Siedlungswasserwirtschaft, Schaffung von Verbundsystemen der Wasserversorgung, Erweiterung der Wasserschutzgebiete zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung, weitere Nährstoffeintragsminimierung und die grenzüberschreitende Zusammenarbeit der Hochwassermelddienste.

Anpassung an den Klimawandel in den befragten Fachressorts

Nur drei von sieben Befragten, die aus den für die Wasserwirtschaft zuständigen Ressorts der Bundesländer stammen, geben an, dass innerhalb ihrer Verwaltungen eine Auseinandersetzung mit dem Thema „Anpassung an den Klimawandel“ stattfindet. Folgende konkrete Projekte und praktische Programme zur Anpassung an den Klimawandel werden benannt: in Sachsen die Steuerung TS (Festlegung Stauziele, Ansprechpartner LTV Sachsen), in Hessen das Projekt INKLIM 2012 und in Baden-Württemberg das Projekt KLIWA, an dem auch Bayern beteiligt ist (Schwerpunkte bislang: Anpassung an Hoch- und Niedrigwasser). Unklar ist, ob in den Bundesländern, aus denen keine Fragebögen zurückgesandt wurden, weitere Projekte bestehen. Auf die Frage nach der aktuellen Relevanz der Anpassungsthematik in ihrer Verwaltung im Vergleich zu anderen Themen antworten zwei Befragte mit „wichtig“, vier mit „etwas wichtig“ und eine Person mit „unwichtig“. In keiner Verwaltung nimmt das Thema momentan einen „sehr wichtigen“ Stellenwert ein. In den befragten Ressorts der meisten Bundesländer scheint demnach die Anpassung an den Klimawandel momentan nur eine geringe Bedeutung zu haben.

Anpassung in der Wasserwirtschaft: Zusammenfassung und Resümee

Vor dem Hintergrund der Befragungsergebnisse ist Folgendes festzustellen¹³: Zur Minderung verschiedener potenzieller Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels werden vor allem dem Wassersparen und dem naturnahen Ausbau von Fließgewässern besonders breite Wirkspektren zugeschrieben. Dabei gibt es keine Auswirkung des Klimawandels, der nach Einschätzung von mindestens einem Befragten nicht mit einer wirksamen Maßnahme begegnet werden könnte. Auffällig ist jedoch einerseits, dass hinsichtlich der Gefahr eines geringeren Wasserdargebotes nur wenige Befragte wirksame Gegenmaßnahmen wahrnehmen, andererseits, dass sich die Wirksamkeitseinschätzungen zwischen den verschiedenen Bundesländern und Experten zum Teil stark unterscheiden, was eventuell durch unterschiedliche Rahmenbedingungen in den Bundesländern erklärbar ist.

Die meisten Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel in der Wasserwirtschaft geeignet sind, werden im Mittel von den Befragten als „bereits partiell eingeführt“ bezeichnet. Jedoch bestehen hier sehr große Unterschiede zwischen den Bundesländern. Weiterhin sind die Maßnahmen, die als „bereits umgesetzt“ eingeschätzt werden, in der klaren Minderzahl und es ist zweifelhaft, ob die vorhandenen und geplanten Maßnahmen ausreichen, um den durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen in der Wasserwirtschaft zu begegnen; denn nach Aussage der Befragten war der Klimawandel bei fast keiner Maßnahme Mitgrund für ihre Einführung und in nur wenigen der für die Wasserwirtschaft zuständigen Länderressorts findet bisher eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel statt. So kann angenommen werden, dass die Auswirkungen des Klimawandels nicht oder nur kaum in die Maßnahmenplanung einbezogen worden waren und die Wasserwirtschaft in den meisten Bundesländern noch nicht an den Klimawandel angepasst ist.

Als Hindernisse der Maßnahmenumsetzung werden von den Befragten vor allem finanzielle Hürden genannt und die meisten Maßnahmen werden im Mittel als „aufwändig“ bewertet. Die Flächenvorsorge u. der naturnahe Ausbau von Fließgewässern (eine Maßnahme mit einem besonders breiten Wirkspektrum) werden sogar als „sehr aufwändig“ eingeschätzt.

Folglich kann für die Wasserwirtschaft in Deutschland resümiert werden, dass sie zur Anpassung an den Klimawandel auf vorhandenes Klimawissen und viele bereits vorhandene bzw. in der Umsetzung befindliche Maßnahmen aufbauen kann, sie aber offenbar den Klimawandel in ihren bisherigen Maßnahmen kaum berücksichtigt hat und zum momentanen Zeitpunkt wahrscheinlich nicht an dessen Auswirkungen angepasst ist. Wie umfangreich die Veränderungen der vorhandenen Maßnahmen sein müssen, damit sie auch den Herausforderungen des Klimawandels entsprechen, hängt von dem jeweiligen Einzelfall ab.

Allgemein sollte die Wasserwirtschaft jedoch die Fähigkeit haben, sich in Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen; denn ihr steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung, auch wenn diese zumeist als aufwändig bewertet werden.

¹³ Hinsichtlich der gefahrenübergreifenden Maßnahmen Versicherung und Rücklagenbildung können aufgrund fehlender Befragungsangaben keine Schlussfolgerungen gezogen werden.

Nur hinsichtlich der klimawandelbedingten Gefahr eines geringeren Wasserdargebotes scheint die Anpassungsfähigkeit eher gering zu sein; denn nur wenige Befragte sehen hier wirksame Gegenmaßnahmen, die zudem als aufwändig oder sehr aufwändig bewertet werden.

Da sich der Umsetzungsgrad bereits vorhandener Maßnahmen und die bisherige Auseinandersetzung mit der Anpassung an den Klimawandel von Bundesland zu Bundesland zum Teil stark unterscheiden, sollte die Chance des Erfahrungsaustausches zwischen den Bundesländern verstärkt genutzt werden.

4.1.8 Literatur

Bardossy, A., Bismuth, C., Bronstert, A., Buiteveld, H., Busch, N., Disse, M., Engel, H., Fritsch, U., Hundecha, Y., Lammersen, R., Niehoff, D., Ritter, N. (2003): LAHoR - Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. In: Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets - KHR.

Barth, E., Molnar, T., & Øverland, H. (2004): Simulation des Wasserhaushalts für das obere Maingebiet. In: Klimaveränderung und Konsequenz für die Wasserwirtschaft – 2. KLIWA-Symposium (Hrsg. Arbeitskreis KLIWA). Bayerisches Amt für Wasserwirtschaft, München.

BFG – Bundesanstalt für Gewässerkunde (2002): Das Augusthochwasser 2002 im Elbegebiet. BFG, Koblenz.

BGW – Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (2001): Wasserstatistik Haushaltswasserverbrauch.

BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2001): Umweltpolitik – Wasserwirtschaft in Deutschland. BMU, Berlin.

BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2002): Hochwasserschutz und Flutkatastrophen – BMU Hintergrundpapier. BMU, Berlin.

BMU - Bundesanstalt für Umwelt Naturschutz Und Reaktorsicherheit, (Eds.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Freiburg, Südbadische Mappenfabrik.

Bronstert, A. (1996): River flooding in Germany: influenced by climate change? Phys. Chem. Earth, 20, 445-450.

Caspary, H.J. (2004): Zunahme kritischer Wetterlagen als Ursache für die Entstehung extremer Hochwasser in Südwestdeutschland. Bericht zum KLIWA-Symposium 2004, <http://www.kliwa.de/de/ergebnisse/index.html>, 135-152.

Demuth, N. (2004): Niedrigwasser und Dürre - Eine Europäische Perspektive; Kurzbericht des Sekretariats für IHP (International Hydrological Programme of UNESCO) und HWRP (Hydrology and Water Resources Programme of WMO). BfG, Koblenz.

Dietrich, O. (2004): Spreewald - Das Integrationskonzept Spreewald und Ergebnisse zur Entwicklung des Wasserhaushalts. In: Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeinzugsgebiet - Schlussbericht zum Vorhaben GLOWA-Elbe I (Hrsg. F. Wechsung, A. Becker & P. Gräfe). Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

EEA – European Environment Agency (2001): Sustainable water use in Europe, Environmental issue report No. 21, Kopenhagen.

Eisenreich, S.J. (2005): Climate and the European water dimension. Joint Research Center - European Commission, Ispra.

Fricke, W. & Kaminiski, U. (2002): GAW Brief des Deutschen Wetterdienstes Nr. 12.

Gerlinger, K. (2004): Simulation des Wasserhaushalts in Neckareinzugsgebiet unter Verwendung regionaler Klimaszenarien. In: Klimaveränderung und Konsequenz für die Wasserwirtschaft – 2. KLIWA-Symposium (Hrsg. Arbeitskreis KLIWA). Bayerisches Amt für Wasserwirtschaft, München.

Grieser, J. & Beck, C. (2002): Klimatrends in Deutschland. In: Klimastatusbericht 2002 (Hrsg. DWD – Deutscher Wetterdienst). DWD, Offenbach.

Hattermann, F., Krysanova, V., Wechsung, F. (2004): Folgen von Klimawandel und Landnutzungsänderungen für den Landschaftswasserhaushalt und die landwirtschaftlichen Erträge im Gebiet der deutschen Elbe. In: Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeinzugsgebiet - Schlussbericht zum Vorhaben GLOWA-Elbe I (Hrsg. F. Wechsung, A. Becker & P. Gräfe). Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

IKSE – Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (1996): Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Elbe, Magdeburg.

Kaltofen, M., Koch, H., Schramm, M. (2004): Wasserwirtschaftliche Handlungsstrategien im Spreegebiet oberhalb Berlins. In: Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeeinzugsgebiet - Schlussbericht zum Vorhaben GLOWA-Elbe I (Hrsg. F. Wechsung, A. Becker & P. Gräfe). Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

Krahe, P., Eberle, M., Richter, K.-G., Wilke, K. (2004): Simulation des Wasserhaushalts für das Rheingebiet. In: Klimaveränderung und Konsequenz für die Wasserwirtschaft – 2. KLIWA-Symposium (Hrsg. Arbeitskreis KLIWA). Bayerisches Amt für Wasserwirtschaft, München.

Lozan, J.L., Meyer, S., Karbe, L. (2005): Lebenselixier Wasser - betrachtet aus der Sicht von Natur- und Gesellschaftswissenschaften. In: Warnsignal Klima - Genug Wasser für alle? (Hrsg. J.L. Lozan, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel & C.-D. Schönwiese). GEO, Hamburg.

Middlekoop, H. & Kwadijk, J.C.J. (2001): Towards integrated assessment of the implications of global change for water management - The Rhine Experience. *Phys. Chem. Earth*, 26, 553-560.

Milly, P.C.D., Wetherald, R.T., Dunne, K.A., Delworth, T.L. (2002): Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 415, 512-515.

Niehoff, D. (2002): Modellierung des Einflusses der Landnutzung auf die Hochwasserentstehung in der Mesoskala. Brandenburgische Umweltberichte Vol. 11. Universität Potsdam.

Palmer, T. & Räisänen, J. (2002): Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, 415, 512-514.

Schönwiese, C.-D. (2005): Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von klimatologischen Extremereignissen - UBA Studie, unveröffentlicht, Berlin.

Schröter, D., Acosta-Michlik, L., Arnell, A.W., Araújo, M.B., Badeck, F., Bakker, M., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T., Vega-Leinert, A.C.d.l., Erhard, M., Espíñeira, G.Z., Ewert, F., Fritsch, U., Friedlingstein, P., Glendining, M., Gracia, C.A., Hickler, T., House, J., Hulme, M., Klein, R.J.T., Krukenberg, B., Lavorel, S., Leemans, R., Lindner, M., Liski, J., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T., Mohren, F., Morales, P., Moreno, J.M., Reginster, I., Reidsma, P., Rounsevell, M., Pluimers, J., Prentice, I.C., Pussinen, A., Sánchez, A., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Werf, G.v.d., Vayreda, J., Wattenbach, M., Wilson, D.W., Woodward, F.I., Zaehle, S., Zierl, B., Zudin, S., Cramer, W. (2004): ATEAM – Final report. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam.

Statistisches Bundesamt (2005): Wasserentnahmen aus der Natur. Informationssystem DESTATIS, www.destatis.de.

UBA – Umweltbundesamt (2001): Daten zur Umwelt 2000, Berlin.

Wechsung, F. (2004): Herausforderungen des globalen Wandels für die Elbe-Region. In: Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbeeinzugsgebiet - Schlussbericht zum Vorhaben GLOWA-Elbe I (Hrsg. F. Wechsung, A. Becker & P. Gräfe). Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

4.1.9 Anhang

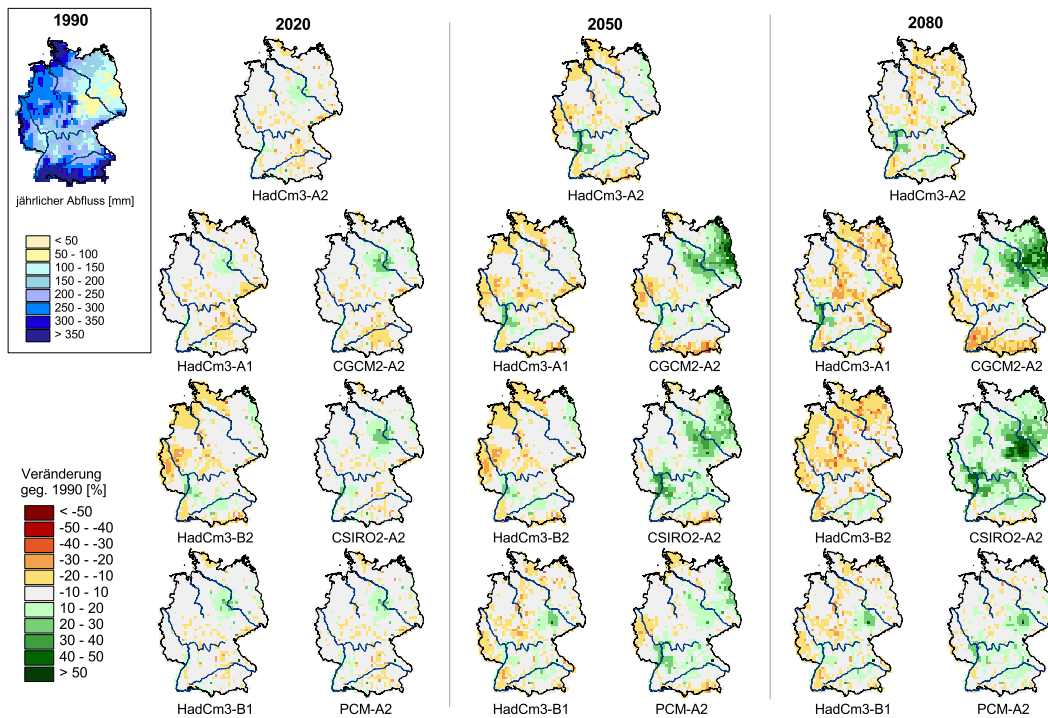


Abb. 4.1-9: Relative Veränderung im mittleren Jahresabfluss gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080

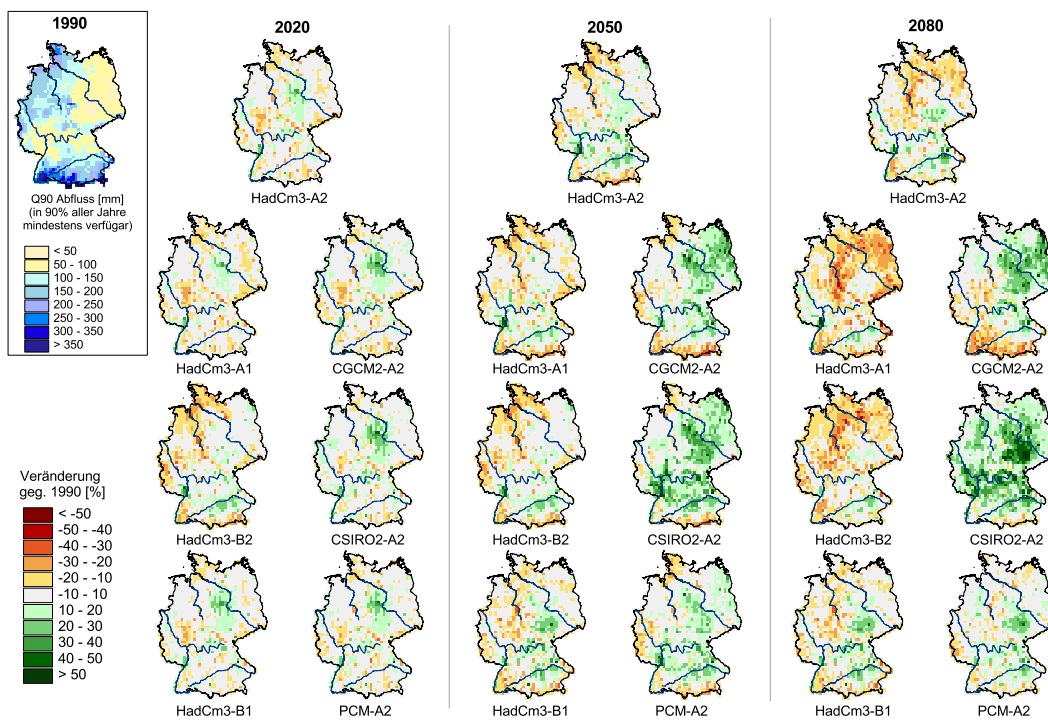


Abb. 4.1-10: Relative Veränderung im Mindestabfluss Q90 gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080. Q90 bezeichnet die Abflussmenge, die in neun von zehn Jahren erreicht wird.

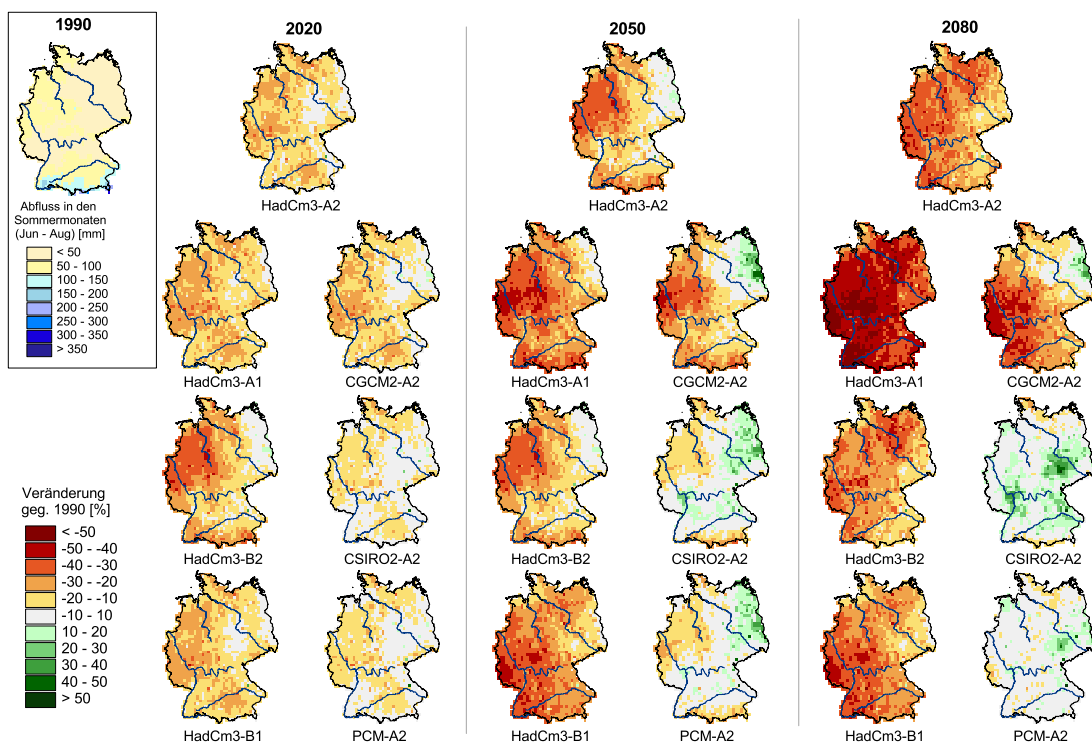


Abb. 4.1-11: Relative Veränderung im Sommerabfluss (Juni-August) gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080

4.2 Landwirtschaft

4.2.1 Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Landwirtschaft

Mögliche negative Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft in Deutschland betreffen Ertragseinbußen durch zu hohe Temperaturen und Einschränkungen in der Wasserversorgung. Die erwartete Zunahme der Klimavariabilität kann zu stärkeren Ertragsschwankungen führen und erschwert die Anpassung durch geeignete Sortenwahl. Allerdings ist bei einem moderaten Temperaturanstieg und bei ausreichender Wasserversorgung mit einer Erhöhung des Ertragspotenzials für viele Fruchtarten zu rechnen.

Vor allem in Regionen, die unter heutigen Bedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung eher zu kühl und/oder zu feucht sind, kann die Landwirtschaft möglicherweise von den Auswirkungen des Klimawandels profitieren (z.B. in Norddeutschland). Kritische Faktoren sind die erwartete Verminderung der Wasserverfügbarkeit durch eine Abnahme der Sommerniederschläge, besonders in Gebieten, die schon unter heutigen Bedingungen eine ungünstige Wasserbilanz aufweisen (v.a. Brandenburg), die Zunahme der Klimavariabilität (Schwankungen von Jahr zu Jahr), welche die Wahrscheinlichkeit von Ertragseinbußen erhöht und eine Anpassung erschwert (ganz Deutschland), die Zunahme von Witterungs- und Wetterextremen sowie eine langfristige Erwärmung über das Temperaturoptimum vieler Kulturpflanzen hinaus (v.a. Südwestdeutschland).

Bisher ist die Landwirtschaft in Deutschland nur in gewissem Umfang an die Folgen des Klimawandels angepasst. In den meisten Bundesländern hat sie offenbar den Klimawandel in ihren bisherigen Maßnahmen kaum berücksichtigt, und Maßnahmen, die grundsätzlich auch zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, sind zumeist noch nicht vollständig umgesetzt. Allerdings kann sich die Landwirtschaft relativ kurzfristig an veränderte Klima- und Wetterbedingungen anpassen und hat das in der Vergangenheit auch immer wieder getan. Folglich ist die Vulnerabilität der Landwirtschaft gegenüber dem Klimawandel ohne weitere Anpassungsmaßnahmen, die sich spezifisch auf den Klimawandel beziehen, als „mäßig“ zu bezeichnen (Ohne-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8). Nur in den von Dürren bedrohten Regionen Ostdeutschlands mit ihren oft armen Böden wird die aktuelle Vulnerabilität als „hoch“ eingestuft.

Die Landwirtschaft sollte jedoch über eine hohe Fähigkeit verfügen, in Zukunft auch solche Maßnahmen zu realisieren, die sich spezifisch auf den Klimawandel beziehen; denn ihr stehen wenig aufwändige und zugleich vielfältig wirksame Anpassungsoptionen zur Verfügung. Zur Erhöhung einer Anpassung an möglichst viele, mit Unsicherheit behaftete Auswirkungen des Klimawandels wird vor allem dem Anbau angepasster Sorten und neuen, angepassten Anbauverfahren zur Bodenschonung und Wassereinsparung eine breite Wirksamkeit zugeschrieben. Auch der Anbau neuer Fruchtarten und angepasste Bewässerungsverfahren werden als vielfältig wirksam eingeschätzt. Für den Anbau neuer Fruchtarten bedarf es aber v.a. wissensbezogener, zur Umsetzung von Bewässerungsverfahren v.a. finanzieller Unterstützung. Entscheidend für die Anpassungsfähigkeit der Landwirtschaft wird auch der ökonomische Druck sein. In dieser Hinsicht benötigt die Anpassung von kleineren landwirtschaftlichen Betrieben und in den Ungunstgebieten Ostdeutschlands besonderer Unterstützung. Werden die genannten Anpassungsmaßnahmen realisiert, ist eine Reduktion auf eine „geringe“ Vulnerabilität der Landwirtschaft gegenüber dem Klimawandel zu erwarten (Mit-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8).

4.2.2 Landwirtschaft und Klima

Die Landwirtschaft stellt die unmittelbare Versorgung der Gesellschaft mit Lebensmitteln und Rohstoffen sicher und trägt durch die Landschaftspflege zum Erhalt der Kulturlandschaft bei. Sie hat somit starken Einfluss auf versorgende wie kulturelle Ökosystemfunktionen. Landwirtschaft ist die Landnutzung mit dem größten Flächenanspruch in Deutschland. Entsprechend beeinflusst sie alle wichtige Größen des Landschaftshaushalts und verschiedene Ökosystemfunktionen. So wird z.B. der Landschaftswasserhaushalt durch Be- und Entwässerung

in der Landwirtschaft und den Wasserverbrauch landwirtschaftlicher Kulturen geprägt. Durch die Einbringung von Stickstoff, Phosphor und Pestiziden wird die Wasserqualität beeinträchtigt. Die Artenvielfalt wird maßgeblich durch die Schaffung, Veränderung, Fragmentierung und Zerstörung von Habitaten sowie durch den Erhalt oder Verlust alter Kulturarten bestimmt. Schließlich trägt die Landwirtschaft auch erheblich zum Landschaftsbild und somit zum Erholungspotenzial einer Region bei.

Landwirtschaft ist eng mit Klima, Witterung und Wetter verbunden. Die klimatischen Bedingungen bestimmen zum großen Teil das Artenspektrum möglicher Ackerfrüchte und das Ertragspotenzial einzelner Arten. Der Verlauf der Witterung entscheidet über Variationen im Aussaat- und Erntetermin und die Höhe der Erträge. Wetterextreme, wie Hagel oder Starkniederschläge, aber auch Dürren und Hitzeextreme, können Ackerkulturen schädigen und die Ernte gefährden.

Im Folgenden soll kurz die generelle Wirkung von Klimafaktoren auf das Pflanzenwachstum und die Pflanzentwicklung dargestellt werden.

Temperatur

Die Temperatur steuert grundlegend die Phänologie (Zeitpunkt des Eintretens verschiedener Wachstums- und Entwicklungsphasen) und beeinflusst wesentliche Stoffwechselvorgänge.

Steigende Temperaturen führen zu einer Verfrühung phänologischer Phasen und einer Verlängerung der Vegetationsperiode. Davon profitieren mehrjährige Kulturen, die auch nach Erreichen der Reifephase weiter wachsen können (Zuckerrübe, Grünland) und Pflanzen mit langen Reifephasen (bestimmte Maissorten, Hirse). Andererseits zeigen viele Getreidearten durch das beschleunigte Durchlaufen der Wachstumsphasen eine Verkürzung der Kornfüllungsphase um bis zu 10% bei 1°C Temperaturanstieg. Das kann zu einer Reduzierung der Erträge führen (Weigel, 2004; van Ojen & Ewert, 1999). Auch für Wintergetreide, das gewisse Minimumtemperaturen im Winter für ihre Entwicklung benötigt (Vernalisation), kann eine Temperaturerhöhung negative Auswirkungen auf die Entwicklung und die Erträge haben. Zudem bringt eine frühere Entwicklung die Gefahr der Schädigung durch Spätfröste mit sich.

Generell erhöhen steigende Temperaturen bis zu einem fruchtartenspezifischen Temperaturoptimum die Photosyntheseleistung und andere Stoffwechselvorgänge. Wärmeliebende Fruchtarten, die dieses Optimum unter herrschenden Bedingungen noch nicht erreicht haben (wie z.B. Mais), können demnach durch eine moderate Temperaturerhöhung höhere Erträge erzielen. Zudem verringert sich durch höhere Wintertemperaturen die Gefahr von Frostschäden. Wird das Optimum jedoch überschritten, gehen die Erträge bei allen Fruchtarten zurück. Bei extremen Temperaturen können Pflanzen dauerhaft geschädigt werden.

Kohlendioxid - CO₂

CO₂ ist ein wichtiges Element für die Photosynthese der Pflanzen. Für sog. C₃-Pflanzen, zu denen die meisten in Deutschland angebauten Fruchtarten gehören, ist der CO₂-Gehalt der Luft unter aktuellen Bedingungen suboptimal und stellt einen limitierenden Wachstumsfaktor dar. Eine Erhöhung der CO₂-Konzentration bringt deshalb für C₃-Pflanzen eine Steigerung der Photosyntheserate und damit eine Steigerung der Erträge mit sich („CO₂-Düngeeffekt“; Pinter et al., 1996; Kimball et al., 1993). In Feldexperimenten wurde bei einer Verdoppelung der CO₂-Konzentration eine Steigerung der Weizenerträge um bis zu 28% beobachtet (Downing et al., 2000). In Deutschland ergaben Feldexperimente für Wintergerste, Zuckerrübe und Winterweizen Ertragszunahmen um 8-15% (Manderscheid et al., 2003a; Manderscheid et al., 2003b). Ob dieses erhöhte Ertragspotenzial auch langfristig erreicht werden kann oder ob ein gewisser „Gewöhnungseffekt“ eintritt, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht geklärt. Für C₄-Pflanzen (Mais, Hirse) ergeben sich hingegen kaum Ertragsgewinne, da diese CO₂ effektiver nutzen können und deshalb schon unter heutigen Bedingungen eine optimale CO₂-Versorgung erhalten.

Ein wichtiger Effekt einer erhöhten CO₂-Konzentration ist auch die Verringerung des Wasserverbrauchs pro Einheit erzeugter Biomasse (verbesserte Wassernutzungseffizienz). Weitere Effekte einer erhöhten CO₂-Konzentration sind u.a. eine Erhöhung des Kohlenhydratgehalts in Blättern und Früchten, verbunden mit einer Verringerung des Proteingehalts, sowie eine

verstärkte Verlagerung von Kohlenstoff in die Wurzeln. Bei der Verwendung als Futtermittel oder Lebensmittel stellt ein verminderter Proteingehalt von landwirtschaftlichen Produkten in vielen Fällen eine Qualitätsminderung dar (z.B. verringerte Backqualität bei Weizen).

Wasser

Wasser ist ebenfalls ein wichtiges Element der Photosynthese und anderer Stoffwechselvorgänge. Die Pflanze verliert während der CO_2 -Aufnahme Wasser durch Verdunstung (Transpiration). Die Höhe dieser Transpiration hängt von der Photosyntheserate, der Temperatur und anderen klimatischen Größen, wie dem Dampfdruck und der Windgeschwindigkeit, ab. Das verdunstende Wasser hat einen kühlenden Effekt und schützt die Pflanze vor Schäden durch zu große Hitze. Wenn weniger Wasser zu Verfügung steht, als die Pflanze benötigt, kommt es zu Wasserstress. Die Pflanze schließt ihre Spaltöffnungen und die Photosyntheserate wird stark reduziert. Eine länger andauernde Unterversorgung mit Wasser führt daher zu Ertragseinbußen. Bei extremer Trockenheit kommt es zu bleibenden Trockenschäden an Feinwurzeln und anderen Pflanzenteilen. Zuviel Wasser kann andererseits zu Schäden an den Wurzeln durch Sauerstoffmangel führen.

Interaktion von Temperatur, CO_2 und Wasser

Wie landwirtschaftliche Kulturen auf den Klimawandel reagieren, hängt von der Wechselwirkung der beschriebenen Einzelfaktoren ab. Der erhöhte CO_2 -Gehalt bringt bis zu einem gewissen Grad potenziell eine Ertragssteigerung mit sich, steigende Temperaturen haben positive wie negative Effekte. Als entscheidender Faktor erweist sich eine ausreichende Wasserversorgung. Steht genug Wasser zur Verfügung, werden die meisten Kulturen vom Klimawandel eher profitieren. Ist das Wasser knapp, ist mit Ertragsrückgängen zu rechnen (Olesen & Bindi, 2002).

Landwirtschaft und Klimaschutz

Methan(CH_4)- und Stickoxid(N_2O)-Emissionen, aber auch Kohlendioxidemissionen aus organischen Böden machen die Landwirtschaft zu einer potenziellen Quelle von Treibhausgasen und damit zu einem Mitverursacher des Klimawandels. Die deutsche Landwirtschaft trägt aktuell 8,7% zur Treibhausgasemission Deutschlands bei (UBA, 2005). Hinzu kommen die bisher nicht quantifizierten Kohlendioxidemissionen durch Mineralisierung von im Boden gebundenen Kohlenstoff, z.B. als Folge der Entwässerung von Niedermooren. Andererseits kann die Landwirtschaft, z.B. durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe, zum Klimaschutz beitragen.

4.2.3 Ausgangssituation: Landwirtschaft in Deutschland

Deutschland ist nach Frankreich und Italien der drittgrößte Agrarproduzent in der Europäischen Union. Im Jahr 2004 bestanden in Deutschland ca. 372400 landwirtschaftliche Betriebe. Schätzungsweise 1,27 Millionen Arbeitskräfte waren im Jahr 2004 haupt- oder nebenberuflich in der deutschen Landwirtschaft tätig (Bundesregierung, 2005). Der Anteil der Landwirtschaft am Bruttosozialprodukt beträgt allerdings nur ca. 1% (Statistisches Bundesamt, 2005b).

53% der Fläche Deutschlands werden landwirtschaftlich bewirtschaftet. Davon entfallen 29% auf Grünland und 69% auf Ackerland. Hauptanbauprodukte innerhalb der Ackerfläche sind Weizen als Brotgetreide und Gerste als Futter- und Industriegetreide sowie andere Futterpflanzen (Klee, Lupine etc.) (Abb. 4.2-1). 4% der landwirtschaftlich genutzten Fläche werden ökologisch bewirtschaftet (Statistisches Bundesamt, 2005a). Der Anteil nachwachsender Rohstoffe an der Anbaufläche betrug im Jahr 2004 ca. 6% und hat sich seit 1998 mehr als verdoppelt (Bundesregierung, 2005).

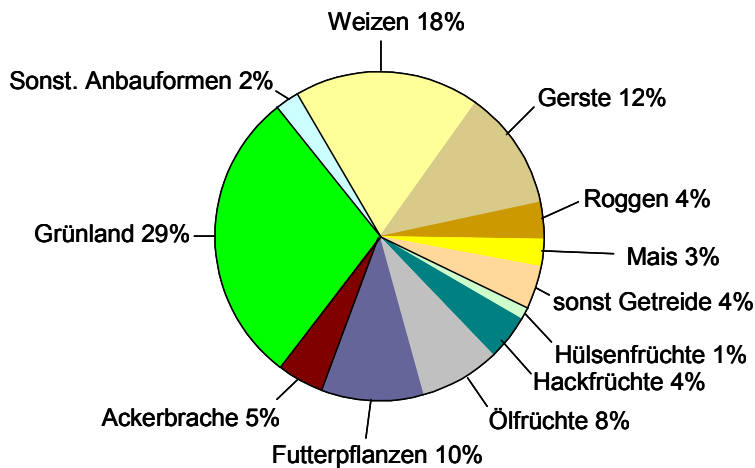


Abb. 4.2-1: Aufteilung der landwirtschaftlich genutzten Fläche nach Anbauformen (Statistisches Bundesamt, 2005b).

Die Eignung für landwirtschaftliche Nutzung ist in Deutschland unterschiedlich verteilt (Abb. 4.2-2). In weiten Teilen Deutschlands herrschen mittlere bis gute Eignungen vor. Die geringste Eignung findet sich auf den sandigen und armen Böden in Brandenburg und den nordwestdeutschen Geestlandschaften. Die höchste Eignung, und damit auch das höchste Ertragspotenzial, weisen die Lößböden der Magdeburger und der niedersächsischen Börde sowie die Böden im Oberrheingraben auf. Die klimatischen Voraussetzungen für die landwirtschaftliche Nutzung sind in weiten Teilen Deutschlands (mit Ausnahme der Mittelgebirge und der Alpen) als sehr gut einzuschätzen. Im Norden bringen niedrige Durchschnittstemperaturen und eine kürzere Vegetationszeit gewisse Limitationen mit sich, im äußersten Osten Deutschlands wirken teilweise die sehr geringen Niederschläge einschränkend.

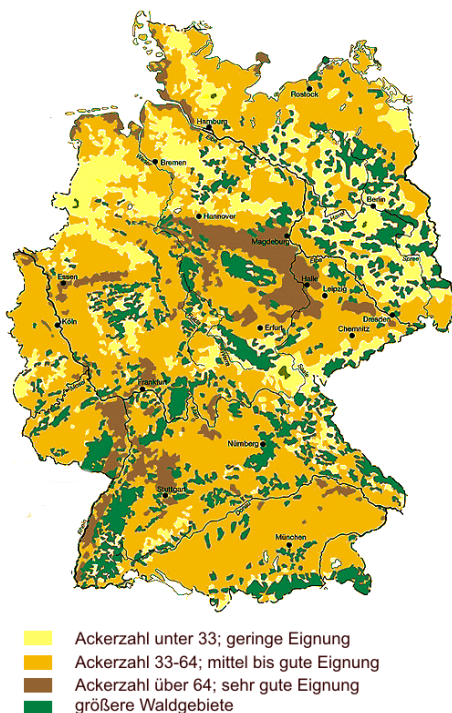


Abb. 4.2-2: Eignung für landwirtschaftliche Nutzung in Deutschland (Liedtke & Marcinek, 2002, verändert).

Agrarreform und ökonomischer Druck

Der deutsche Agrarsektor steht unter Druck. Die Reduzierung bzw. Abschaffung von Marktstützungsmaßnahmen, die zunehmende Globalisierung, die EU-Osterweiterung und die Preisliberalisierung im Zuge der EU-Agrarreform (1992) und der Agenda 2000 (1999) sind für die Bauern mit erheblichen Marktrisiken verbunden. Diese Entwicklungen haben einen heftigen Wettbewerb und einen Preisverfall ausgelöst, der zu einer Destabilisierung der Einkommen in der Landwirtschaft geführt hat (Ortlof, 1998). Dieser Druck führte in den letzten Jahrzehnten bereits zu einer deutlichen Reduzierung der Anzahl der Betriebe um durchschnittlich 3% pro Jahr, während die Betriebsgrößen kontinuierlich wachsen (Bundesregierung, 2005).

Erträge und Klimawandel, Auswirkungen der Hitzewelle 2003

In den letzten 50 Jahren stiegen die Erträge für alle landwirtschaftlichen Kulturen in Deutschland beständig an und haben sich seit 1950 mehr als verdreifacht (Abb. 4.2-3). Diese weltweit zu beobachtende Entwicklung ist überwiegend auf den technischen Fortschritt zurückzuführen (Hafner, 2003). Das umfasst Fortschritte bei der Entwicklung von neuem Saatgut, Verbesserung im Pflanzenschutz, neue und verbesserte Aussaat-, Pflege- und Erntetechnik und verstärkte Düngung. Ob und in welchem Ausmaß der Klimawandel zu dieser Entwicklung beigetragen hat, ist bisher nicht quantifizierbar. Vermutlich ist der Beitrag aber gering.

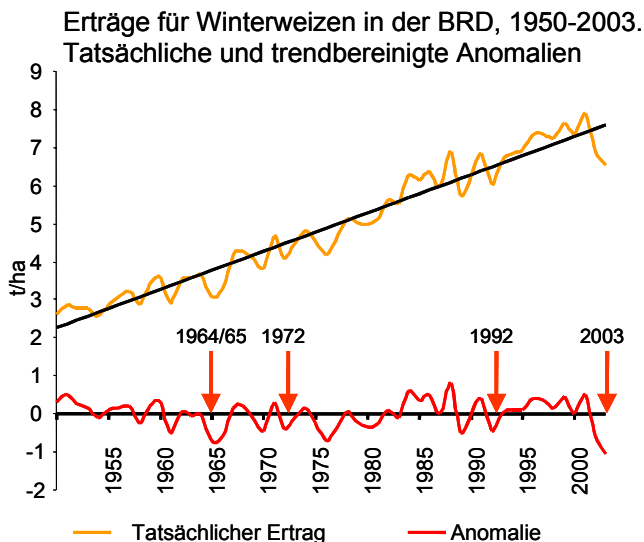


Abb. 4.2-3: Erträge für Winterweizen in Deutschland 1950 bis 2003. Die obere gelbe Linie zeigt die tatsächlichen Erträge, die obere schwarze Linie den Trend. Die untere Linie zeigt die Abweichung vom Erwartungswert. Hervorgehoben sind Trockenjahre, die deutliche Ertragseinbußen mit sich brachten (Sterzel, 2004).

Ein anderes Bild ergibt sich bei Betrachtung der Unterschiede der Erträge zwischen den Jahren. Hier zeigt sich, dass Klimaschwankungen, insbesondere Klimaextreme mit langen Trockenperioden, wie z.B. in den Jahren 1964/65, 1972, 1992 oder 2003, immer wieder zu deutlichen Ertragseinbußen führten (Abb. 4.2-3). In Deutschland war der heiße und trockene Sommer 2003 das Jahr mit den stärksten Ertragseinbußen in der Geschichte der Bundesrepublik (Sterzel, 2004). Deutschlandweit lagen die Hektarerträge um ca. 12% unter dem mehrjährigen Mittel. Regional waren die Schäden sehr unterschiedlich verteilt. Während Schleswig-Holstein mit seinem sonst eher kühlen und niederschlagsreichen Klima im warmen und trockenen Jahr 2003 sogar von einem Ertragsanstieg um 7,9% profitierte, wurden in dem am stärksten betroffenen Bundesland Brandenburg Ertragseinbußen von 40% gegenüber dem mehrjährigen Mittel verzeichnet (BMVEL, 2003). Als Folge der Einbußen meldeten die Länder rund 12600 existenzgefährdete Betriebe und Schäden in Höhe von rund 600 Mio. € (Bundesregierung, 2004).

Die Ereignisse in 2003 sind insofern aufschlussreich für die Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels, als davon ausgegangen wird, dass aufgrund der globalen Erwärmung und der Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter die Wahrscheinlichkeit von heißen trockenen Perioden bereits messbar zugenommen hat und sich in Zukunft deutlich erhöhen wird (Schönwiese, 2005). Manche Autoren sehen in dem Jahr 2003 sogar einen Stellvertreter für das Klima, das uns in 50-100 Jahren erwartet (z.B. Beniston, 2004). Es hat sich in diesem Jahr auch gezeigt, wie entscheidend die standörtlichen Voraussetzungen für die Anfälligkeit gegenüber Klimaextremen sind. Besonders betroffen von Ertragseinbußen waren Gebiete, die eine geringe Eignung für landwirtschaftliche Nutzung aufweisen, z.B. aufgrund von armen Böden mit einer geringen Wasserrückhaltekapazität (sandige Böden), einer ungünstigen klimatischen Wasserbilanz (siehe Kap. 4.1 Wasser) und/oder hohen Sommertemperaturen (siehe Kap. 3 Klima). Das betrifft vor allem das Bundesland Brandenburg, Teile Sachsens, sowie Teile Südwestdeutschlands.

Aber auch andere Klima- und Wetterextreme, wie Hagel-, Starkregen- und Hochwasserereignisse, führten in der Vergangenheit zu erheblichen Schäden. So wurden z.B. als Folge des Hochwassers an Elbe und Donau Schäden in landwirtschaftlichen Betrieben von rd. 200 Mio. € und Schäden an der ländlichen Infrastruktur (einschließlich Deichen) von rd. 1,9 Mrd. € mit Schwerpunkt in Sachsen und Sachsen-Anhalt gemeldet (Bundesregierung, 2004).

Eine schon zu beobachtende Auswirkung des Klimawandels in Deutschland ist die veränderte Phänologie von Ackerkulturen aufgrund der verlängerten Vegetationszeit. So hat sich z.B. das Ährenschieben des Winterroggens in Deutschland seit 1960 um ca. 7 Tage verfrüht (DWD, 2004).

4.2.4 Auswirkungen des Klimawandels – Trends und Projektionen

Auswirkungen des Klimawandels auf das Ertragspotenzial

Studien über die Auswirkungen des Klimawandels in Europa gehen potenziell von einer Steigerung des Ertrages aus. So wird z.B. in Mitteleuropa mit einer Erhöhung der Weizenenerträge um 1-3t/ha bis 2050 gerechnet (Harrison et al., 2003; IPCC, 2001). Die Bedeutung der Wasserversorgung und die Gefahr von Ertragseinbußen durch Trockenstress wird in diesen Studien allerdings noch wenig berücksichtigt. Für Deutschland existieren zur Zeit noch keine genaueren flächendeckenden Szenarien.

Genauere Szenarien, die auch die Thematik einer möglicherweise unzureichenden Wasserversorgung berücksichtigen, liegen z.B. für das deutsche Elbeinzugsgebiet vor. Hier ergaben Modellrechnungen – unter der Annahme eines Temperaturanstiegs um 1,4°C und eines Rückgangs der Jahresniederschläge um 10% bis zum Jahr 2055 – Ertragsrückgänge bei Weizen, Roggen und Gerste zwischen 9% und 14%. Ursache ist v.a. die zu geringe Wasserverfügbarkeit im Sommer. Nur Mais, der als wärmeliebende Pflanze von einem Temperaturanstieg profitiert und eine gute Wassernutzungseffizienz aufweist, zeigt nach diesen Szenarien keine Einschränkungen bzw. reagiert in Gegenden mit guter Wasserversorgung regional mit einer Ertragssteigerung (Wechsung et al., 2004).

Für Baden-Württemberg liegen Ergebnisse aus dem Projekt KLARA vor (PIK, 2005). Auch hier wird bis 2055 unter der Annahme eines Rückgangs der Sommerniederschläge mit einem Rückgang der Erträge bei Weizen um 14% gerechnet. Als nachteilig erweisen sich neben der zu geringen Wasserversorgung auch die negativen Auswirkungen der Temperaturerhöhung (Verkürzung der Kornfüllungsphase). Wie auch im Elbeinzugsgebiet zeigt sich Mais wenig sensitiv gegenüber dem Klimawandel bzw. profitiert eher leicht.

Neben den langfristigen Klimatrends spielen für die Landwirtschaft die Klimaschwankungen von Jahr zu Jahr (interannuelle Variabilität) und Klimaextreme eine große Rolle. Möglicherweise geht von diesen Klimaschwankungen sogar die größere Gefahr für die Landwirtschaft aus. Ergebnisse von regionalen Klimamodellen deuten daraufhin, dass die interannuelle Variabilität von Temperatur und Niederschlag in Europa in Zukunft, besonders im Sommer, deutlich zunehmen wird (Schär et al., 2004; Giorgi et al., 2004). Klimaschwankungen erschweren eine Anpassung und haben in der Vergangenheit immer wieder zu Ertragseinbußen geführt.

Von besonderer Bedeutung ist hier die Zunahme der Wahrscheinlichkeit von Hitzeextremen und Trockenperioden, die sich schon allein aus der Erwärmung und der Verschiebung der Niederschläge in den Winter ergibt. Auch eine Zunahme anderer Klima- und Wetterextreme (Hagel, Starkregen) ist möglich, wenn auch hier noch keine gesicherten Ergebnisse vorliegen.

Eine Sonderposition nimmt der Weinbau ein, denn hier spielen weniger die Quantität als die Qualität der Ernte eine Rolle. Der Faktor Temperatur beeinflusst maßgeblich den Zuckergehalt der Trauben und die Auswahl von Rebsorten. Untersuchungen für ausgewählte Standorte zeigen, dass sich die Weinanbaugebiete in Deutschland nach Norden verlagern und höherwertige Rebsorten angebaut werden könnten. Nach einer Studie (Stock et al., 2004) wäre z.B. bis 2045 im Rheingau der Anbau von Cabernet Sauvignon und in Potsdam der Anbau von hochwertigem Riesling oder Chardonnay möglich.

Weitere Auswirkungen des Klimawandels

Mit der zu erwartenden Temperaturerhöhung wird eine weitere Verfrühung und Beschleunigung der phänologischen Phasen einhergehen. Dadurch können Aussaat- und Erntetermine nach vorne verlagert werden und die Erntesicherheit von Ackerkulturen mit langen Entwicklungsphasen wie z.B. Mais und Hirse wächst. Andererseits kann das schnellere Durchlaufen der phänologischen Phasen auch Ertragsminderungen mit sich bringen.

Außerdem wird eine Verschiebung des Fruchtartenspektrums nach Norden und in größere Höhen erwartet. Während die nördlichen Länder wie Skandinavien stark davon profitieren werden, wird für Deutschland nur mit geringfügigen Änderungen gerechnet. Bei einer Untersuchung der Anbaueignung von 27 Fruchtarten, die potenziell als nachwachsende Rohstoffe geeignet wären (darunter auch die gängigen Getreidearten) ergab sich für Deutschland tendenziell eher ein leichter Rückgang des geeigneten Artenspektrums (Abb. 4.2-4; Veränderung +8 bis -17%). Einerseits wird nach diesen Ergebnissen bis 2080 der Anbau neuer Fruchtarten, wie z.B. Soja, in Teilen Deutschlands (Südwestdeutschland) möglich, andererseits verringert sich die Eignung für klassische Anbauprodukte wie Roggen, Hafer und Kartoffeln.

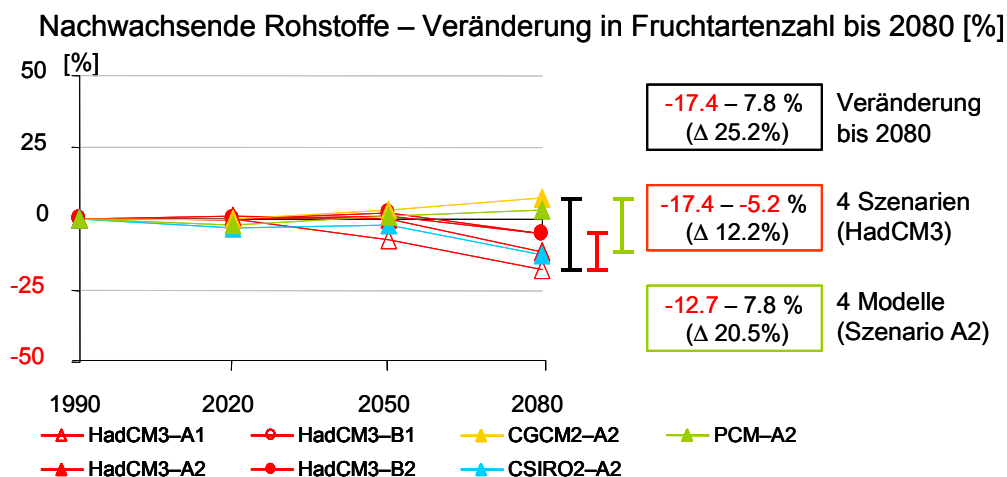


Abb. 4.2-4: Veränderung in der Anzahl geeigneter Fruchtarten, die als nachwachsende Rohstoffe genutzt werden können. Ergebnisse für alle sieben ATEAM Szenarien (siehe Kap. 2).

Als ein weiterer Effekt der Temperaturerhöhung wird mit einem Rückgang der Kohlenstoffvorräte im Boden in Folge einer beschleunigten Zersetzung und Mineralisierung organischer Substanzen in Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung gerechnet. Dieser Rückgang bewirkt einen Verlust an Bodenfruchtbarkeit und trägt außerdem durch Emission von Kohlenstoff zum Treibhauseffekt bei. Ergebnisse des Projektes ATEAM (siehe Kap. 2) haben ergeben, dass in Europa allein aufgrund der Temperaturerhöhung mit einem Rückgang des Bodenkohlenstoffs um 20-30% bis zum Jahr 2100 gerechnet werden muss. Berücksichtigt man noch

die Änderungen in der Produktivität landwirtschaftlicher Kulturen in Folge der Klimaänderungen sowie zu erwartende Landnutzungsänderungen, ist ein Rückgang der Kohlenstoffvorräte im Boden um 40-60% möglich (Smith et al. in Schröter et al., 2004).

Eine indirekte Gefahr für die Landwirtschaft geht von der im Zuge des Klimawandels möglicherweise verstärkten Ausbreitung von Pflanzenschädlingen und Pflanzenkrankheiten sowie der Einwanderung neuer Schädlingsarten aus (Olesen & Bindi, 2002). Viele Schädlingsarten profitieren generell von höheren Temperaturen, insbesondere von höheren Wintertemperaturen. Infolge dessen kann ein Schädlingsbefall bereits früher im Jahr auftreten, Schädlinge können mehr Individuen und mehr Generation pro Jahr ausbilden. Pilzerkrankungen werden nur bei warmer und gleichzeitig feuchter Witterung zunehmen. Exemplarische Ergebnisse zu diesem Problem liegen aus dem Projekt KLARA für Schädlinge und Krankheiten von Apfelmulturen vor. Danach führt in der Bodenseeregion ein wärmeres und leicht feuchteres Klima bis 2055 zu einem höheren Schaderregerdruck im Apfelanbau durch Apfelwickler und Apfelschorf (PIK, 2005)

Weitere mögliche Auswirkungen des Klimawandels umfassen eine sinkende Qualität der Ernte, v.a. durch sinkenden Proteingehalt (IPCC, 2001), Schädigung von Ackerkulturen durch höhere Ozonkonzentrationen (Welling, 2000) und eine erhöhte (Wind-) Erosionsgefahr durch trockenere Böden (Olesen & Bindi, 2002).

Der direkte Einfluss des Klimawandels auf die Tierproduktion ist bisher wenig untersucht. Indirekt hängt die Tierproduktion allerdings stark von der Pflanzenproduktion ab, da ein großer Teil der Anbaufläche der Futterproduktion dient.

Auswirkungen der Agrarreform und der veränderten Marktbedingungen

Neben dem Klimawandel werden die Veränderungen in den sozioökonomischen Rahmenbedingungen entscheidend für die Zukunft der Landwirtschaft in Deutschland sein. Als eine Folge der Agrarreformen, der Marktliberalisierung und des Verfalls der Weltmarktpreise für viele landwirtschaftliche Produkte wird mit einer Polarisierung von Agrarlandschaften in Gebiete mit guten Anbaubedingungen einerseits und Flächen, die sich unter veränderten Marktbedingungen nicht mehr ökonomisch rentabel bewirtschaften lassen, andererseits gerechnet. Die Folgen werden kontrovers diskutiert, doch gehen die meisten Experten von einem Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Fläche, vor allem in Ungunstgebieten aus. Der Anteil der Stilllegungsfläche in Deutschland könnte um bis zu 40% zunehmen, die Anbaufläche für Getreide um 12-25% abnehmen und Grünländer großflächig extensiviert werden (Kleinhanß et al., 2003).

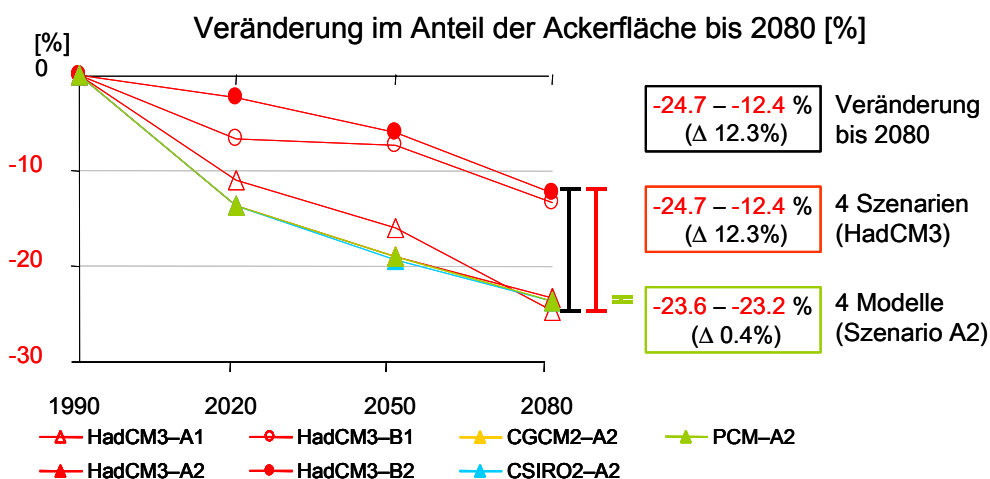


Abb. 4.2-5: Relative Veränderung im Anteil der Ackerfläche gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

Für das Elbeinzugsgebiet liegen Szenarien vor, die unter den Annahmen einer weiteren Liberalisierung von einem Rückgang der Ackerfläche um bis zu 34%, auf den Ungunststandorten in Ostdeutschland regional sogar bis zu 60% ausgehen (Wechsung et al., 2004). Ähnliche Projektionen liegen für Deutschland aus dem ATEAM-Projekt vor (Kap. 2; Schröter et al., 2004). Danach wird je nach Szenario mit einem Rückgang der Ackerfläche bis 2080 um 12% bis 25% gerechnet (Abb. 4.2-5). Auch hier sind die Ursachen des Rückgangs überwiegend auf die Veränderungen in den sozioökonomischen Rahmenbedingungen zurückzuführen. Die Auswirkungen des Klimawandels sind unter diesem Aspekt nur ein zusätzlicher Stressor auf ein schon stark unter Druck stehendes System.

4.2.5 Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten

Wie in Kap. 2.6 beschrieben, wurden in verschiedenen klimasensitiven Bereichen Deutschlands Expertenbefragungen durchgeführt – auch im Landwirtschaftssektor. Bereichsspezifische Bewertungen der potenziellen Elemente und Auswirkungen des Klimawandels liegen für verschiedene Naturräume (siehe Kap. 2.6) aus den folgenden sechs Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Thüringen, Sachsen und Hessen. Negative Einschätzungen werden als Risikobewertungen, positive Einschätzungen als Chancenbewertungen interpretiert. Die Ergebnisse der Befragung sind in Abb. 4.2-6 grafisch dargestellt. Aufgrund des geringen Rücklaufs der Fragebögen und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Bewertungen nur als sehr vorläufige Abschätzungen angesehen werden. Andererseits gründen mehr als die Hälfte der Befragten ihre Einschätzungen auf Studien über vergangene und zukünftige Klimaentwicklungen in ihren Bundesländern, zwei Befragte kennen auch Studien über die Auswirkungen des Klimawandels für die Landwirtschaft.

Gesamteinschätzung des Klimawandels

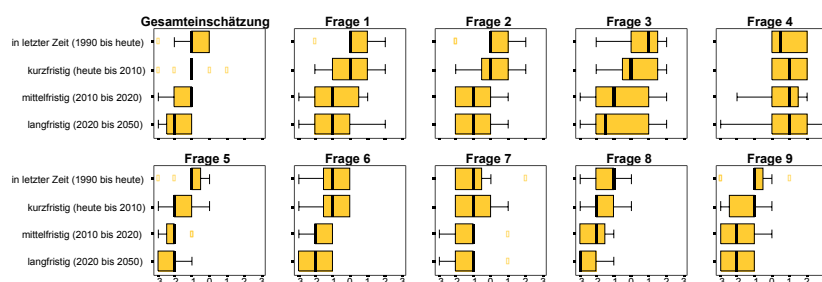
Die Bedeutung des Klimawandels für die Landwirtschaft bewerten die Befragten gemittelt über alle Naturräume und Bundesländer in letzter Zeit (1990 bis heute) als „etwas negativ“. Dabei variieren die einzelnen Einschätzungen für bestimmte Naturräume und Bundesländer von „negativ“ bis „weder positiv noch negativ“. Kurzfristig (heute bis 2010) und mittelfristig (2010 bis 2020) fällt die Bewertung durchschnittlich ebenso „etwas negativ“, langfristig (2020 bis 2050) jedoch „negativ“ aus. Es fällt auf, dass sich – trotz bestehender Chancen des Klimawandels für die Landwirtschaft – die Gesamteinschätzungen des Klimawandels für fast alle betrachteten Naturräume und Bundesländer im negativen Bereich bewegen und sich diese Negativbewertung in der Zukunft immer weiter verstärkt.

Risikobewertungen

Zwei potenzielle *Elemente des Klimawandels* werden von den Befragten bereits kurzfristig im Mittel als „negativ“ eingeschätzt: die potenzielle Abnahme der Jahresniederschläge¹⁴ und die potenzielle Zunahme von heißen Tagen und Hitzewellen. Kurzfristig als „etwas negativ“ werden stärkere Schwankungen der Niederschläge, weniger Frosttage und mehr Starkniederschläge bewertet. Mittelfristig und langfristig verstärken sich diese Negativbewertungen zu meist. Interessant sind die Antwortmuster bei den steigenden Jahresmittel-, Winter- und Sommertemperaturen. Wurden sie in der Vergangenheit für einige Naturräume und Bundesländer noch positiv bewertet, werden sie im Mittel kurzfristig neutral, mittel- und langfristig aber negativ bewertet. Jedoch zeigen sich in den Bewertungen dieser Temperaturveränderungen je nach bewertetem Naturraum oft extreme Unterschiede von „sehr negativ“ bis „positiv“.

¹⁴ Nach momentanem Wissenstand erscheinen je nach Region sowohl die Zu- als auch die Abnahme der Jahresniederschläge möglich. Daher wurden beide Optionen den Befragten zur Bewertung vorgelegt.

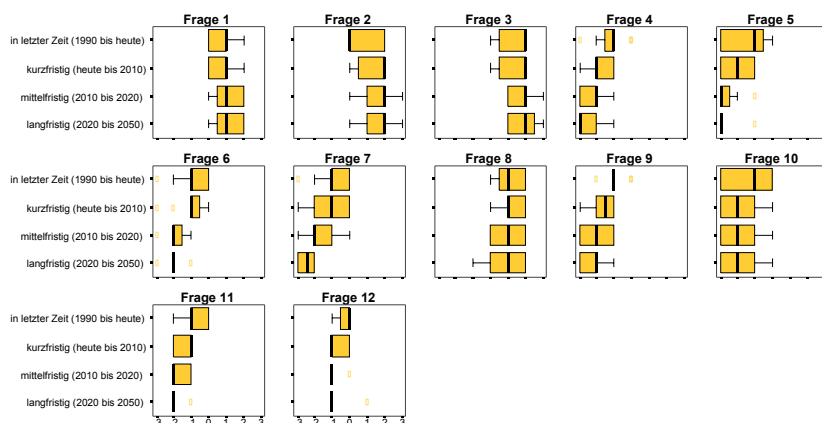
Gesamteinschätzung des Klimawandels und Einschätzungen einzelner Elemente des Klimawandels



Wie positiv/negativ für Ihren Bereich ist/sind Ihrer Meinung nach ...

- | | | |
|--|--|---|
| Frage 1: ... eine steigende Jahresmitteltemperatur | Frage 4: ... eine Zunahme der Jahressumme der Niederschläge? | Frage 7: ... weniger Frosttage? |
| Frage 2: ... steigende Temperaturen im Winter? | Frage 5: ... eine Abnahme der Jahressumme der Niederschläge? | Frage 8: ... mehr heiße Tage und Hitzewellen? |
| Frage 3: ... steigende Temperaturen im Sommer? | Frage 6: ... stärkere Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr? | Frage 9: ... mehr Starkniederschläge? |

Einschätzungen der Auswirkungen des Klimawandels



Wie positiv/negativ für Ihren Bereich ist/sind Ihrer Meinung nach ...

- | | |
|---|--|
| bezogen auf Ackerflächen | bezogen auf Grünland |
| Frage 1: ... eine Steigerung des Ertragspotenzials (durch Anstieg von Temperatur und CO ₂ -Gehalt)? | Frage 8: ... eine Steigerung des Ertragspotenzials (durch Anstieg von Temperatur und CO ₂ -Gehalt)? |
| Frage 2: ... die Möglichkeit früherer Aussaat? | |
| Frage 3: ... verbesserte Anbaumöglichkeiten für bestimmte Fruchtarten (z.B. Mais, Hirse)? | |
| Frage 4: ... Ertragsverlust durch Trockenstress im Sommer? | Frage 9: ... Ertragsverlust durch Trockenstress im Sommer? |
| Frage 5: ... Ertragsverlust durch Extremereignisse (Sturm, Hagel, Flut)? | Frage 10: ... Ertragsverlust durch Extremereignisse (Sturm, Hagel, Flut)? |
| Frage 6: ... Ausbreitung von Schädlingen, neue Schädlinge? | Frage 11: ... Ausbreitung von Schädlingen, neue Schädlinge? |
| Frage 7: ... Verlust von Bodenfruchtbarkeit (durch Erosion, Auswaschung, Zersetzung organischer Substanz etc.)? | Frage 12: ... Verlust von Bodenfruchtbarkeit (durch Erosion, Auswaschung, Zersetzung organischer Substanz etc.)? |

Antwortalternativen:
-3 = sehr negativ
-2 = negativ
-1 = etwas negativ
0 = weder pos. noch neg.
1 = etwas positiv
2 = positiv
3 = sehr positiv.

Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Einschätzungen für verschiedene Naturräume u. Bundesländer als Box-Plot: Die Box umfasst die mittleren 50% der Verteilung und bezeichnet somit die Werte zwischen dem unteren und dem oberen Quartil. Je weiter links sich die gelbe Box befindet, desto negativer wird die Auswirkung des Klimawandels bewertet. Die Lage des Medians (Mittelwert) wird durch einen dicken senkrechten Strich verdeutlicht. Zwei Linien links und rechts der Box verdeutlichen die Spannweite der gegebenen Einschätzungen. Als gelbe Balken werden Ausreißer und Extremwerte markiert, die 1,5 bis 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Quartil entfernt sind.
Auswertungsgrundlage: 6 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Thüringen, Sachsen und Hessen

Abb. 4.2-6: Einschätzungen des Klimawandels und seiner potenziellen Auswirkungen im Bereich Landwirtschaft

Keine der erfragten potenziellen *Auswirkungen des Klimawandels* auf die Landwirtschaft in Deutschland bewerten die Befragten im Mittel kurzfristig neutral. Deutlich überwiegen die Negativbewertungen. Dies gilt bereits für die Einschätzung der Vergangenheit seit 1990. Bereits kurzfristig als „negativ“ werden der Ertragsverlust auf Ackerflächen durch Trockenstress im Sommer und die Ertragsverluste durch Extremereignisse (Sturm, Hagel, Flut) auf Ackerflächen und Grünland eingestuft – mit deutlichen Unterschieden der Grünlandverluste in den verschiedenen Naturräumen und Bundesländern. Etwas weniger negativ bewerten die Befragten den Ertragsverlust durch Trockenstress im Sommer auf Grünland, die Ausbreitung von (neuen) Schädlingen und den Verlust von Bodenfruchtbarkeit auf Acker- und Grünflächen. Bei fast allen genannten Risiken findet sich mittelfristig und langfristig ein Trend zu immer negativeren Bewertungen.

Chancenbewertungen

Nur ein potenzielles *Element des Klimawandels* wird von den Befragten im Mittel als Chance bewertet: die mögliche Zunahme der Jahresniederschläge. Kurz-, mittel- und langfristig wird sie „etwas positiv“ gesehen. Jedoch steigen die Unterschiede in den Bewertungen mit der Zeit immer weiter an, um langfristig je nach bewertetem Naturraum die gesamte Spanne von „sehr negativ“ bis „sehr positiv“ auszufüllen.

Von den potenziellen *Auswirkungen des Klimawandels* stufen die Befragten die Möglichkeit früherer Aussaat und die verbesserten Anbaumöglichkeiten für bestimmte Fruchtarten (z.B. Mais, Hirse) in der Zukunft durchschnittlich als „positiv“ ein. Als „etwas positiv“ werden die Steigerungen des Ertragspotenzials (durch Anstieg von Temperatur und CO₂-Gehalt) auf Acker- und Grünflächen bewertet. Während sich bei den negativ bewerteten Auswirkungen die Negativbewertungen von kurz- über mittel- zu langfristig durchschnittlich weiter verstärken, bleiben die Bewertungen der positiv bewerteten Auswirkungen durchschnittlich stabil.

Weitere Auswirkungen

Außerdem wurde nach weiteren möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Landwirtschaft gefragt. Die Befragten nannten hier die CO₂-Anreicherung zur Photosynthesesteigerung, humusmehrende Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau auf Stilllegungsflächen, den Anbau neuer trockenresistenter Sorten / Gentechnikanwendung und die spätere Aussaat bei Winterungen.

4.2.6 Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels

In der Vergangenheit hat sich die Landwirtschaft als sehr anpassungsfähig gegenüber Veränderungen in den Rahmenbedingungen erwiesen, wie die linear steigenden Erträge belegen. Dieses hohe Anpassungspotenzial beruht zum einen auf den kurzen Planungshorizonten (wenige Jahre), zum anderen auf den Möglichkeiten, durch neue Sorten und technischen Fortschritt auch unter veränderten Bedingungen hohe Erträge zu erzielen.

Als Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft kommen Veränderungen im Anbau und Management in Betracht:

- *Veränderungen im Aussaattermin:* Sommergetreide kann aufgrund der Temperaturerhöhung früher ausgesät werden. Das ermöglicht die Nutzung der höheren Bodenfeuchte im Frühjahr, erhöht potenziell die Erträge durch Verlängerung der Wachstumsphase und verringert die Gefahr von Wasserstress. Andererseits steigt dadurch die Gefahr von Schäden durch Spätfröste. Wintergetreide sollte später im Jahr als momentan üblich gesät werden, da sonst die für die Entwicklung wichtige Kältephase zu spät eintritt und zu Schäden an den Pflanzen führen kann.
- *Auswahl geeigneter Sorten:* Dazu gehören Sorten, die weniger anfällig gegen Trockenstress sind. Generell sollte robusten Sorten mit einer hohen Klimatoleranz und einer geringen Anfälligkeit gegenüber Schädlingsbefall der Vorzug vor empfindlichen Hochleistungssorten gegeben werden.

- *Anpassung der Fruchtfolge und Einführung neuer Fruchtarten:* Arten, die sich als wenig geeignet unter veränderten Klimabedingungen zeigen, sollten gegen geeignetere Arten ausgetauscht werden. Als besonders geeignet erweisen sich wärmeliebende Arten mit einer hohen Wassernutzungseffizienz wie z.B. bestimmte Maissorten oder Hirse. Eine Diversifizierung des Fruchtartenspektrums verringert die Gefahr von Ernteeinbußen durch Klimaextreme und Schäden durch Schädlingsbefall.
- *Verwendung bodenschonender und wassersparender Managementoptionen:* Dazu gehören Mulchverfahren und die pfluglose Bodenbearbeitung. Durch solche Verfahren wird nicht nur der Wasserverbrauch durch Verdunstung verringert, sondern auch die Freisetzung von Kohlenstoff minimiert und die Erosionsgefahr gesenkt.
- *Anpassung von Düngung und Pflanzenschutz:* Die Verwendung von Dünger sollte sich an einen mit steigendem CO₂-Gehalt steigenden Stickstoffbedarf anpassen. Andererseits erhöht sich durch zusätzliche Stickstoffgabe auch der Wasserverbrauch, so dass hier eine Balance gefunden werden muss. Im Pflanzenschutz sollte rechtzeitig den Gefahren durch neue Schädlinge Rechnung getragen werden. Hier ist integrierten Verfahren der Vorzug zu geben. Auch die Auswahl von robusten Sorten und ein vielfältiges Artenspektrum trägt zum Pflanzenschutz bei.
- *Anbau nachwachsender Rohstoffe für die Energieerzeugung:* Diese Anpassungsmaßnahme dient einerseits zur Emissionsminderung, ist aber auch eine ernsthafte Perspektive für die vielen landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland, die langfristig vermutlich nicht mehr für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion benötigt werden.

Daneben spielt die *finanzielle Absicherung* gegen die Risiken von Ertragseinbußen eine große Rolle. In Deutschland sind Versicherungen in der Landwirtschaft bisher weitgehend auf Hagelversicherungen beschränkt. Schadensfälle wie die Ertragseinbußen durch die Hitzewelle 2003 werden nur z.T. durch staatliche Sofortmaßnahmen abgedeckt. Die Einführung einer Mehrgefahrenversicherung, die z.B. in den USA schon lange verfügbar ist, wäre eine Möglichkeit zu einer erweiterten Abdeckung von Risiken.

4.2.7 Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten

Zu Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, liegen Ergebnisse von Expertenbefragungen (zur Methode siehe Kap. 2.6) aus den folgenden sieben Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen, Thüringen, Hessen und Saarland. Aufgrund des geringen Rücklaufs der Fragebögen und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Befragungsergebnisse nur als sehr vorläufige Abschätzungen der Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich Landwirtschaft in Deutschland geeignet sind, angesehen werden.

Innerhalb der Befragung wurden die Maßnahmen hinsichtlich verschiedener Dimensionen bewertet, u.a. hinsichtlich der Maßnahmen-Wirksamkeit zur Minderung der in Abschnitt 4.2.5 dargestellten potenziellen Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels (siehe Tab. 4-2) und hinsichtlich der bisherigen Maßnahmen-Umsetzung (siehe Abb. 4.2-7).

Anbau angepasster Sorten

Dem Anbau angepasster Sorten wird von den Befragten ein sehr breites Wirkspektrum hinsichtlich der möglichen Folgen des Klimawandels im Landwirtschaftssektor zugeschrieben, sowohl bezogen auf die Chancen (Steigerung des Ertragspotenzials, Möglichkeit früherer Aussaat, verbesserte Anbaumöglichkeiten für bestimmte Fruchtarten) als auch hinsichtlich der Risiken des Klimawandels (Ertragsverlust durch Trockenstress im Sommer, Ertragsverlust durch Extremereignisse, Ausbreitung von Schädlingen; siehe Tab. 4-2). Nur hinsichtlich der Gefahr geringerer Bodenfruchtbarkeit sieht kein Befragter den angepassten Sortenanbau als wirksam an.

Tab. 4-2: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Landwirtschaft. Dargestellt ist die Anzahl der Befragten, die den Maßnahmen eine Wirksamkeit zur Minderung bzw. Nutzung der Auswirkungen zuschreiben. Auswertungsgrundlage: 6 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen, Thüringen und Hessen.

Maßnahmen	Auswirkungen						
	Steigerung des Ertragspotentials	Frühere Aussaat möglich	Verbesserte Anbaumöglichkeiten für bestimmte Fruchtarten	Ertragsverlust durch Trockenstress im Sommer	Ertragsverlust durch Extremereignisse	Ausbreitung von Schädlingen, neue Schädlinge	Verlust von Bodenfruchtbarkeit
Anbau angepasster Sorten	5	4	3	4	2	3	-
Anbau neuer Fruchtarten	3	-	5	2	1	3	2
Angepasste Bewässerungsverfahren	6	-	4	3	1	-	2
Neue Anbauverfahren zur Bodenschonung und Wassereinsparung	4	1	3	4	3	1	3
Gefahrenübergreifende Maßnahmen							
Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel	-	-	-	4	6	1	-
Bildung von Rücklagen für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen	-	-	2	3	5	1	-

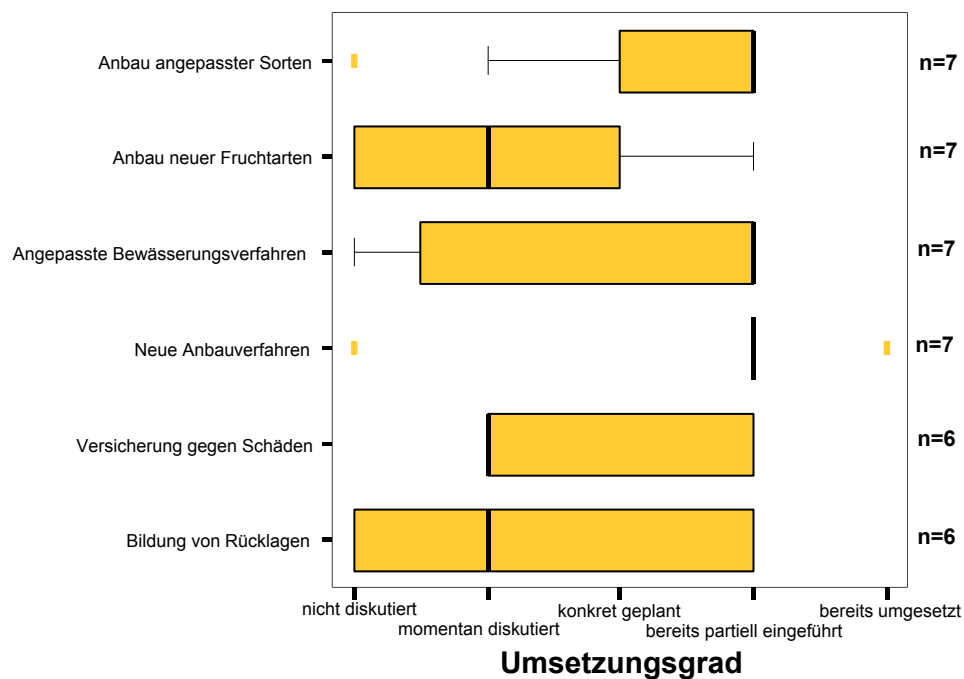


Abb. 4.2-7: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Landwirtschaft. Auswertungsgrundlage: 7 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen, Thüringen, Hessen und Saarland. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden Fragebögen. Zur Erklärung der grafischen Darstellungsweise siehe Abb. 4.2-6.

Der Umsetzungsgrad der Maßnahme wird im Mittel über die befragten sieben Bundesländer als „bereits partiell eingeführt“ bewertet – mit relativ geringen Unterschieden in den Einschätzungen aus den verschiedenen Ländern (siehe Abb. 4.2-7). Als Gründe des bisherigen angepassten Sortenanbaus werden die immer schon bestehende Variabilität der Witterungs- und Bodenverhältnisse, aber auch der zunehmende Trockenstress genannt. Nur eine Person nennt den Klimawandel und dessen Folgen für die Landwirtschaft als Grund der Maßnahmen-einführung in seinem Bundesland.

Dabei scheinen der Maßnahme keine systematischen Hindernisse entgegen zu stehen. Weder finanzielle, organisatorische noch legislative Aspekte werden als hinderlich genannt. Einzig ein Befragter gibt fehlendes Wissen als Hindernis an. Ein anderer sieht die Züchtung angepasster Sorten als grundsätzlich aufwändig, ein weiterer nennt die Eignungsprüfung neuer Sorten als Hinderungsgrund. Vor dem Hintergrund der geringen Hindernisse wird der angepasste Sortenanbau im Mittel als „nicht aufwändig“ bis „etwas aufwändig“ eingeschätzt.

Anbau neuer Fruchtarten

Auch dieser Maßnahme kommt offenbar ein sehr breites Wirkspektrum zu, wobei sie natürlicherweise die meisten Befragten als geeignet ansehen, um der Chance verbesserter Anbaumöglichkeiten für bestimmte Fruchtarten zu begegnen (siehe Tab. 4-2).

Im Mittel über die befragten sieben Bundesländer wird der Anbau neuer Fruchtarten als „momentan diskutiert“ bewertet (siehe Abb. 4.2-7). Jedoch unterscheiden sich die Bundesländer deutlich. Die höchsten Umsetzungsgrade („partiell eingeführt“) werden aus Brandenburg und Sachsen berichtet. Gründe für den Anbau neuer Fruchtarten seien die Schaffung von neuen Einkommensmöglichkeiten für Landwirte, die Erhöhung der Biodiversität sowie die bessere Trockenheitsresistenz der neuen Fruchtarten gewesen. Wiederum nur in einem Bundesland wird die Maßnahme mit dem Klimawandel begründet.

Hinderlich für den Anbau neuer Fruchtarten seien nach Angabe von drei Befragten fehlendes Wissen, eine Person nennt zusätzlich organisatorische Hindernisse. Spezielle Hindernisse bestehen v.a. in der Ertragsunsicherheit aufgrund mangelnder Erfahrung mit dem Anbau der neuen Sorten oder wegen „unerwünschter“ klimatischer Bedingungen (z.B. Spätfröste). Vor dem Hintergrund dieser Hindernisse schätzen die Befragten die Maßnahme als aufwändiger ein als den Anbau angepasster Sorten. Die mittlere Einschätzung liegt zwischen „etwas aufwändig“ und „aufwändig“.

Angepasste Bewässerungsverfahren

Im Vergleich zu dem Anbau angepasster Sorten und neuer Fruchtarten wird angepassten Bewässerungsverfahren ein etwas engeres Wirkspektrum hinsichtlich der potenziellen Auswirkungen des Klimawandels zugeschrieben (siehe Tab. 4-2). Alle Befragten sehen diese Maßnahme als geeignet an, um die Chance eines gesteigerten Ertragspotenzials zu nutzen. Gegenüber den Risiken des Klimawandels wird besonders eine Wirksamkeit zur Vermeidung von Ertragsverlusten durch Trockenstress gesehen.

Im Mittel werden angepasste Bewässerungsverfahren als „bereits partiell eingeführt“ eingeschätzt, wobei die Unterschiede zwischen den Bundesländern recht groß sind (siehe Abb. 4.2-7). Der hohe mittlere Umsetzungsgrad ist vor allem durch die östlichen Bundesländer bedingt, die bereits in der Vergangenheit stärker als der Westen von Trockenheit betroffen waren und in Zukunft aufgrund des Klimawandels wahrscheinlich noch stärker betroffen sein werden. Dieses Risiko des Klimawandels wird jedoch nur vom Vertreter eines Bundeslandes in Ostdeutschland als mit ausschlaggebend für die Einführung der Bewässerung angeführt. Aus den anderen Bundesländern werden als Gründe für die Einführung angepasster Bewässerungsverfahren u.a. die Sicherung der Ertragsstabilität, die Möglichkeit zum Ausgleich von Trockenperioden und das Bestreben zu einer effizienten Wassernutzung genannt.

Nach Aussagen fast aller Befragten sind es v.a. finanzielle Hindernisse, die der Umsetzung von Bewässerungsverfahren entgegen stehen. Besonders die hohen Investitionskosten in Verbindung mit dem unregelmäßigen Einsatz der Anlagen werden genannt. Weiterhin bestünden legislative Hemmnisse (wasserrechtliche Beschränkungen) und ökologische Hürden.

So schätzen die Befragten die Maßnahme im Mittel als „aufwändig“ ein. Zwei der Befragten geben sogar „sehr aufwändig“ an.

Neue Anbauverfahren zur Bodenschonung und Wassereinsparung

Diese Maßnahme weist das breiteste Wirkspektrum von den erfragten Maßnahmen auf (siehe Tab. 4-2). Für jede der aufgeführten potenziellen Auswirkungen des Klimawandels wird den neuen Anbauverfahren eine Wirksamkeit von mindestens einem Befragten zugeschrieben.

Der Umsetzungsgrad der Maßnahme wird durchschnittlich als „bereits partiell eingeführt“ bewertet, wobei es kaum Unterschiede zwischen den Bundesländern gibt (siehe Abb. 4.2-7). Zwei der sieben Befragten geben als Grund für die Einführung neuer Anbauverfahren auch die Anpassung an den Klimawandel explizit an. Als weitere Gründe werden Kosteneinsparungen, Erosionsminderung, Bodenschonung, Wassereinsparung und die Sicherung der Ertragsstabilität genannt.

Hindernisse für die Einführung neuer Anbauverfahren werden kaum genannt. Ein Befragter nennt „legislative Hindernisse“, ein anderer „fehlendes Wissen“. Der wirtschaftliche Erfolg neuer Anbauverfahren hänge jedoch stark von unternehmensspezifischen Vor- und Nachteilen ab und lasse sich nur schwer generalisieren. Vor dem Hintergrund der geringen Hindernisse schätzen die Befragten die Maßnahme im Mittel als „nicht aufwändig“ ein.

Gefahrenübergreifende Maßnahmen: Versicherung und Rücklagen

Der Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel und der Bildung von Rücklagen für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen werden von den Befragten enge Wirkspektren zugeschrieben (siehe Tab. 4-2). Wirksam seien diese Maßnahmen v.a. zum Ausgleich von Ertragsverlusten durch Trockenstress oder Extremereignisse. Im Vergleich zu den anderen Bereichen, in denen Befragungen durchgeführt wurden (insb. Biodiversität), wird den gefahrenübergreifenden Maßnahmen in der Landwirtschaft jedoch eine recht hohe Wirksamkeit zugeschrieben.

Im Mittel über die befragten Bundesländer wird der Umsetzungsgrad der beiden Maßnahmen mit „momentan diskutiert“ eher gering bewertet (siehe Abb. 4.2-7). In allen Ländern sind Versicherungslösungen bereits auf der Tagesordnung, was für die Rücklagenbildung nicht gilt. Der höchste Realisierungsgrad („bereits partiell eingeführt“) von Versicherungen wird aus Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern (nur Hagelversicherung) berichtet. Die Rücklagenbildung ist nach Angaben der Befragten in Brandenburg und Thüringen am weitesten fortgeschritten („bereits partiell eingeführt“). Gründe für diese Maßnahmen seien die Erfahrung von Überschwemmungen, allgemeine Liquiditätsrisiken und die generelle Ungewissheit der Zukunft gewesen. Der Klimawandel wird wiederum nur in Brandenburg als mitbestimmend für die Versicherungslösungen und die Rücklagenbildung genannt.

Nach Aussage der meisten Befragten stehen dem Abschluss von Versicherungen und der Rücklagenbildung finanzielle Hindernisse entgegen. Die Eigenkapitaldecke vieler landwirtschaftlicher Unternehmen sei zu dünn, wird argumentiert, und die staatliche Förderung der Versicherungsbeiträge würde bisher nicht ernsthaft genug verfolgt. Aber auch legislative und wissensbezogene Hindernisse werden genannt. Weiterhin führen die Interviewpartner eine ungeklärte Aufteilung zwischen staatlicher und unternehmerischer Risikoabsicherung an. Ein Experte schlägt vor, nach bundes- bzw. EU- einheitlichen Lösungen zu suchen. Eine möglichst breite Verteilung staatlicher Rücklagen und Versicherungen würde auch das Risiko breit streuen. Vor dem Hintergrund der Hindernisse schätzen die Befragten beide Maßnahmen im Mittel als „aufwändig“ ein, wobei hier nur vier von sieben Befragten Angaben gemacht haben.

Weitere Maßnahmen

Zum Abschluss der Interviews wurden die Experten nach weiteren Maßnahmen gefragt, die im Landwirtschaftsbereich geeignet sind, den Risiken des Klimawandels vorzubeugen bzw. dessen Chancen zu nutzen. Die Befragten nahmen diese Möglichkeit gerne wahr und nannten u.a. folgende Maßnahmen: Höhere Trockenbeständigkeit und Robustheit von Kulturpflanzen u.a. durch Züchtung und Gentechnik; gezielter, kleinteiliger Einsatz von Düngern und Pflan-

zenschutzmitteln, verbunden mit einer Verbesserung der Humusbilanz; Ausbau der Bewässerung sowie Verbesserung des Wasserhaltevermögens der Böden; spezielle Wetterprognosen für Landwirte durch Wetterdienste; neue Fruchtfolgesysteme zur Minimierung standortbezogener, witterungsbedingter Risiken sowie verstärkter Anbau von C₄-Pflanzen zur Erhöhung der Biomasseproduktion.

Anpassung an den Klimawandel in den befragten Fachressorts

Die Befragten aus den Landwirtschaftsressorts der Bundesländer wurden auch nach den Aktivitäten in ihren Verwaltungen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels befragt. Zwar gaben alle Befragten an, dass innerhalb ihrer Verwaltungen eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel stattfindet, doch entstand aus anderen Angaben der Eindruck, dass sich fast alle Befragten bei dieser Antwort auf Initiativen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen (Mitigation) beziehen.

Nur aus drei Bundesländern wurden praktische Ansätze zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels berichtet: In Mecklenburg-Vorpommern die Entwicklung von Bodenbearbeitungsverfahren zur Verhinderung von Verschlammung und Erosion durch die LfA, die Ausdehnung wassersparender Anbaumaßnahmen und Versuche zur Etablierung wärmeliebender Pflanzen (Soja), in Sachsen u.a. die nichtwendende Bodenbearbeitung, Fruchtfolgeversuche und Monitoring zum Schaderregeraufkommen und in Brandenburg die Förderung von Be- und Entwässerungsmaßnahmen und das Kulturlandschaftsprogramm (KULAP).

Auf die Frage nach der aktuellen Relevanz der Anpassungsthematik in ihrer Verwaltung im Vergleich zu anderen Themen antworteten jeweils zwei Befragte mit „wichtig“ (Sachsen und Brandenburg), „etwas wichtig“ und „unwichtig“. In keiner Verwaltung nimmt das Thema momentan einen „sehr wichtigen“ Stellenwert ein. In den Landwirtschaftsressorts der verschiedenen Bundesländer scheint daher die Anpassung an die Folgen des Klimawandels momentan eine recht unterschiedliche, wenn auch nie sehr große Bedeutung zu haben.

Anpassung in der Landwirtschaft: Zusammenfassung und Resümee

Zur Minderung der potenziellen Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels wird vor allem dem Anbau angepasster Sorten und neuen, angepassten Anbauverfahren zur Bodenschonung und Wassereinsparung eine breite Wirksamkeit zugeschrieben. Aber auch der Anbau neuer Fruchtarten und angepasste Bewässerungsverfahren werden als vielfältig wirksam eingeschätzt. Für sämtliche potenzielle Auswirkungen des Klimawandels nennen die Befragten mindestens zwei, für viele Auswirkungen sogar mehr wirksame Maßnahmen.

Von den sechs erfragten Maßnahmen werden drei im Mittel von den Befragten als nur „momentan diskutiert“ bezeichnet: Anbau neuer Fruchtarten, Versicherung gegen Schäden und Bildung von Rücklagen. Die drei anderen Maßnahmen – Anbau angepasster Sorten, angepasste Bewässerungsverfahren und neue Anbauverfahren – werden auf der qualitativen Skala im Mittel zwei Stufen höher („bereits partiell eingeführt“) eingeschätzt. Betrachtet man die Spannbreite der Einzelbewertungen, zeigen sich jedoch große Unterschiede in der Maßnahmenumsetzung in den verschiedenen Bundesländern. In einigen Bundesländern scheint demnach ein Nachholbedarf zu bestehen. Weiterhin muss betont werden, dass – abgesehen von einem Befragten – keiner der Interviewpartner auch nur eine der diskutierten Maßnahmen als bereits vollständig umgesetzt bewertet.

Jedoch scheinen der Umsetzung nur wenige Hindernisse im Wege zu stehen, so dass die Befragten die Maßnahmendurchführung gerade im Vergleich zu anderen Bereichen (insb. Biodiversität) insgesamt als wenig aufwändig einschätzen. Mit geringem Aufwand werden v.a. der Anbau angepasster Sorten und die Einführung neuer Anbauverfahren verbunden – Maßnahmen, die auch als besonders breit wirksam hinsichtlich verschiedener Auswirkungen des Klimawandels eingeschätzt werden. Wird das Bewusstsein für die Risiken und Chancen des Klimawandels im Landwirtschaftsbereich gestärkt, scheint einer Anpassung an den Klimawandel nicht viel entgegen zu stehen.

Auslösende Momente für die erfragten Maßnahmen, die auch zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, waren nach Aussage der Befragten oft Wetterextreme, zum Teil ganz

konkrete extreme Wetterereignisse der Vergangenheit. Der Klimawandel wird jedoch nur in Brandenburg und in geringerem Maße in Mecklenburg-Vorpommern als Mitgrund für die Einführung von Maßnahmen genannt und in nur wenigen der befragten Landwirtschaftsressorts der Bundesländer findet bisher eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel statt. So kann angenommen werden, dass die Auswirkungen des Klimawandels in den übrigen Bundesländern nicht oder nur kaum in die Maßnahmenplanung einbezogen worden waren und die Landwirtschaft in den meisten Bundesländern zum momentanen Zeitpunkt wahrscheinlich noch nicht an die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels angepasst ist. Auf die Risiken der Vergangenheit (insb. Wetterextreme) scheint man sich eingestellt zu haben, auf die aufgrund des Klimawandels in der Zukunft zu befürchtenden veränderten Bedingungen jedoch bisher nicht. Aufgrund der Beschäftigung mit Wetterextremen besteht ein Bewusstsein für die Erfordernisse von Anpassungsmaßnahmen. Es gilt, dieses hinsichtlich der Chancen und Risiken anderer, eher langfristiger Klimawirkungen auszuweiten.

Allgemein sollte die Landwirtschaft in Deutschland jedoch über eine hohe Fähigkeit verfügen, sich in Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandel anzupassen; denn in der Landwirtschaft scheint die seltene Gelegenheit zu bestehen, wenig aufwändige und zugleich hoch wirksame Optionen (v.a. Anbau angepasster Sorten und Nutzung neuer Anbauverfahren) zur Verfügung zu haben.

Da sich der Umsetzungsgrad bereits vorhandener Maßnahmen und die bisherige Auseinandersetzung mit der Anpassung an den Klimawandel von Bundesland zu Bundesland zum Teil stark unterscheidet, sollte die Chance des Erfahrungsaustausches zwischen den Bundesländern verstärkt genutzt werden.

4.2.8 Literatur

Beniston, M. (2004): The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letter*, 31.

BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz Ernährung Landwirtschaft und Forsten (2003): Künast: Ernte 2003 - Starke Ertragseinbußen durch Dürre, aber gute Brotgetreidequalitäten und Getreidepreise. Pressemitteilung Nr. 215 vom 28. August 2003.

Bundesregierung (2004): Agrarpolitischer Bericht 2004 der Bundesregierung, Berlin.

Bundesregierung (2005): Agrarpolitischer Bericht 2005 der Bundesregierung, Berlin.

Downing, T.E., Harrison, P.A., Butterfield, R.E., Lonsdale, K.G. (2000) Climate change, climatic variability and agriculture in Europe. *Environmental Change Institute*, Oxford.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2004): Mitteilung vom 27.07.2004. Umweltdaten Deutschland Online, <http://www.env-it.de/umweltdaten>, Umweltbundesamt, Berlin.

Giorgi, F., Bi, X., Pal, J. (2004): Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071- 2100). *Climate Dynamics*, 23, 839-858.

Hafner, S. (2003): Trends in maize, rice, and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97, 275-283.

Harrison, P.A., Butterfield, R.E., Orr, J.L. (2003): Modelling climate change impacts on wheat potato and grapevine in Europe. In: *Climate change, climatic variability and agriculture in Europe* (Hrsg. T.E. Downing, P.A. Harrison, R.E. Butterfield & K.G. Lonsdale). *Environmental Change Institute*, Oxford.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*.

Kimball, B.A., Mauney, F.S., Nakayama, F.S., Idso, S.B. (1993): Effects of elevated CO₂ and climate variables on plants. *Journal of Soil Water Conservation*, 48, 9-14.

Kleinhanß, W., Bertelsmeier, M., Manegold, D., Offermann, F., Osterburg, B., Salamon, P. (2003): Folgenabschätzung der Legislativvorschläge zur Halbzeitbewertung der Agenda 2000. FAL - Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig.

Liedtke, H., Marcinek, J. (2002) *Physische Geographie Deutschlands*. Klett-Perthes, Gotha.

Manderscheid, R., Frühauf, C., Weigel, H.-J. (2003a): Effects of free air CO₂ enrichment (FACE) and soil nitrogen fertilizer on radiation absorption, radiation use efficiency and yield of winter barley. *Proceedings of VII Congress of the European Society for Agronomy*, Cordoba/Spain, 207-208.

Manderscheid, R., Frühauf, C., Weigel, H.-J. (2003b): Wechselwirkung von CO₂-Anreicherung unter Feldbedingungen (FACE) und Stickstoffversorgung auf Wachstum und Ertrag von Zuckerrüben. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 15, 158-160.

Olesen, J.E., Bindi, M. (2002): Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16, 239-262.

Ortlof, W. (1998): *Landwirtschaft in Europa: Konzepte für Risikoprofil im Wandel*. Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft, Zürich.

PIK – Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (2005): *Verbundvorhaben Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung (KLARA), Analyse spezifischer Verwundbarkeiten und Handlungsoptionen, Abschlussbericht zum Werkvertrag B.-Nr.: 500477467/23*. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU).

Pinter, P.J.J., Kimball, B.A., Garcia, R.L., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., LaMorte, R.L. (1996): Free-air CO₂ enrichment: responses of cotton and wheat crops. In: *Carbon Dioxide*

and Terrestrial Ecosystems (Hrsg. G.W. Koch & H.A. Mooney), pp. 215-249. Academic Press, San Diego.

Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A., Appenzeller, C. (2004): The Role Of Increasing Temperature Variability In European Summer Heatwaves. *Nature*, 427, 332-336.

Schönwiese, C.-D. (2005): Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von klimatologischen Extremereignissen - UBA Studie, unveröffentlicht, Berlin.

Schröter, D., Acosta-Michlik, L., Arnell, A.W., Araújo, M.B., Badeck, F., Bakker, M., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T., Vega-Leinert, A.C.d.l., Erhard, M., Espíñeira, G.Z., Ewert, F., Fritsch, U., Friedlingstein, P., Glendining, M., Gracia, C.A., Hickler, T., House, J., Hulme, M., Klein, R.J.T., Krukenberg, B., Lavorel, S., Leemans, R., Lindner, M., Liski, J., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T., Mohren, F., Morales, P., Moreno, J.M., Reginster, I., Reidsma, P., Rounsevell, M., Pluimers, J., Prentice, I.C., Pussinen, A., Sánchez, A., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Werf, G.v.d., Vayreda, J., Wattenbach, M., Wilson, D.W., Woodward, F.I., Zaehle, S., Zierl, B., Zudin, S., Cramer, W. (2004): ATEAM – Final report. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam.

Statistisches Bundesamt (2005a): Bodenflächen nach Art der tatsächlichen Nutzung in Deutschland. Informationssystem DESTATIS, www.destatis.de.

Statistisches Bundesamt (2005b): Datenbank GENESIS. www-genesis.destatis.de.

Sterzel, T. (2004): Correlation analysis of climate variables and wheat yield data on various aggregation levels in Germany and the EU-15 using GIS and statistical methods, with a focus on heat wave years - Diploma Thesis. Humboldt Universität, Berlin.

Stock, M., Badeck, F., Gerstengarbe, F.-W., Werner, T.K.C. (2004): Weinbau und Klima – eine Beziehung wechselseitiger Variabilität. *Terra Nostra* 2003/6: 6. Deutsche Klimatagung, 422-426.

UBA – Umweltbundesamt (2005): Umweltdaten Online. <http://www.env-it.de/umweltdaten/>.

van Ojen, M., Ewert, F. (1999): The effects of climatic variability in Europe on the yield response of spring wheat cv. Minaret to elevated CO₂ and O₃; analysis of open chamber experiments by means of two crop growth simulation models. *European Journal of Agronomy*, 10, 249-264.

Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P. (2004): Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

Weigel, H.-J. (2004): Fluch oder Segen – wie verändert der Klimawandel die Pflanzenproduktion global und hierzulande? *Landbauforschung Völkenrode*, 274, 15-36.

Welling, M. (2000): Prognose 2000 – Landbewirtschaftung in 20 Jahren. In: Forschungsreport 2000 (Hrsg. BMELF). BMELF – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Berlin.

4.3 Forstwirtschaft

4.3.1 Resümee: Vulnerabilität der Wälder und der Forstwirtschaft

Der Klimawandel beinhaltet für die deutschen Wälder sowohl Chancen als auch Risiken. Chancen entstehen durch das erhöhte Ertragspotenzial und durch die Möglichkeit, neue Baumarten einzubringen. Die Risiken entstehen zum einen durch die z.T. erheblichen potenziellen Auswirkungen des Klimawandels, zum anderen aufgrund der Langwierigkeit und Schwierigkeiten bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen im Forstbereich. Gefährdungen im Forstbereich lassen sich auf verschiedenen Ebenen benennen:

Baumarten: Unter den Hauptbaumarten ist die Fichte vom Klimawandel besonders betroffen. Sie bevorzugt feuchte, kühle Standorte und ist daher wenig trockenheits- und hitzetolerant. Da die Fichte aufgrund ihrer guten Wuchseistung vielerorts auch außerhalb ihrer natürlichen Standorte angebaut wird, ist sie oft schon heute an der Grenze ihres Toleranzbereichs angelangt. Zudem ist die Fichte besonders anfällig gegenüber den indirekten Auswirkungen des Klimawandels wie Kalamitäten (Borkenkäfer) und Schäden durch Extremereignisse (Windwurf). Die Anfälligkeit der Fichte gegenüber dem Klimawandel ist ökonomisch besonders bedeutsam, weil sie die am häufigsten angebaute Baumart in Deutschland ist. Anfällig, aber nicht in dem Maß wie die Fichte, ist die ebenfalls eher feuchtigkeitsliebende Buche. Da die Buche in der Regel standortangepasst angebaut wird, besteht eine Gefährdung nur für solche Standorte, an denen die Buche ihre Trockenheitsgrenze erreicht. Eher wenig anfällig zeigen sich Eiche, Kiefer und die nicht-einheimische Douglasie. Insbesondere in Kieferreinbeständen wird sich allerdings im Zuge des Klimawandels die Waldbrandgefahr erheblich erhöhen.

Waldökosysteme: Mischwälder zeigen sich weniger anfällig als Nadelwälder, da sie sich besser an den Klimawandel anpassen können. Eine hohe genetische Vielfalt verringert ebenfalls die Anfälligkeit.

Regionen: In Deutschland müssen u.a. solche Regionen als besonders betroffen eingeschätzt werden, die schon heute mit geringer Wasserverfügbarkeit zu kämpfen haben (Teile Ostdeutschlands), die besonders starke Temperaturveränderungen zu erwarten haben (Südwestdeutschland) oder in denen die Fichte auf nicht-natürlichen Standorten vorkommt (Süd- und Westdeutschland). Als weniger anfällig können die Küstengebiete (rel. geringe Klimaänderung, geringe Gefahr von Trockenstress), das Voralpenland und große Teile der Mittelgebirge gelten.

Bisher ist die Forstwirtschaft in Deutschland nur in gewissem Umfang an die Folgen des Klimawandels angepasst. Zwar ist hier Auseinandersetzung mit dem Klimawandel im Vergleich zu den anderen innerhalb dieser Studie betrachteten klimasensitiven Bereichen am intensivsten, jedoch benötigt die vollständige Umsetzung bereits geplanter Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Forstbereich oft mehrere Jahrzehnte. In einigen Regionen müssen Maßnahmen erst noch geplant werden. Folglich ist die Vulnerabilität der Forstwirtschaft gegenüber dem Klimawandel ohne weitere Maßnahmen als „mäßig“ zu bezeichnen (Ohne-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8). Als aktuell „hoch“ vulnerabel werden nur die von Dürre betroffenen Regionen (Ostdeutschland) und Regionen mit sehr hoher Erwärmung und einem hohen Anteil nicht standortangepasster Fichtenbestände (niedere Regionen in West- und Südwestdeutschland) eingestuft.

Die Forstwirtschaft sollte jedoch über eine hohe Fähigkeit verfügen, sich in Zukunft weit stärker als heute an die Auswirkungen des Klimawandel anzupassen; denn ihr steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung, auch wenn diese zumeist als aufwändig bewertet werden. Im Sinne einer Erhöhung einer breiten Anpassungsfähigkeit hinsichtlich verschiedener, mit Unsicherheit behafteter Risiken und Chancen durch den Klimawandel wird vor allem dem Umbau zu Mischwäldern und der Sicherung genetischer Vielfalt eine breite Wirksamkeit zugeschrieben. Entscheidend für die Anpassungsfähigkeit der Forstwirtschaft wird auch der ökonomische Druck auf den einzelnen Waldbesitzern sein. In dieser Hinsicht bedarf die Anpassung von Wäldern in Privatbesitz besonderer Unterstützung. Werden die genannten Anpassungsmaßnahmen realisiert, ist eine Reduktion auf eine „geringe“ Vulnerabilität der Forstwirtschaft gegenüber dem Klimawandel zu erwarten (Mit-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8).

4.3.2 Forstwirtschaft und Klima

Wälder sind typische multifunktionale Ökosysteme. Als Lieferant von Holz und Fasern haben sie eine versorgende Ökosystemfunktion (siehe Kap. 1.3). Lokal schützen sie vor Erosion, Lawinen, Immission und Lärm (Schutzfunktion), wirken positiv auf den Wasserhaushalt und das lokale Klima (Regulationsfunktion) und dienen der Erholung (Erholungsfunktion). Daneben kommt ihnen große Bedeutung für den Bereich Biodiversität und Naturschutz zu (Häusler & Scherer-Lorenzen, 2002). Wälder sind die artenreichsten Ökosysteme Mitteleuropas. Diese Biodiversität ist durch bestimmte Formen der Forstwirtschaft bedroht. Von den 711 bedrohten Farn- und Blütenpflanzen sind 338 (Korneck & Sukkop, 1988) und von ca. 1700 gefährdeten Tierarten ca. 800 durch die Forstwirtschaft bedroht (Bode, 1997). Schließlich haben Wälder als potenzielle Kohlenstoffspeicher auch eine große Bedeutung für den Klimaschutz (s.u.).

Forstwirtschaft ist eng mit Klima, Witterung und Wetter verbunden. Die klimatischen Bedingungen bestimmen zum großen Teil das Artenspektrum möglicher Baumarten und das Ertragspotenzial einzelner Arten. Der Verlauf der Witterung entscheidet über Variationen im Auftreten der phänologischen Phasen wie Blattaustrieb oder Blüte und über die Höhe der Biomassezuwächse. Wetterextreme, wie Sturm oder Starkniederschläge, aber auch Dürren und Hitzeextreme, können Wälder dauerhaft schädigen.

Die prinzipiellen Zusammenhänge zwischen Klima und Pflanzenphysiologie, Pflanzenwachstum und Pflanzenentwicklung sind bereits im Landwirtschaftskapitel beschrieben worden und gelten analog auch für den Bereich Forst (siehe Kap. 4.2). Im Folgenden sollen deshalb nur Komplexwirkungen des Klimas auf Wälder beschrieben werden.

Ertragspotenzial und Wasserversorgung

Prinzipiell ist als Folge des Klimawandels, ähnlich wie in der Landwirtschaft, mit einer Erhöhung des Ertragspotenzials zu rechnen. Dies liegt zum einen an dem „düngenden“ Effekt des erhöhten CO₂-Gehalts der Luft. CO₂ erhöht die Photosyntheseaktivität und die Effektivität der Wassernutzung (Jarvis, 1998). Zum anderen erhöhen steigende Temperaturen die Photosyntheserate und andere Stoffwechselvorgänge bis zu einem Temperaturoptimum. Zudem führt die mit der Temperaturerhöhung einhergehende Verlängerung der Vegetationszeit zu einer längeren Wachstumsphase. In Experimenten wurde bei einer Verdoppelung des CO₂-Gehalts im Mittel eine Wachstumssteigerung bei Bäumen um 20% beobachtet (Norby et al., 1999). Bei einem Temperaturanstieg von deutlich mehr als ca. 2°C überwiegen allerdings bei vielen einheimischen Baumarten die negativen Effekte (Hirschberg et al., 2003).

Ob Erhöhungen in Temperatur und CO₂-Gehalt am konkreten Standort tatsächlich zu Ertragssteigerungen führen, hängt wesentlich von der Wasser- und Nährstoffversorgung ab, wobei der limitierende Faktor in Zukunft vermutlich die Wasserversorgung sein wird (Flaig et al., 2003).

Die Wasserversorgung ist einerseits vom Wasserangebot, andererseits vom Wasserbedarf der Wälder abhängig. Mit steigenden Temperaturen steigt der Wasserbedarf in Folge einer erhöhten Pflanzen- und Bodenverdunstung (Evapotranspiration).

Unter der Annahme eines Rückgangs der Niederschläge im Zuge der Klimaveränderung würde sich zusätzlich das Wasserdargebot verringern. Auch sinkende Grundwasserstände in Folge von Meliorationsmaßnahmen und verstärkter Wasserentnahme können das Wasserangebot weiter schmälern. Die Konsequenzen eines verringerten Wasserdargebots sind Trockenstress, vermindertes Wachstum und Dürreschäden. Die Anfälligkeit gegenüber Trockenstress variiert stark von Baumart zu Baumart. Während z.B. die Fichte und die Buche wenig trockenresistent sind, zeigt sich die Kiefer relativ robust gegenüber Trockenstress. Laut einer Expertenbefragung ist die Gefahr von Trockenstress die bedeutendste Auswirkung des Klimawandels auf das Waldwachstum (Spiecker et al., 2000).

Verschiebung von Wachstumszonen und der Baumartenzusammensetzung

Das Klima ist einer der Hauptstandortfaktoren des Waldes und bestimmt wesentlich die Baumartenzusammensetzung der potenziell natürlichen Vegetation bzw. die Eignung einzelner Arten in der forstlichen Nutzung. Langfristige Klimaänderungen führen zu Veränderungen

der Standortbedingungen und damit zur Verschiebung von Wachstumszonen. Da sich Wälder nur in sehr langen Zeiträumen an Veränderungen der Umwelt anpassen können, stehen viele Waldökosysteme bereits heute unter einem erhöhten Anpassungsdruck. Dieser ist um so größer, je weiter sich die ökologischen Standortansprüche in Zukunft ändern werden (Borchert & Kölling, 2004). Besonders betroffen sind Baumarten mit einem geringen Toleranzbereich (z.B. Tanne) und Arten, die feuchte und kühle Verhältnisse benötigen (z.B. Fichte).

Schädlinge und Krankheitserreger

Tierische (Insekten) und pflanzliche Schädlinge (Pilze) und Krankheitserreger profitieren in der Regel von steigenden Temperaturen. Während Schad- und Krankheitserreger in der Lage sind, sich aufgrund ihrer schnellen Generationsfolge und Mobilität schnell an Klimaveränderungen anzupassen, kann die Anfälligkeit von Wäldern gegenüber Schädlingen durch klimabedingte Vorschädigung, wie Trockenstress oder Windwurf, erhöht sein.

Tierische Schädlinge, z.B. der Borkenkäfer, können bei höheren Temperaturen und langen Vegetationsperioden mehrere Generationszyklen pro Jahr ausbilden und so in höherer Anzahl und über längere Zeiträume auftreten. Milde Winter erhöhen ebenfalls den Reproduktionserfolg. Zudem können sich Schadinsekten weiter nach Norden und in höhere Lage ausbreiten. Auch mit dem Einwandern von neuen Schädlingen ist zu rechnen (Ulrich & Puhe, 1994). Es muss jedoch betont werden, dass verschiedene Schadinsektenarten sehr unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren können.

Waldbrandgefahr

Für das Waldbrandgeschehen spielen zwei Faktorenkomplexe eine wichtige Rolle: menschliches Handeln und Klima- bzw. Witterungsgeschehen. Eine klimatisch bedingte Waldbrandgefahr erhöht zwar die Wahrscheinlichkeit von Waldbränden, ausgelöst werden Waldbrände aber in der Regel durch menschliche Tätigkeit (Badeck et al., 2004b). Generell nimmt in trockenen warmen Sommern die Waldbrandgefährdung zu.

Auswirkungen von Wetterextremen – Sturmschäden

Als besonders sturmanfällig gelten bei den Nadelbäumen vor allem die Fichte und die Douglasie, bei den Laubbäumen insbesondere Buche, Birke und Pappel. Mischbestände gelten als weniger anfällig. Besonders gefährdet sind auch hier vorgeschädigte Bäume (Ulrich & Puhe, 1994). Nach Sturmschäden besteht oft eine erhöhte Gefahr von Insektenkalamitäten, insbesondere für den Befall durch Borkenkäfer.

4.3.3 Ausgangssituation: Forstwirtschaft in Deutschland

Deutschland ist mit 11,1 Mio. ha Waldfläche zu etwa einem Drittel bewaldet. Fast drei Viertel der Wälder (73%) sind Mischwälder. Die Fichte (*Picea abies*) ist auf etwas mehr als einem Viertel der Waldfläche (28%) anzutreffen und damit die häufigste Baumart in Deutschland. Es folgen Kiefer (*Pinus sylvestris*) mit 23%, Buche (*Fagus sylvatica*) mit 15% und Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* und *Q. petraea*) mit 10% (Abb. 4.3-1a; BMVEL, 2004). 46% der Waldfläche Deutschlands befindet sich in Privatbesitz, 34% sind Staatswald und 20% sind Städten, Gemeinden u.a. Körperschaften zugeordnet (Abb. 4.3-1b). Die Forstwirtschaft beschäftigt ca. 175.000 Menschen und erwirtschaftet zusammen mit der Holzwirtschaft ca. 3% des Bruttosozialproduktes (DFWR, 2001).

Aktuelle Entwicklung

Als Folge veränderter Managementmaßnahmen (Waldumbauprogramme) hat der Anteil der Laubbäume, insbesondere der Buchen, in den letzten 15 Jahren deutlich zugenommen, während der Anteil der Nadelbäume zurückging. Auch die Waldfläche nahm leicht zu, im Durchschnitt um ca. 3500 ha je Jahr.

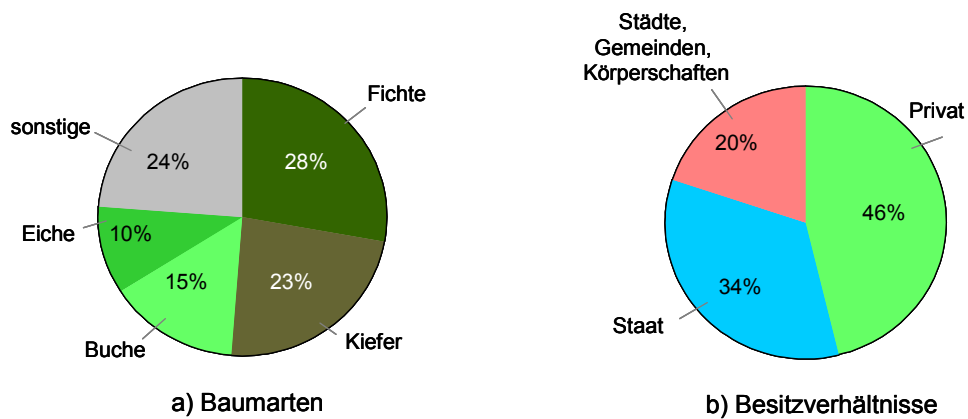


Abb. 4.3-1: Baumarten und Besitzverhältnisse in Deutschland (BMVEL, 2004; DFWR, 2001).

Die Holzvorräte in den deutschen Wäldern sind hoch. Mit durchschnittlich 320 Vorratsfestmetern pro Hektar (VFm/ha) befinden sie sich nicht nur auf einem historischen Höchststand, sondern nehmen auch im Vergleich mit den europäischen Nachbarländern eine Spitzenposition ein. Auch der Holzzuwachs ist vergleichsweise hoch: Für die alten Bundesländer wurde in der Beobachtungsperiode von 1987 bis 2002 ein jährlicher Zuwachs von durchschnittlich 12,6 VFm/ha (über alle Baumarten und Bestandsschichten) festgestellt. Dieser Trend wurde auch für viele andere Länder Europas bestätigt (Spiecker et al., 1996). Von diesem Zuwachs werden im Durchschnitt nur ca. zwei Drittel abgeschöpft. Dadurch, dass weniger Holz genutzt wird als nachwächst, steigen Holzvorrat und Alter der Wälder bzw. der Bäume an. Dies hat Vorteile (ältere Wälder sind i.d.R. vielfältiger, struktureicher und speichern mehr Kohlenstoff), bringt gleichzeitig aber auch Risiken mit sich: Mit zunehmendem Alter werden Bäume anfälliger gegen Umweltstress und das Risiko einer Holzentwertung durch Kalamitäten steigt (BMVEL, 2004).

Neuartige Waldschäden

Seit Mitte der 1970er Jahre werden in ganz Europa großflächig sogenannte neuartige Waldschäden registriert. Waren ursprünglich überwiegend Tannen und Fichten betroffen, zeigen sich diese Schäden nun vermehrt auch an Laubbäumen, insbesondere an der Buche. Als Ursachen wird ein Zusammenspiel verschiedener abiotischer Einflüsse (Schadstoffbelastung, Stickstoffeintrag, Witterung) und biotischer Faktoren (Kalamitäten) vermutet. Die Schadstoffbelastung wird darunter bisher als wichtigste Ursache angesehen. Seit Mitte der 80er Jahre wird der Zustand der deutschen Wälder regelmäßig in Walschadensinventuren, überwiegend anhand des Merkmals „Kronenverlichtung“, dokumentiert.

Im Jahr 2004 zeigten 72% aller Bäume deutliche Kronenverlichtung oder waren der Warnstufe zugeordnet. Dies ist der höchste Stand seit Beginn der Walschadenserhebung. Als Hauptursache für das hohe Schadensniveau in 2004 wird erstmalig nicht die Schadstoffbelastung, sondern die Witterung im heißen und trockenen „Rekordsommer“ 2003 und ihre Nach- und Nebenwirkungen angesehen. Dazu gehören direkte Dürre- und Strahlungsschäden, Schäden durch hohe Ozonbelastung in Folge der intensiven Sonneneinstrahlung und die Ausbreitung von Kalamitäten in Folge des milden Winters 2003 und der Vorschädigung durch die direkten Witterungsfolgen (BMVEL, 2004).

Aktuelle Auswirkungen des Klimawandels

Der oben beschriebene gesteigerte Holzzuwachs ist möglicherweise bereits ein Anzeichen des Klimawandels. Zwar wird als Hauptursache Stickstoffeintrag aus der Luft vermutet, aber auch die zunehmende Erwärmung und die Verlängerung der Vegetationsperiode tragen zu einem vermehrten Holzwachstum bei. Von den 60er Jahren bis zu den 90er Jahren des 20. Jh. verlängerte sich die Vegetationszeit wichtiger Waldbaumarten in Europa und Deutschland bereits um 10-11 Tage (Menzel, 1997; Badeck et al., 2004a).

Gefährdet sind die Wälder in Deutschland vor allem durch Trockenstress. Klimatisch sind in Deutschland insbesondere die warmen und trockenen Gebiete im Nordosten und im Südwesten von Trockenstress betroffen. Im Südwesten kommt hinzu, dass hier mit der Fichte eine wenig trockenheitsresistente Baumart die Hauptbaumart ist. Im Norden, v.a. im Nordosten, erhöhen die sandigen Böden mit ihrem geringen Wasserrückhaltevermögen die Gefahr von Trockenstress. Zudem sind hier die grundwassernahen Standorte (Auenwälder) durch zurückgehende Grundwasserstände bedroht (Gerstengarbe et al., 2003).

Wie stark das Ertragspotenzial durch Trockenstress gefährdet sein kann, zeigen insbesondere die Auswirkungen des Hitzesommers 2003. Trockenheit und hohe Temperaturen führten dazu, dass die pflanzenverfügbaren Wasserreserven in vielen Waldböden nahezu vollständig aufgebraucht wurden. Im August/September wurde die Wasseraufnahme der Bäume daher auf vielen Standorten stark beeinträchtigt. Der damit verbundene Wassermangel hatte in vielen Waldgebieten erhebliche Auswirkungen. Zu beobachten waren vorzeitiger Blatt- bzw. Nadelabwurf, Sonnenbrand und ein allgemeiner Verlust an Vitalität der Waldbäume. Dies äußerte sich im schlechten Kronenzustand im Jahr 2004, aber auch in anderen Bereichen, z.B. beim Holzzuwachs und der Widerstandskraft gegen Schaderreger (BMVEL, 2004). Schädigungen durch extreme Witterungsbedingungen wie im Jahr 2003 können über mehr als 10 Jahre hinweg nachwirken und auf diese Weise über die aktuell geringe Wachstumsrate hinaus Wachstumstrends dauerhaft verändern (Anders et al., 2004).

Im Jahr 2003 zeigte sich auch der Zusammenhang zwischen Trockenheit, Hitze und der Gefahr von Schädlingsbefall. Als Folge der hohen Temperaturen in 2003 und der geringen Vitalität der Wälder kam es zu einer explosionsartigen Massenausbreitung von Schädlingen, insbesondere des Borkenkäfers und der Nonne (blattfressende Schmetterlingsart) (BMVEL, 2003)

Auch die Waldbrandfläche lag in Deutschland im Hitzejahr Jahre 2003 mit 1315 ha um 25% über dem Durchschnitt der Jahre 1991-2002. Die größte Waldbrandfläche seit 1990 wurde mit 4908 ha und einer Schadenssumme von 12,8 Mio. € im Jahre 1992 registriert. Im damaligen Rekordsommer mit absoluten Maxima der Lufttemperatur bis zu 39,1 °C lag das Maximum des Niederschlagsdefizits im Nordosten Deutschlands, wo aufgrund der Standort- und Bestockungsverhältnisse (sandige Böden, Kiefer) grundsätzlich von der höchsten Waldbrandgefährdung ausgegangen werden muss (Anders et al., 2004).

Da nahezu jeder Waldbrand als Bodenfeuer beginnt, ist es bedeutungsvoll, dass die in den letzten Jahrzehnten zunehmende Vergrasung der Wälder mit Sandrohr (*Calamagrostis epigejos* L.) und Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa* L.) zwei Arten begünstigte, die auf einer Skala der leichten Entzündbarkeit Spitzenplätze einnehmen. Außerdem trägt die Grasschicht zu einer erhöhten Verdunstung und damit zu einer weiteren Austrocknung bei. Als Ursache für die zunehmende Vergrasung werden zum einen Stickstoffeinträge aus Luft und die Versauerung der Böden, zum anderen aber auch die Klimaerwärmung in Verbindung mit trockeneren Sommern verantwortlich gemacht. Damit erhöhen trockenere Sommer die Waldbrandgefahr nicht nur im Trockenjahr selbst, sondern auch in darauf folgenden Jahren (Anders et al., 2004)

In den vergangenen Jahrzehnten traten zudem gehäuft Waldschäden durch Stürme auf. Besonders in Süddeutschland richteten die Sturmtiefs „Vivian“, „Wiebke“ (1990) und „Lothar“ (1999) verheerende Schäden an.

Forstwirtschaft und Klimaschutz

Aktuell sind die Wälder Deutschlands eine Kohlenstoffsенке, da mehr Holz nachwächst als eingeschlagen wird. Zwischen 1987 und 2003 wurden durch die Wälder in Deutschland ca. 75 Mt CO₂ fixiert, was ca. 3% der bundesdeutschen CO₂-Emissionen in diesem Zeitraum entspricht (BMVEL, 2005). Insofern kommt dem Schutz und der Pflege der Wälder auch eine wichtige Rolle im Klimaschutz zu.

Weitere Einflussfaktoren auf die Forstwirtschaft in Deutschland

Wälder in Deutschland sind überwiegend bewirtschaftete Ökosysteme. Managementstrategien (Zielbaumart, Umtriebszeit, Art der Holzentnahme) bestimmen wesentlich den Zustand

des Waldes und beeinflussen die Prozesse im Wald. Die gewählten Managementstrategien hängen wiederum zum großen Teil von der aktuellen Situation auf dem Holzmarkt ab. Auch Landnutzungsänderungen wie Aufforstung, Straßen- und Siedungsbau stellen direkte Wirkungen dar. Neben dieser direkten Beeinflussung durch den Menschen werden Wälder indirekt durch anthropogenen Stoffeintrag (Schwefelverbindungen, Stickstoff, Ozon) und Veränderungen im Wasserhaushalt (Melioration) beeinträchtigt. Hinzu kommen biotische Faktoren wie Schadinsekten und Pilze, aber auch das Einwandern von Neophyten. Zwischen vielen dieser Faktoren gibt es Wechselwirkungen. Klima- und Wetterextreme und die Auswirkungen des Klimawandels wirken als zusätzliche Stressoren zu den vorhandenen Belastungen und verstärken diese oft indirekt (z.B. Gefahr von Kalamitäten).

4.3.4 Auswirkungen des Klimawandels – Trends und Projektionen

Ertragspotenzial und Holzzuwachs

Es ist anzunehmen, dass in Zukunft der Einfluss des Klimawandels auf das Ertragspotenzial zunimmt. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Wasserversorgung und damit den Niederschlägen und ihrer saisonalen Verteilung zu. Daneben wird das Ertragspotenzial auch in Zukunft stark von den gewählten Managementoptionen (Zielbaumart, Art der Bewirtschaftung) abhängen.

Eine Expertenschätzung kam unter der Annahme einer Erwärmung um 1-2°C und einer Zunahme der Niederschläge um 0-20% in den nächsten 60 Jahren zu dem Ergebnis, dass, je nach Baumart und Region, die Produktivität (jährlicher Zuwachs) um 5-20% zunehmen könnte (Spiecker et al., 2000). Szenarien der Studie „Wälder und Forstwirtschaft Deutschlands im Globalen Wandel“ (Pretzsch et al., 2002) ergaben unter dem relativ niederschlagsreichen Klimaszenario HadCm2 eine um 5% erhöhte Holzproduktion in Deutschland bis zum Jahr 2030, während sie sich unter dem relativ trockenen Klimaszenario ECHAM4 um 9% verringerte (Döbbeler & Spellmann, 2002).

Aus den Ergebnissen des Projektes ATEAM (siehe Kap. 2) geht hervor, dass in Deutschland in den nächsten hundert Jahren in allen verwendeten Szenarien mit einem weiteren Anwachsen der Holzvorräte und damit auch der Kohlenstoffvorräte gerechnet werden kann (Abb. 4.3-2, Abb. 4.3-7 im Anhang). Deutsche Wälder würden nach diesen Szenarien auch in Zukunft eine Kohlenstoffsenke darstellen. Verbunden damit ist allerdings eine Überalterung der Bestände, geringere jährliche Holzzuwächse (Abb. 4.3-3, Abb. 4.3-8 im Anhang) und eine höhere Anfälligkeit gegenüber Wetterextremen und Kalamitäten. Ursache für diesen Trend ist

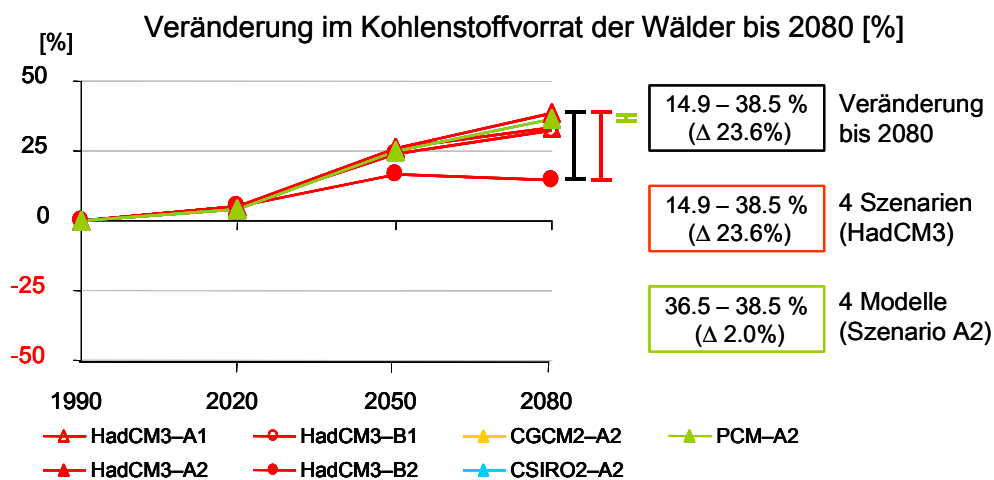


Abb. 4.3-2: Relative Veränderung des Kohlenstoffvorrates (ober- und unterirdisch) der Wälder in Deutschland gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

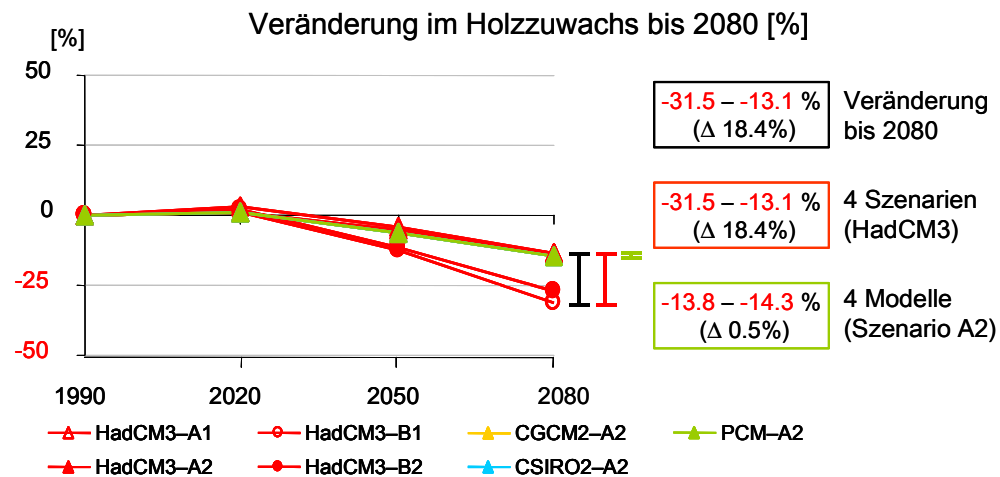


Abb. 4.3-3: Relative Veränderung der jährlichen Holzzuwächse in Deutschland gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080.

jedoch weniger der Klimawandel, sondern die aktuellen Managementtrends der geringen Holzentnahme. Entsprechend spielen in den Ergebnissen die unterschiedlichen Annahmen über die sozioökonomischen Rahmenbedingungen (SRES-Szenarien) eine größere Rolle als die unterschiedlichen Annahmen der verschiedenen Klimaszenarien.

Verschiebung von Wachstumszonen und der Baumartenzusammensetzung

Unter der Annahme zurückgehender Niederschläge ist die Buche in vielen trockeneren Regionen (u.a. in Teilen Ostdeutschlands) benachteiligt, da sie hier schon unter heutigen Bedingungen ihre Trockenheitsgrenze erreicht. Hier werden sich die Standortbedingungen in Richtung Eichen-Hainbuchen bzw. Eichen-Kiefernwälder verschieben.

Besonders betroffen ist auch die Fichte. Sie ist an feuchtere, kühlere Standorte angepasst und ihr natürliches Verbreitungsareal beschränkt sich auf subalpine und hochmontane Lagen der Hoch- und Mittelgebirge. Aktuell wird die Fichte aber in Süd- und Westdeutschland auch auf anderen Standorten großflächig angebaut. Hier ist in Folge der Klimaerwärmung, besonders in Verbindung mit Trockenperioden, mit Ertragseinbußen u.a. durch Trockenstress und zu hohe Temperaturen zu rechnen (Flaig et al., 2003).

Allerdings bieten die veränderten Standortansprüche auch die Chance für die Einführung neuer Arten und eine Diversifizierung des Artenspektrums. So wird z.B. für den Alpenraum erwartet, dass die Höhengrenze der Buche ansteigen wird und somit der Anteil an Mischwäldern in dieser Region zunehmen könnte.

Inwieweit sich entsprechend angepasste mediterrane Arten nach Norden ausbreiten könnten, ist immer noch Gegenstand der Diskussion. Limitierend könnten die unterschiedlichen Ansprüche an die Bodenverhältnisse sein (pH-Wert) (VWF, 1994).

Insgesamt ist damit zu rechnen, dass die Geschwindigkeit des Klimawandels die natürlichen Anpassungsraten von Wäldern übersteigt. Deshalb sollten in Zukunft an den Klimawandel angepasste Arten und Sorten gezielt gefördert werden.

Schädlinge und Krankheitserreger

Die vollständigen Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel und Schädlingen und Krankheitserregern sind noch nicht verstanden. Allerdings zeichnet sich ab, dass insbesondere die Schädlinge der Fichte (u.a. der Borkenkäfer) vom Klimawandel profitieren (Flaig et al., 2003).

Waldbrandgefahr

Modellrechnungen über das Waldbrandrisiko für die Bundesländer Baden-Württemberg und Brandenburg von 2000 bis 2050 zeigen für Brandenburg ein stark erhöhtes Risiko. Insbesondere der trockenere Süden des Landes weist unter den verwendeten Klimaszenarien die höchste Waldbrandgefahrenklasse auf. In Baden-Württemberg ist aufgrund feuchterer Verhältnisse und der anderen Baumartenzusammensetzung nur mit einer sehr moderaten Erhöhung des Waldbrandrisikos zu rechnen. Die tatsächliche Waldbrandfläche wird in Zukunft stark von der Entwicklung der Waldbrandprävention abhängig sein. Neuere Technologien, wie Videoüberwachung und die Verbreitung von Mobiltelefonen, haben die Brandflächen in den letzten Jahren bereits merklich reduziert.

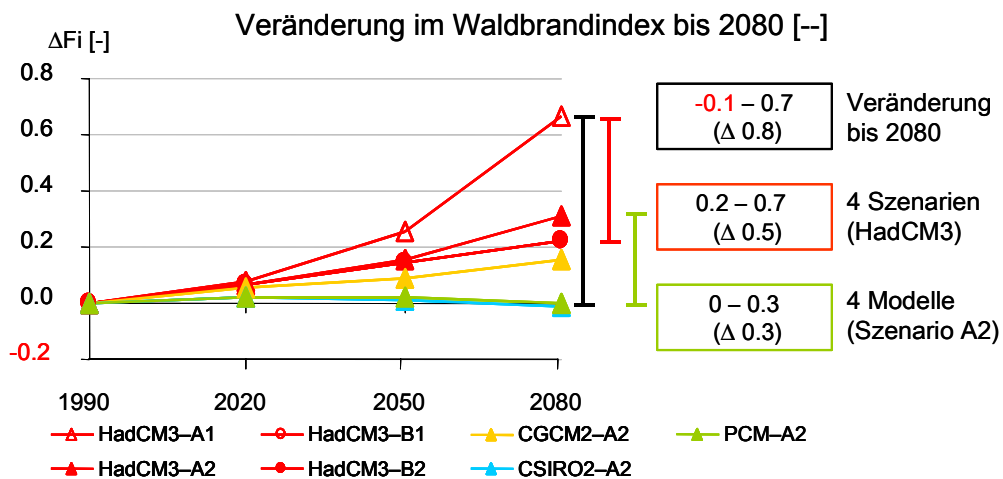


Abb. 4.3-4: Veränderung des Waldbrandindexes (Thonicke, 2002) in Deutschland gegenüber 1990 für sieben ATEAM-Szenarien bis 2080. Der Waldbrandindex ist einheitenlos.

Im Projekt ATEAM wurde ein Waldbrandindex nach Thonicke verwendet (Thonicke, 2002), der neben klimatischen Bedingungen auch die Feuchteverhältnisse im Oberboden berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen für Deutschland für fast alle Klimaszenarien einen deutlichen Anstieg der Waldbrandgefahr (Abb. 4.3-4). Dieser steigt überproportional mit der angenommenen Erwärmung in den einzelnen Szenarien. Von der erhöhten Waldbrandgefahr sind mit Ausnahme der Alpen, des Voralpenlandes und der Küstengebiete alle Teile Deutschlands betroffen, besonders aber die trockenen Nadelwälder auf sandigen Böden im Norden und Nordosten, die schon 1990 ein relativ hohes Risiko aufwiesen (siehe Abb. 4.3-9 im Anhang).

Auswirkungen von Wetterextremen – Sturmschäden

Es ist zwar wahrscheinlich, dass sich die Häufigkeit und Intensität von Stürmen in Zukunft erhöht (siehe Kap. 3), allerdings liegen dafür noch keine verlässlichen Projektionen vor. Auch die Anfälligkeit gegenüber Sturmschäden durch Vorschädigung könnte sich, insbesondere unter der Annahme von vermehrtem Trockenstress, erhöhen.

4.3.5 Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten

Wie in Kap. 2.6 konkret beschrieben, wurden in verschiedenen klimasensitiven Bereichen Deutschlands Expertenbefragungen durchgeführt – auch im Forstwirtschaftssektor. Die Befragungen regionaler Experten aus den Forstverwaltungen von 13 deutschen Bundeslän-

dern¹⁵ umfasste 13 potenzielle Elemente und Auswirkungen des Klimawandels, elf Risiken und zwei Chancen. Die Ergebnisse der Befragungen sind in Abb. 4.3-5 grafisch dargestellt.

	Schleswig-Holstein	Mecklenburg-Vorpommern	Niedersachsen	Brandenburg	Sachsen-Anhalt	Nordrhein-Westfalen	Hessen	Thüringen	Sachsen	Rheinland-Pfalz	Saarland	Baden-Württemberg	Bayern
längere Trockenperioden	-2	-2	-3	-3	-3	-2	-3	-2	-3	-3	-3	-3	-3
extremere Trockenperioden	-1	-1	-3	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-3	-2	-3	-2
häufigere extreme Niederschläge	-1	0	-2	-2	-3	-2	-3	-2	-3	-2	0	-2	-3
mehr Niederschläge	-2	0	k.A.	0	-2	-2	-2	0	-1	-2	0	-2	-2
häufigere oder stärkere Stürme	-3	-3	-3	-1	-3	-3	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3
sinkender Grundwasserspiegel	-3	-3	-3	-3	-3	0	-1	-1	-3	-2	-1	-1	-1
verminderte Artenvielfalt der Wälder	-3	-1	-3	-1	-1	-1	-1	0	k.A.	-1	0	-3	-2
Einwanderung neuer Schädlingsarten	k.A.	-2	-2	-2	-2	-2	-3	0	-1	-2	-1	-2	-3
erhöhte Anfälligkeit ggü. herkömmlichen Schadorganismen	-1	0	-3	-3	-2	-3	-3	-3	-2	-3	-2	-3	-3
erhöhte Waldbrandgefahr	-1	-3	-3	-3	-3	-1	-3	-1	-2	-2	0	0	-3
geänderte Ansprüche anderer Landnutzer	-2	-1	-1	-1	-3	-1	0	-2	-1	-1	-1	-1	0
erhöhtes Ertragspotenzial	2	0	1	0	1	2	3	2	0	2	3	1	2
größeres Spektrum an geeigneten Standorten	2	0	0	1	1	0	0	2	1	2	0	0	2

Legende: -3 sehr negativ -2 negativ -1 etwas negativ 0 weder pos. noch neg. 1 etwas positiv 2 positiv 3 sehr positiv k.A. keine Angaben

Abb. 4.3-5: Einschätzungen potenzieller Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Forstwirtschaft. Auswertungsgrundlage: Befragungen in 13 Bundesländern.

Die meisten angesprochenen Risiken wurden durch die Experten mit *negativ* oder *sehr negativ* und die Chancen mit *positiv* oder *sehr positiv* bewertet werden. Lediglich zwei Themen (verminderte Artenvielfalt der Wälder und geänderte Ansprüche anderer Landnutzer) erhalten im Mittel die Bewertung *etwas negativ*. Keine der im Rahmen des Klimawandels möglichen risiko- oder chancenreichen Entwicklungen wird im Mittel als bedeutungslos (*weder positiv noch negativ*) eingestuft.

Risikobewertungen

Im Mittel der Bewertungen aus den verschiedenen Bundesländern erhalten drei Risiken die Bewertung *sehr negativ*. Hierunter fallen die Punkte *häufigere oder stärkere Stürme* und *längere Trockenperioden* als direkte Folgen des Klimawandels, sowie eine *erhöhte Anfälligkeit gegenüber herkömmlichen Schadorganismen* als indirekte Folge.

Häufigere oder stärkere Stürme stellen die größte Sorge der Experten dar. Dieses Risiko wird von allen Befragten am häufigsten mit *sehr negativ* bewertet. Zwei Treiber scheinen für diese Bewertung verantwortlich zu sein: Erstens stellen die Experten eine Zunahme der Sturmschäden über die letzten Dekaden fest. Zweitens betonen sie, dass Stürme die Wälder unmittelbar und offensichtlich gefährden, auch können sie für Forstbetriebe existenzbedrohend

¹⁵ In den Stadtstaaten Hamburg, Bremen und Berlin wurden keine Befragungen im Forstbereich durchgeführt.

werden. Holz aus Sturmwürfen drängt ungeplant und in großen Mengen auf den Markt, dies führt zu einem starken Preisverfall. Beispielweise gab es in den Monaten nach den großen Stürmen der neunziger Jahre Einbrüche in den Holzpreisen von bis zu 50 Prozent. Viele Landesforste müssen ihre Aufwendungen inzwischen selber erwirtschaften und geraten leichter in finanzielle Schwierigkeiten. Noch gefährdeter sind kleine Privatwaldbesitzer, da diese kaum über Rücklagen verfügen, um solche Einbrüche zu überstehen.

Längere Trockenperioden spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Sie werden von allen Experten mindestens als negativ bewertet, die Mehrzahl der Befragten bewertet längere Trockenperioden sogar mit *sehr negativ*. Im Rahmen der offenen Fragen findet sich der Bezug auf den trockenen Sommer 2003. Dieser Bezug und die hohe negative Bewertung lässt einen Zusammenhang zwischen nahliegenden Ereignissen und der Höhe der Negativbewertung vermuten. Einige Experten erklären den Sommer 2003 zu einer Art Referenzwert. In Zukunft wird mit einer Zunahme von heißen Sommern gerechnet, daher soll die zukünftige Waldplanung an den Werten des Jahres 2003 ausgerichtet werden.

Eine ähnlich existenzielle Bedrohung der Waldbewirtschaftung sehen die Befragten in einer *erhöhten Anfälligkeit gegenüber herkömmlichen Schadorganismen*. Die Mehrzahl der Experten stuft dieses Risiko als *sehr negativ* ein. Dabei nennen sie unterschiedliche Arten von Schadorganismen. Einige heben die Schadwirkungen pathogener Pilze hervor, andere betonen bestimmte Insektenarten. Vor allem wird auf die extreme Vermehrung von Schädlingsarten hingewiesen. Die Arten sind zwar schon seit langem bekannt, spielten bisher aber nur eine marginale Rolle. Als Auslöser für die extreme Vermehrung werden häufig günstige Witterungsbedingungen, beispielsweise milde Winter, genannt.

Die Mehrzahl der angesprochenen Risiken wird im Mittel über die 13 Bundesländer mit *negativ* bewertet. Hierzu gehören die Punkte extremere Trockenperioden, häufigere extreme Niederschläge und mehr Niederschläge als direkte Folgen des Klimawandels, sowie sinkender Grundwasserspiegel und Einwanderung neuer Schädlingsarten als indirekte Folgen.

Bei der Betrachtung der Verteilung der Einschätzungen über die Bundesländer lassen sich einige Muster erkennen. Sehr gut zeigt sich ein Zusammenhang etwa in der Einschätzung des Risikos *häufigerer extremer Niederschläge*. Extreme Niederschläge lassen die Gefahr von Hochwasserereignissen steigen. Viele der Befragten scheinen in ihren Risikoeinschätzungen auch durch ihre Erfahrungen der letzten Jahre bestimmt zu sein. Hier spielen besonders die extremen Niederschläge im Sommer 2002 eine Rolle. Gerade die Experten aus den Anrainerländern von Elbe und Donau bewerten das Thema häufigerer extremer Niederschläge als *sehr negativ*, waren sie doch besonders durch die Überschwemmungen betroffen. Als besondere Anforderung an die Forstplanung in diesem Zusammenhang betonen die Befragten vor allem die Wasserrückhaltefunktion der Wälder und den Schutz vor Bodenerosion.

Sehr deutlich zeigt sich ein geographisches Muster auch bei den Einschätzungen des Risikos *sinkender Grundwasserspiegel*. Zwar wird dieses Risiko im Mittel als *negativ* für die Wälder und Forste eingestuft. Jedoch zeigen sich deutliche Unterschiede in den Bewertungen aus den verschiedenen Bundesländern. Die Befragten aus den nördlichen und östlichen Bundesländern bewerten dieses Risiko durchweg als *sehr negativ*, während für die südlichen und westlichen Bundesländer überwiegend die Kategorie *etwas negativ* gewählt wird.

Ähnlich verhält es sich mit dem Risiko einer *Zunahme der Niederschläge*. Auch hier zeigt sich ein geographisches Muster. Während die westlichen und südlichen Bundesländer dieses Risiko überwiegend als negativ bewerten, bewerten die ostdeutschen Bundesländer eine Zunahme der Niederschläge überwiegend als bedeutungslos.

Die *Einwanderung neuer Schädlingsarten* und die *Gefahr von Waldbränden* zeigen eine breite Streuung der Antworten. Diese Streuungen zeigen jedoch keine eindeutigen geographische Muster. In den Anmerkungen der Experten zu diesen Themen ist ein hoher Grad an Ungewissheit über die Eintrittswahrscheinlichkeit und den Grad der Gefährdung festzustellen. Auch wird eine kausale Verbindung zwischen dem Klimawandel und den genannten Risiken nicht unbedingt als sicher eingestuft. Beispielsweise sehen einige der Befragten die eigentliche Gefährdung der Wälder durch neue Schädlinge im steigenden internationalen Warenverkehr. Sogenannte Importschädlinge verbreiten sich über Waren und Verkehrsmittel weltweit und können auch Wälder in Deutschland befallen.

Chancenbewertungen

Eine der Chancen des Klimawandels wird im *erhöhten Ertragspotenzial der Wälder* gesehen. Dieser Punkt wurde im Schnitt als *positiv* eingestuft. Dabei wird im Osten Deutschlands diesem Thema eine geringere Bedeutsamkeit beigemessen als im Westen, einige Befragte aus westdeutschen Ländern bewerten diese Chance sogar als *sehr positiv*. Ein Anstieg des Ertragspotenzials wird vor allem kurzfristig erwartet, langfristig könne es durch den Klimawandel auch zu einer Abnahme kommen. Außerdem betonen die Experten, dass ein erhöhtes Potenzial sich nicht automatisch als tatsächlicher Ertrag realisieren lässt. Dies wird unter anderem mit einer relativ niedrigen Nachfrage nach Holz begründet.

Eine weitere Chance des Klimawandels besteht in einem größeren Spektrum forstwirtschaftlich geeigneter Standorte. Die Verschiebung von Klimaregionen kann die Chance eröffnen, bestimmte Standorte forstwirtschaftlich neu oder besser nutzen zu können. Dieser Punkt wird im Mittel als *etwas positiv* eingestuft. In vier Ländern wählten die Experten die Kategorie *positiv*, in sechs Ländern die Antwort *weder positiv noch negativ*. Einige Befragte beschreiben Programme, die sich speziell an die Aufforstung von Grenzertragsböden richten. Grenzertragsböden bezeichnen solche Böden, die bisher landwirtschaftlich genutzt werden, deren Bewirtschaftung sich aber kaum noch lohnt. Die Programme fördern eine forstwirtschaftliche Nutzung solcher Flächen durch schnell wachsende Hölzer, die später unter anderem zur alternativen Energiegewinnung verwendet werden sollen. Die Auswirkungen des Klimawandels können bei der Entscheidung für die Umwandlung solcher Flächen eine Rolle spielen.

Mehrere Befragte betonen die *Wichtigkeit öffentlichen Interesses* an der Rolle der Wälder. So könnte die Gefährdung der Wälder durch den Klimawandel zu mehr öffentlichem Interesse für die Belange der Forstwirtschaft führen. Gesteigerte Aufmerksamkeit wird als positiv befunden, es belebe die Diskussion über den gesellschaftlichen Nutzen und die Funktionen des Waldes und könne das Verständnis für langfristige Waldplanung stärken. Hier werden Vergleiche zur öffentlichen Debatte über das Waldsterben gezogen. Weiterhin wird von manchen Experten die Bedeutung der *Wälder als Rohstofflieferant* betont. Mittelfristig könnte Holz als regenerativer Energieträger in Biomassekraftwerken gesteigerte Verwendung finden, dies gelte besonders bei anhaltend hohem Angebot an Holz. Diese Form der Nutzung biete dabei auch für minderwertiges Holz eine gute Verwendungsmöglichkeit, welches bisher eher als unvermeidbares Kuppelprodukt hochwertiger Holzgewinnung angesehen wird. Der Fokus forstwirtschaftlicher Betriebe könnte sich daher mittelfristig ändern, es zählt nicht alleine die Qualität, auch die Quantität der Holzgewinnung gewinnt an Bedeutung. Dies kann andere Pflanzungen und Bewirtschaftungsmethoden und ggf. nachteilige Konsequenzen für das „Ökosystem Wald“ nach sich ziehen.

4.3.6 Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels

Waldumbaumaßnahmen – Erhöhung der Vielfalt: Vielfältige Wälder mit naturnaher Artenzusammensetzung und breiter genetischer Amplitude bieten angesichts der für den konkreten Waldstandort kaum vorhersagbaren Folgen der Klimaänderung die beste Voraussetzung für anpassungsfähige und damit auch künftig stabile Waldökosysteme (BMVEL, 2004). Die bereits laufenden Programme zum Waldumbau in Richtung standortangepasster Baumarten und Mischwald gehen prinzipiell bereits in die richtige Richtung, denn nicht standortangepasste Baumarten und Monokulturen weisen oft einen geringeren Toleranzbereich gegenüber langfristigen Änderungen auf und sind anfälliger gegenüber Störungen (Schädlinge, Windbruch). Allerdings sollten bei der Auswahl der Zielbaumarten mögliche Auswirkungen des Klimawandels beachtet werden. In kritischen Bereichen (sandige Böden, aktuell schon ungünstige Wasserversorgung) sollte der verstärkte Anbau von trockenbeständigen bzw. genügsamen Arten gefördert werden. So sollte z.B. der Waldumbau von Nadelbaum-Reinbeständen durch Einbringen von Buche solche Standorte ausnehmen, die feuchtebedingt bereits heute Grenzbedingungen für Buchenwälder aufweisen (BMVEL, 2004). Dort könnte z.B. auf Eiche oder Hainbuche ausgewichen werden. Von besonderer Bedeutung ist der Umbau von Fichtenreinbeständen auf nicht angepassten Standorten. Auf diesen Standorten erweist sich die Fichte als besonders sensibel gegenüber den direkten (Wassermangel) und indirekten (Schadinsekten) Auswirkungen des Klimawandels (Feemers et al., 2003).

Erhöhung genetischer Vielfalt: Neben der Förderung der Artenvielfalt kommt der Förderung der genetischen Vielfalt eine wichtige Rolle zu. Ein dem Standort entsprechendes Ausmaß an genetischer Variation ist die beste Garantie auf Individualebene physiologische Prozesse zu modifizieren und auf Populationsebene Anpassungsprozesse zu ermöglichen (Anders et al., 2004). Anpassung auf genetischer Ebene schließt auch die Förderung von besonders angepassten, z.B. trockentoleranten Herkünften ein.

Anbau nichteinheimischer Baumarten: Kontrovers wird diskutiert, inwieweit gut an die Folgen des Klimawandels angepasste, aber nicht nichteinheimische Baumarten (z.B. die Douglasie) verstärkt genutzt werden sollten.

Managementstrategien: Nur ca. 70% des jährlichen Zuwachses der Wälder in Deutschland wird geerntet. Damit verbunden ist eine zunehmende Überalterung der Bestände, ein Rückgang des Biomassezuwachses und ein Rückgang der Kohlenstoffaufnahme. Eine am Zuwachs ausgerichtete und damit nachhaltige Holznutzung ist daher ein wichtiger Beitrag zum Schutz unserer Wälder. Eine Verjüngung der Wälder bringt zum einen eine höhere Anpassungsfähigkeit der (jungen) Einzelbäume mit sich, zum anderen fördert sie die natürliche Selektion hin zu klimaangepassten Populationen. Mit der „Charta für Holz“ unterstützt die Bundesregierung eine Steigerung des Holzverbrauchs um 20% in den nächsten 10 Jahren (BMVEL, 2005).

Gesteigerte Vorsorge gegen Waldbrände: Solche Maßnahmen umfassen vor allem Vorsorge-maßnahmen wie bessere Waldbrandüberwachung durch Videomaßnahmen oder satellitengestützte Systeme, bessere Vernetzung der Planungsebenen (Waldbesitzer, Kommunen, Landschaftsverbände, Forstverwaltung, Feuerwehr, Straßenbau) und Verbesserung der technischen Infrastruktur. Auch der Waldumbau zu Mischwäldern, die in der Regel ein feuchteres Waldinnenklima aufweisen, verringert die Waldbrandgefahr (Badeck et al., 2004b).

Änderung der Wasserbewirtschaftungskonzepte: Hierunter sind vor allem Maßnahmen zu verstehen, die einer zusätzlichen Verringerung des Wasserangebots, v.a. durch ein Absinken des Grundwasserspiegels, entgegenwirken. Beispiele sind hier die Wiedervernässung von Auenwäldern und das Deaktivieren von Meliorationssystemen.

Reduzierung zusätzlicher Stressoren: Dazu gehören v.a. die weitere Verringerung der Stoffeinträge, die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (v.a. Bodenschutzkalkung, Minimierung von Bodenverdichtung) sowie eine Vermeidung von Störungen empfindlicher Waldökosysteme, z.B. durch eine verringerte Befahrung.

Verbessertes Risikomanagement: Insgesamt sollte ein konsistentes Risikomanagement der Forstbetriebe an Bedeutung gewinnen und z.B. durch Schulungen unterstützt werden. Hierbei geht es sowohl um das Erkennen, Vorbeugen und Abwehren von Risiken als auch um die Bewältigung von eingetretener Schäden.

4.3.7 Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten

Die Befragungen von regionalen Experten aus den Forstverwaltungen von 13 deutschen Bundesländern¹⁶ bezogen sich neben den bereits in Abschnitt 4.3.5 dargestellten Bewertungen von möglichen Auswirkungen des Klimawandels auch auf Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind. Die Befragung umfasste fünf Maßnahmenkategorien. Diese wurden von den Befragten hinsichtlich der bisherigen Maßnahmenumsetzung (siehe Abb. 4.3-6), ihrer Hindernisse und Aufwändigkeit bewertet. Zusätzlich wurde mittels der Befragung eines wissenschaftlichen Forstwirtschaftsexperten die Maßnahmen-Wirksamkeit zur Minderung der in Abschnitt 4.3.5 dargestellten potenziellen Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels erhoben (siehe Tab. 4-3).

¹⁶ In den Stadtstaaten Hamburg, Bremen und Berlin wurden keine Befragungen im Forstbereich durchgeführt.

Tab. 4-3: Einschätzung der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Forstwirtschaft.

Anpassungsmaßnahmen	Risiken											Chancen	
	längere Trockenperioden	extremere Trockenperioden	häufigere extreme Niederschläge	mehr Niederschläge	häufigere oder stärkere Stürme	sinkender Grundwasserspiegel	verminderte Artenvielfalt	neue Schädlingarten	erhöhte Anfälligkeit ggü. Schadorganismen	erhöhte Waldbrandgefahr	Nutzungskonflikte mit anderen Landnutzern	erhöhtes Ertragspotenzial	größeres Spektrum an geeigneten Standorten (Klimaregionen)
Anbau trockenbeständiger Arten	X	X				X	X						X
Umbau zu Mischwäldern	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Sicherung genetischer Variabilität		X	X			X	X	X	X			X	X
Vorsorge gegen Waldbrände	X	X								X			
Wasserbewirtschaftungskonzepte	X	X		X		X				X	X		

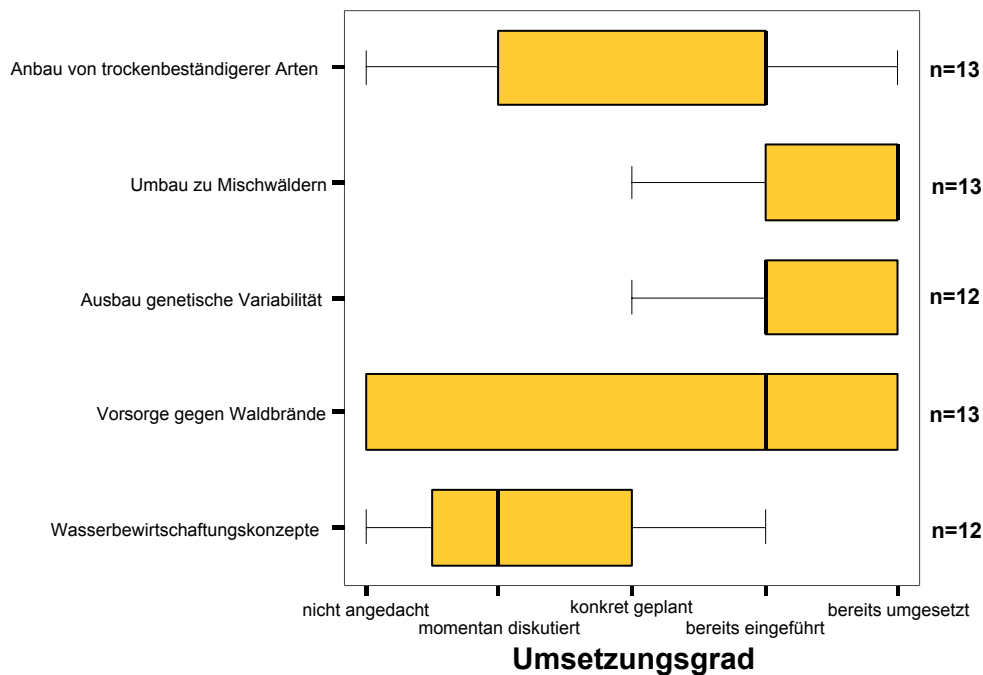


Abb. 4.3-6: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Forstwirtschaft. Auswertungsgrundlage: 13 Telefoninterviews in allen 13 Flächenländern¹⁷.

¹⁷ Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Einschätzungen für verschiedene Bundesländer als Box-Plot: Die Box umfasst die mittleren 50% der Verteilung und bezeichnet somit die Werte zwischen dem unteren und dem oberen Quartil. Je weiter links sich die gelbe Box befindet, desto negativer wird die Auswirkung des Klimawandels bewertet. Die Lage des Medians (Mittelwert) wird durch einen dicken senkrechten Strich verdeutlicht. Zwei Linien links und rechts der Box verdeutlichen die Spannweite der gegebenen Einschätzungen. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden gültigen Antworten.

Motivation bisheriger Maßnahmen durch den Klimawandel

Die Anpassungsaktivitäten der Forstwirtschaft in den deutschen Bundesländern können in *zwei Gruppen von Maßnahmen* unterteilt werden. Zum einen gibt es bestimmte Aktivitäten, deren Einführung von den befragten Experten direkt auf Prognosen und Erfahrungen über den Wandel des Klimas zurückgeführt werden. Dies trifft besonders auf Maßnahmen zu, die erst in den letzten Jahren geplant bzw. eingeführt wurden. Zum anderen beschreiben die Experten Aktivitäten, die bereits seit längerem praktiziert werden. Deren Einführung war zwar nicht durch den Klimawandel motiviert, jedoch sind diese Maßnahmen auch zur Anpassung an den Klimawandel geeignet. Beispielsweise werden in einigen westlichen Bundesländern seit über 20 Jahren Mischwaldprogramme durchgeführt. Ihre Einführung mag aus anderen Gesichtspunkten erfolgt sein, trotzdem senken solche Programme auch die Anfälligkeit gegenüber Klimawirkungen.

Anbau trockenbeständiger bzw. genügsamer Arten

Eine erste Kategorie von Maßnahmen behandelt den verstärkten *Anbau von trockenbeständigen bzw. genügsamen Arten* (z.B. Eiche, Hainbuche und Linde in Brandenburg bzw. Kiefer und Douglasie in Bayern). Der Anbau solcher Arten ist wirksam, um den Risiken längerer bzw. extremerer Trockenperioden, sinkender Grundwasserspiegel, verminderter Artenvielfalt und der Chance eines größeren Spektrums von forstwirtschaftlich nutzbaren Standorten zu begegnen (siehe Tab. 4-3).

Nach Auskunft der Befragten sind solche Maßnahmen im Mittel „bereits partiell eingeführt“ (siehe Abb. 4.3-6). In acht von 13 Bundesländern wird der Anbau trockenbeständiger bzw. genügsamer Arten als „bereits partiell eingeführt“ oder „bereits umgesetzt“ bezeichnet. Die verbleibenden fünf Länder hingegen haben solche Maßnahmen nicht konkret geplant, sie befinden sich allenfalls in der Diskussionsphase.

Viele Befragte stellen fest, dass die Wachstumsannahmen der Vergangenheit nicht mehr mit aktuellen Beobachtungen übereinstimmen, wobei hierfür nicht nur der Klimawandel verantwortlich ist. Daher wird eine Überarbeitung der Standortkartierung angestrebt. Die Ergebnisse dieser Neukartierung münden in veränderten Anbauempfehlungen, die in der Folge trockenresistenteren Arten den Vorrang geben können. Die konkrete Einführung solcher Arten kann jedoch regional stark differenzieren. Als wichtiger wird die Orientierung der Neupflanzungen an den durchschnittlichen Anforderungen eines Standortes gesehen.

Experten, die in ihren Ländern den gezielten Anbau von trockenbeständigen bzw. genügsamen Arten als wenig fortgeschritten klassifizieren, nennen besonders die Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen von Trockenphasen als wichtiges Hindernis. Diese Befragten setzen stattdessen auf eine gemischte Bepflanzung, um auf unsichere Klimafolgen flexibel reagieren zu können. Vor dem Hintergrund der beschriebenen Schwierigkeiten wird der Anbau von trockenbeständigen bzw. genügsamen Arten im Mittel als „aufwändig“ eingeschätzt.

Umbau bzw. Verjüngung zu Mischwäldern

Eine zweite Gruppe von Anpassungsmaßnahmen bezieht sich auf den *Umbau bzw. die Verjüngung der Wälder hin zu Mischwäldern*. Dabei wird im Rahmen dieser Kategorie der Begriff Mischwald im weiteren Sinne gebraucht und bezeichnet sowohl eine hohe Vielfalt an Baumarten als auch eine hohe Vielfalt in der Struktur einer Art (Alter, Größe etc.). Der Umbau zu Mischwäldern weist zusammen mit der Sicherung genetischer Vielfalt im Vergleich zu den anderen Anpassungsmaßnahmen ein sehr breites Wirkungsspektrum auf (siehe Tab. 4-3) und stellt daher im Sinne der Erhöhung einer breiten Anpassungsfähigkeit hinsichtlich verschiedener, mit Unsicherheit behafteter Risiken des Klimawandels eine sehr empfehlenswerte Strategien dar. Auch die befragten Experten aus den Forstverwaltungen fassen den Umbau zu Mischwäldern durchweg als wichtige Maßnahme auf.

Im Mittel besitzt der Umbau zu Mischwäldern von allen erfragten Maßnahmen mit der Einschätzung als „bereits umgesetzt“ den höchsten Umsetzungsgrad (siehe Abb. 4.3-6). In fast allen Bundesländern wird der Waldumbau hin zu Mischwäldern „bereits umgesetzt“ oder ist „bereits partiell eingeführt“. Unter Beachtung der langen Umbauzeiten wird ein vollständiger Waldumbau aber erst in mehreren Jahrzehnten abgeschlossen sein. Die forstpolitische Ent-

scheidung für den prinzipiellen Umbau der Waldgesellschaften hingegen ist in den meisten Ländern bereits gefallen. Dabei liegt der Zeitpunkt der erstmaligen Einführung solcher Maßnahmen in den westdeutschen Ländern deutlich früher als in den Ländern Ostdeutschlands. Dementsprechend wird der Waldumbau in den westlichen Ländern als weiter fortgeschritten bewertet.

Die Mehrzahl der Befragten nennt die Anpassung an den Klimawandel nicht als Hauptgrund für den Waldumbau. Vielmehr handelt es sich um einen Katalog von Maßnahmen, die als Antwort auf verschiedene Herausforderungen konzipiert wurden. Die beiden häufigsten Gründe für den Waldumbau stellen die Streuung von Risiken und die Orientierung an der potenziellen natürlichen Vegetation dar. Risikostreuung durch Mischwälder gilt als Absicherung gegenüber verschiedenen, schwer kalkulierbaren Risiken. Der Klimawandel stellt dabei nur ein Risiko dar. Im Vergleich zu klassischen Monokulturen sollen die Wälder insgesamt mehr Stabilität erhalten. Auch die Absicherung ökonomischer Risiken spielt eine wichtige Rolle.

Widersprüchliche Aussagen liefern die Antworten zur Aufwändigkeit und den Hindernissen der Waldumbaumaßnahmen. Einige Experten klassifizieren die Einführung von Mischwäldern als „aufwändig“ und reduzieren dementsprechend ihre Gewinnerwartungen, andere betonen die Wirtschaftlichkeit von Mischwäldern. Jedoch wird allgemein betont, dass der Umbau der gesamten Landeswaldbestände ein Prozess von mehreren Jahrzehnten darstellt. Risiken, die kurzfristig an Bedeutung gewinnen, lassen sich mit solchen Maßnahmen kaum verhindern.

Ausbau und Sicherung genetischer Variabilität

Als dritte Kategorie von Maßnahmen wurde nach dem *Ausbau und der Sicherung der genetischen Variabilität* gefragt. Hierunter werden konkrete Maßnahmen zum Erhalt genetischer Vielfalt verstanden. Beispiele sind die Verwendung von Sämlingen unterschiedlicher Herkunft, die gezielte Erfassung und der Erhalt bestimmter Unterarten oder die Anlage von Gen-Datenbanken. Wie bereits beschrieben, besitzt die Sicherung genetischer Vielfalt wie der Umbau zu Mischwäldern ein sehr breites Wirkspektrum (siehe Tab. 4-3) und ist insofern im Sinne der Erhöhung einer breiten Anpassungsfähigkeit im Wald- und Forstbereich ebenfalls eine empfehlenswerte Strategie.

Im Mittel wird diese Maßnahmengruppe als „bereits partiell eingeführt“ beschrieben (siehe Abb. 4.3-6). Die große Mehrzahl der befragten Experten berichtet von Initiativen zum Erhalt der genetischen Variabilität. Nur wenige bezeichnen die Maßnahmen als bereits umgesetzt. Als Initialzündung wird ein deutschlandweites Programm zur Erhaltung der forstlichen Gen-Ressourcen aus den 80er Jahren genannt. Aus diesem Programm sind die ersten Forstgenbanken auf Länderebene hervorgegangen.

Als Ziel der Maßnahmen wird vor allem die Erweiterung der ökologischen Amplitude bestimmter Arten angesehen. Sie sollen besonders robust gegenüber Umwelteinflüssen werden. Als weiterer Grund zur Einführung werden Naturschutzaspekte genannt (z.B. der Erhalt bestimmter Unterarten).

Die größten Hindernisse sehen die Befragten in den begrenzten finanziellen und organisatorischen Mitteln der Länder. Auch wird von vielen Befragten eine bessere Abstimmung und Vernetzung zwischen den Bundesländern gewünscht. Im Mittel wird der Ausbau und die Sicherung der genetischen Variabilität von den Befragten jedoch als nur „etwas aufwändig“ bewertet.

Vorsorge gegen Waldbrände

Die Kategorie der gesteigerten *Vorsorge gegen Waldbrände* bezieht sich auf Maßnahmen zur Prävention von Waldbränden, z.B. die Weiterentwicklung von Technologie für Waldbranderkennung und -bekämpfung, Alarmpläne, waldbauliche Maßnahmen oder die Aufklärung der Bürger. Die Vorsorge soll einerseits die Entstehung von Waldbränden verhindern und andererseits Ausmaß und Schäden durch Brände reduzieren. In diesem Zusammenhang ist die Waldbrandvorsorge auch eine wirksame Maßnahme hinsichtlich längerer oder extremerer Trockenperioden (siehe Tab. 4-3).

Im Mittel über die befragten 13 Bundesländer wird die Waldbrandvorsorge als „bereits partiell eingeführt“ eingeschätzt – jedoch mit sehr großen Unterschieden zwischen den einzelnen Bundesländern (siehe Abb. 4.3-6). In neun von 13 Bundesländern beurteilen die Experten diese Maßnahmen als bereits eingeführt oder haben sie schon seit einiger Zeit umgesetzt. Vier Experten berichten von keinen gesteigerten Vorsorgemaßnahmen. Dabei wird in den meisten Ländern betont, dass vorsorgende Maßnahmen bereits etabliert sind. Waldbrände werden seit langem als wichtige Gefahr gesehen, die eigenen technischen Maßnahmen aber als ausreichend bewertet. Anpassungen erfolgt derzeit nur in Form von Verbesserungen der vorhandenen Systeme. Dabei nehmen einige der befragten Experten die extreme Trockenheit des Jahres 2003 als Referenzwert, d.h. sie gehen von einer Zunahme vergleichbarer Ereignisse in der Zukunft aus. Die vorhandenen Maßnahmenpläne werden dementsprechend angepasst.

Eine wichtige Änderung der letzten Jahre wird in der technischen Entwicklung gesehen. Die Überwachung gefährdeter Wälder mit Video- und Infrarottechnik sowie die zunehmende Verbreitung von Mobiltelefonen ermöglicht die Identifikation und Meldung von Bränden bereits in einem frühen Stadium. Im Bereich der technischen Früherkennung sind die östlichen Länder weitaus aktiver. Dies mag an der relativ starken Verbreitung von Monokulturen aus Nadelbäumen liegen, die als besonders anfällig für Waldbrände beurteilt werden. Auffallend ist die Dominanz von Maßnahmen zur Erkennung und Bekämpfung von Waldbränden. Nur einer der befragten Experten erwähnte explizit waldbauliche Maßnahmen zur Vermeidung von Bränden. Die anderen Befragten gingen, abgesehen von allgemeinen Effekten durch die Einführung von Mischwäldern, auf solche speziellen Vermeidungsstrategien nicht ein.

Die Vorsorge gegen Waldbrände wird von der Mehrzahl der Befragten und im Durchschnitt als „aufwändig“ eingeschätzt. Dabei sehen viele Befragte die Koordination mit anderen Akteuren der Waldbrandbekämpfung (z.B. mit Gemeindeverwaltungen, lokaler Feuerwehr oder Technischem Hilfswerk) als besonders wichtigen Punkt. Eine wichtige Rolle spielt hier die Klärung von Zuständigkeiten und die Erstellung und Aktualisierung von Einsatzplänen. Es wird allgemein als unangemessen angesehen, Maßnahmen in diesem Bereich allein aus dem Budget der Forstverwaltung zu finanzieren, da der Schutz vor Bränden auch im Interesse anderer Akteure liege. Deswegen betonen einige der befragten Experten den gesellschaftlichen Nutzen dieser Anpassungsmaßnahmen und die Notwendigkeit der Unterstützung durch Länder und Kommunen.

Wasserbewirtschaftung

Als letzte Kategorie von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel wurde nach Aktivitäten im Bereich der *Wasserbewirtschaftung* gefragt, um zukünftigen Wassermangel im Wald zu verhindern. Die systematische Bewirtschaftung von Oberflächen- und Grundwasser gilt als wirksame Antwort auf potenzielle Klimafolgen wie längere und extremere Trockenperioden, höhere Niederschläge, sinkende Grundwasserspiegel, erhöhte Waldbrandgefahr und die durch diese Entwicklungen ggf. weiter verstärkten Nutzungskonflikte sowohl innerhalb der Forstwirtschaft als auch mit anderen Handlungsfeldern (z.B. Landwirtschaft, produzierende Industrie, lokale Wasserwerke) (siehe Tab. 4-3). Konzepte zur systematischen Bewirtschaftung der Ressource Wasser haben v.a. das Ziel, Konflikten zwischen verschiedenen Interessengruppen vorzubeugen, diese einzudämmen oder gar zu vermeiden.

Acht der 13 Befragten berichten, dass sich entsprechende Maßnahmen in der Diskussions- oder in der Planungsphase befinden. Im Mittel werden Wasserbewirtschaftungskonzepte als „momentan diskutiert“ bewertet (siehe Abb. 4.3-6). Diese Maßnahme ist im Vergleich zu anderen Maßnahmen also offensichtlich weit weniger fortgeschritten. Dabei scheint die Aufwändigkeit per se nicht höher zu liegen als bei den anderen Anpassungsmaßnahmen. Wasserbewirtschaftungskonzepte werden von der Mehrzahl der Befragten als „aufwändig“ bezeichnet. Manche Befragte verweisen darauf, dass die Wasserbewirtschaftung schneller als andere Maßnahmen politisch sensibel werden kann. Allein aus Sicht der Forstverwaltung erscheinen Wasserbewirtschaftungskonzepte nur bedingt aufwändig. Aber die divergierenden Interessen mit anderen Nutzern, wie der Landwirtschaft und den Wasserversorgern, lassen die Thematik zu einer komplexen politischen Angelegenheit werden.

Weitere Maßnahmen

Auf die Frage nach weiteren Maßnahmen, die im Forstwirtschaftsbereich geeignet sind, den Risiken des Klimawandels vorzubeugen bzw. dessen Chancen zu nutzen, nannten die Befragten keine qualitativ neuen Maßnahmen. Dies wird als Indiz gewertet, dass die erhobenen Maßnahmenkategorien relativ umfassend sind.

Anpassungsaktivitäten in den Forstverwaltungen

Die Befragungen der Experten, die ausnahmslos aus Landesforstverwaltungen stammten, zeigen, dass innerhalb aller Forstverwaltungen der 13 Bundesländer, in denen Befragungen durchgeführt wurden, eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel stattfindet. Auf die Frage nach der aktuellen *Relevanz der Anpassungsthematik in ihrer Verwaltung* im Vergleich zu anderen Themen antworten die Experten in acht von 13 Bundesländern mit „wichtig“. In keiner der Verwaltungen wird die Anpassung als „unwichtig“ bewertet. In den Verwaltungen der nordwestlichen Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Saarland und Schleswig-Holstein wird die Anpassung an den Klimawandel mit „etwas wichtig“, in Baden-Württemberg und Sachsen hingegen mit „sehr wichtig“ bewertet. So hat die Anpassung an den Klimawandel in den Forstverwaltungen der meisten Bundesländer eine – gerade auch im Vergleich zu den anderen klimasensitiven Bereichen, in denen Befragungen durchgeführt wurden – recht hohe Bedeutung.

Im Vergleich nehmen jedoch andere Themen einen noch größeren Stellenwert als die Anpassung an den Klimawandel ein. Für die Forstverwaltungen haben besonders die Themen Verwaltungsreform und Holzpreisentwicklung größere Relevanz. Diese Punkte werden durchweg von allen Experten als sehr wichtig bewertet. Offenbar drängen die Anforderungen des Tagesgeschäftes die eher längerfristig-strategischen Entscheidungen allgemein in den Hintergrund.

Auf die Frage nach den *Auslösern für die Auseinandersetzung mit der Anpassung an den Klimawandel* in den Forstverwaltungen verweist die Mehrheit der Befragten auf Erfahrungen mit extremen Wetterereignissen. Vorrangig werden Sturmereignisse genannt. Dabei finden die Jahre 1990 und 1994 besondere Erwähnung. In diesen Jahren waren besonders starke Sturmschäden zu verzeichnen. Weitere Auslöser für Schäden stellen extreme Wetterlagen dar. Dabei wird starker Schädlingsbefall, ausgelöst durch extreme Sommer bzw. milde Winter, besonders hervorgehoben.

Mehrere befragte Experten betonen die *Einbindung ihrer Aktivitäten in die ressortübergreifende Politik* der Landesregierung. Hier liegt das Ziel in einer allgemeinen, handlungsfeldübergreifenden Anpassung. Dieselben Befragten, welche diese Eingebundenheit ihrer Aktivitäten betonen, beziehen sich dabei öfter als andere Befragte auf Studien, welche die Folgen des Klimawandels auf regionaler Ebene untersuchen. Aus den Ergebnissen dieser Regionalstudien werden Anforderungen für die Forstplanung abgeleitet. Eine weitere Basis für die Forstplanung stellen spezielle forstliche Studien dar. Diese beziehen sich direkt auf das Handlungsfeld der Forstwirtschaft und basieren zumeist auf retrospektiven Messdaten. Insgesamt bezogen sich sieben der 13 befragten Ländervertreter in ihren Antworten explizit auf Ergebnisse wissenschaftlicher Studien – ein im Vergleich zu den anderen Bereichen, in denen Befragungen durchgeführt wurden (insb. relativ zum Verkehrsbereich etc.), hoher Kenntnisstand zum Klimawandel.

Anpassung in der Forstwirtschaft: Zusammenfassung und Resümee

Zur Minderung der potenziellen Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels weisen der Umbau zu Mischwäldern und die Sicherung genetischer Vielfalt im Vergleich zu anderen Anpassungsmaßnahmen die größten Wirkspektren auf und stellen daher im Sinne der Erhöhung einer breiten Anpassungsfähigkeit hinsichtlich verschiedener, mit Unsicherheit behafteter Risiken und Chancen des Klimawandels besonders empfehlenswerte Strategien dar. Weiterhin muss hervorgehoben werden, dass es offenbar keine potenzielle Auswirkung des Klimawandels im Wald- und Forstbereich gibt, der nicht mit mindestens einer wirksamen Maßnahme begegnet werden könnte.

Die meisten der Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel in der Forstwirtschaft geeignet sind, sind in Deutschland aber bisher nicht vollständig umgesetzt, sondern „nur“ partiell eingeführt. Ausschließlich die Umsetzung von Wasserbewirtschaftungskonzepten befindet sich erst im Anfangsstadium. Dass die Umsetzung der meisten Maßnahmen als „aufwändig“ eingeschätzt wird, weist darauf hin, dass ihre vollständige Umsetzung in den meisten Fällen nicht ohne Schwierigkeiten verlaufen wird und ggf. besonderer Unterstützung bedarf.

Die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels wurden bereits in der Planung von einigen Maßnahmen berücksichtigt. Relativ zu den anderen klimasensitiven Bereichen, in denen Befragungen innerhalb der vorliegenden Studie durchgeführt wurden (insb. im Vergleich zum Verkehrssektor), scheint man sich in der Forstwirtschaft bisher am intensivsten mit dem Klimawandel und der Anpassung an seine Auswirkungen beschäftigt zu haben. In diesem Sinne besitzt die Forstwirtschaft Vorbildcharakter für andere Bereiche und Sektoren. Insgesamt kann aber auch in der Forstwirtschaft bezweifelt werden, dass die momentan vorhandenen und geplanten Maßnahmen ausreichen, um den durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen zu begegnen; denn die Auseinandersetzung mit dem Klimawandel steht in den Forstverwaltungen noch am Anfang, bei vielen Waldbesitzern scheint sie noch gar nicht begonnen zu haben. Das heißt: Die Forstwirtschaft ist in den meisten Bundesländern bisher wahrscheinlich nicht an den Klimawandel angepasst.

Allgemein sollte die Forstwirtschaft jedoch eine hohe Fähigkeit haben, sich in Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandel anzupassen; denn ihr steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung, von denen sich viele bereits in der Umsetzung befinden. Außerdem sind bei zentralen Akteuren der Anpassung – den Forstverwaltungen der Bundesländer – schon heute ein vergleichsweise hohes Wissen hinsichtlich potenzieller Auswirkungen des Klimawandels und ein hoher Stellenwert der Anpassung an den Klimawandel anzutreffen. Entscheidend für die Anpassungsfähigkeit der Forstwirtschaft wird neben der Entwicklung der ökonomischen Rahmenbedingungen (Holzmarkt) auch der ökonomische Druck auf den einzelnen Waldbesitzer, weiterhin die Möglichkeiten zur Entscheidungskoordination und schließlich die Wahrnehmung von Risiken und Chancen durch den Klimawandel und die davon abhängende Bereitschaft zur Anpassung sein. In dieser Hinsicht sind möglicherweise Wälder in Privatbesitz besonders vulnerabel. Aber auch auf Staats- und Körperschaftsforsten wächst der ökonomische Druck.

4.3.8 Literatur

Anders, S., Beck, W., Lux, W., Müller, J., Fischer, R., König, A., Küppers, J.-G., Thoro, C., Kätzel, R., Löffler, S., Heydeck, P., Möller, K. (2004): Auswirkung der Trockenheit 2003 auf Waldzustand und Waldbau. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg.

Badeck, F.-W., Bondeau, A., Böttcher, K., Doktor, D., Lucht, W., Schaber, J., Sitch, S. (2004a): Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 162, 295-309.

Badeck, F.-W., Lasch, P., Hauf, Y., Rock, J., Suckow, F., Thonicke, K. (2004b): Steigendes klimatisches Waldbrandrisiko. *AFZ - Der Wald*, 2.

BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz Ernährung Landwirtschaft und Forsten (2003): Bericht über den Zustand des Waldes. BMVEL, Berlin.

BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz Ernährung Landwirtschaft und Forsten (2004): Bericht über den Zustand des Waldes. BMVEL, Berlin.

BMVEL – Bundesministerium für Verbraucherschutz Ernährung Landwirtschaft und Forsten (2005): Bericht zum Klimaschutz im Bereich Land- und Forstwirtschaft. BMVEL, Berlin.

Bode, W. (1997): Naturnahe Waldwirtschaft – Prozessschutz oder biologische Nachhaltigkeit. Deukalion, Holm.

Borchert, H., Kölling, C. (2004): Waldbauliche Anpassung der Wälder an den Klimawandel jetzt beginnen. *LWF aktuell*, 43, 28-30.

DFWR – Deutscher Forstwirtschaftsrat (2001): Daten, Fakten und Hintergründe zum Wald und der Forstwirtschaft in Deutschland – Veröffentlichung zum 1. Deutschen Waldgipfel, Bonn.

Döbbeler, H., Spellmann, H. (2002): Methodological approach to simulate and evaluate silvicultural treatments under climate change. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 121 Suppl. 1, 52-69.

Feemers, M., Blaschke, M., Skatulla, U., Gulder, H.-J. (2003): Klimaveränderung und biotische Schäden im Wald. *LWF aktuell*, 37, 19-22.

Flaig, H., Aretz, A., Elsner, D., Weimer-Jehle, W. (2003): Klimaentwicklung und Wald – ein Beitrag zum Waldprogramm Baden-Württemberg 2003. Arbeitsberichte der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, 247, 1-59.

Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F.-W., Hatterman, F., Krysanova, V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F., Werner, P.C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam.

Häusler, A., Scherer-Lorenzen, M. (2002): Nachhaltige Forstwirtschaft in Deutschland im Spiegel des ganzheitlichen Ansatzes der Biodiversitätskonvention. *BfN – Skripten*, 62.

Hirschberg, M.-M., Kennel, M., Menzel, A., Raspe, S. (2003): Klimaänderung unter forstlichem Aspekt. *LWF aktuell*, 37, 8-13.

Jarvis, P.G. (1998): European forests and global change. The likely impacts of rising CO₂ and temperature. Cambridge University Press, Cambridge.

Korneck, D., Sukkop, H. (1988): Rote Liste der in der Bundesrepublik Deutschland ausgestorbenen, verschollenen und gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen und ihre Auswertung für den Arten- und Biotopschutz. Schriftenreihe Vegetationskunde, 19, 1-210.

Menzel, A. (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen. Forstliche Forschungsberichte München, 164, 1-150.

Norby, R.J., Wullschlegel, S.D., Gunderson, C.A., Johnson, D.W., Ceulemans, R. (1999): Tree responses to rising CO₂ in field experiments: implications for the future forest. *Plant Cell and Environment*, 22, 683-714.

Pretzsch, H., Lindner, M., Suda, M., Hrsg. (2002) German forest sector under global change, Berlin.

Spiecker, H., Lindner, M., Kahle, H.-P. (2000): Expert assessment on the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe. In: (Hrsg. S. Kellomäki, T. Karjalainen, F. Mohren & T. Lapveteläinen), pp. 65-71. European Forest Institut, Joensuu, Finland.

Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., Skovsgaard, J. (1996) Growth trends in European forests. Studies from 12 countries. Springer Verlag, Berlin.

Thonicke, K. (2002): Fire disturbance and vegetation dynamics – analysis and models, Diss. Universität Potsdam, Potsdam.

Ulrich, B., Puhe, J. (1994): Auswirkungen der zukünftigen Klimaveränderung auf mitteleuropäische Waldökosysteme und deren Rückkopplung auf den Treibhauseffekt. In: Studienprogramm Bd.2: Wälder (Hrsg. Enquete-Komision "Schutz der Erdatmosphäre" des deutschen Bundestages). Economica Verlag, Bonn.

VWF – Verband Weihenstephaner Forstingenieure, Hrsg. (1994) Waldökosysteme im globalen Klimawandel. Economica Verlag, Bonn.

4.3.9 Anhang

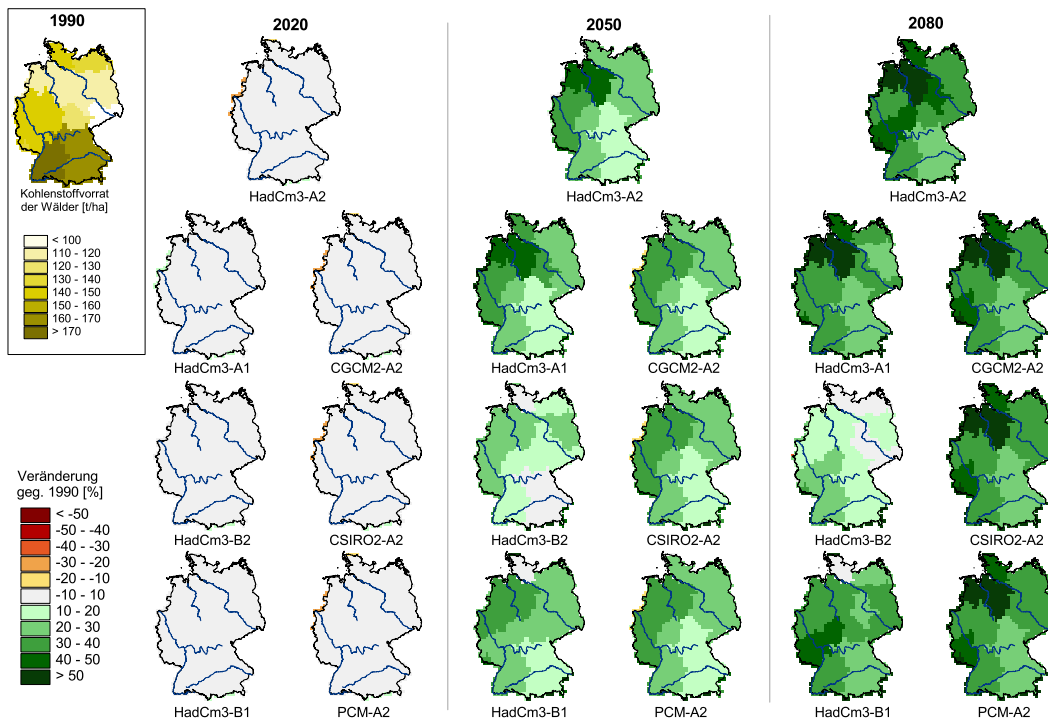


Abb. 4.3-7: Veränderung im Kohlenstoffvorrat der Wälder

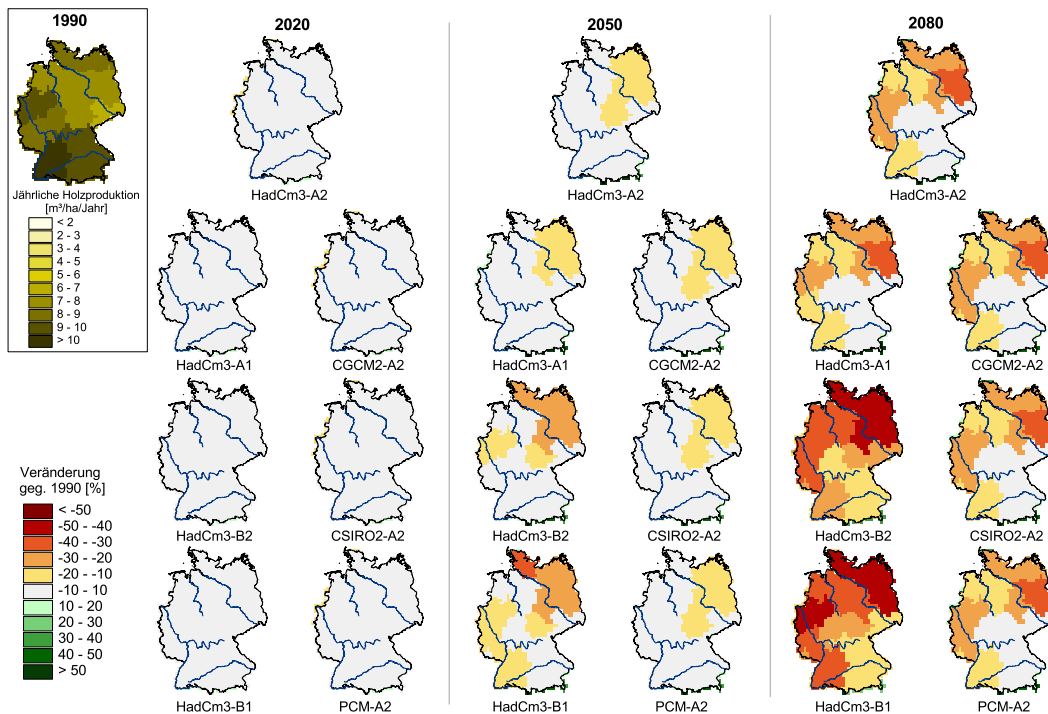


Abb. 4.3-8: Veränderung in der jährlichen Holzproduktion (Zuwachs) in Deutschland

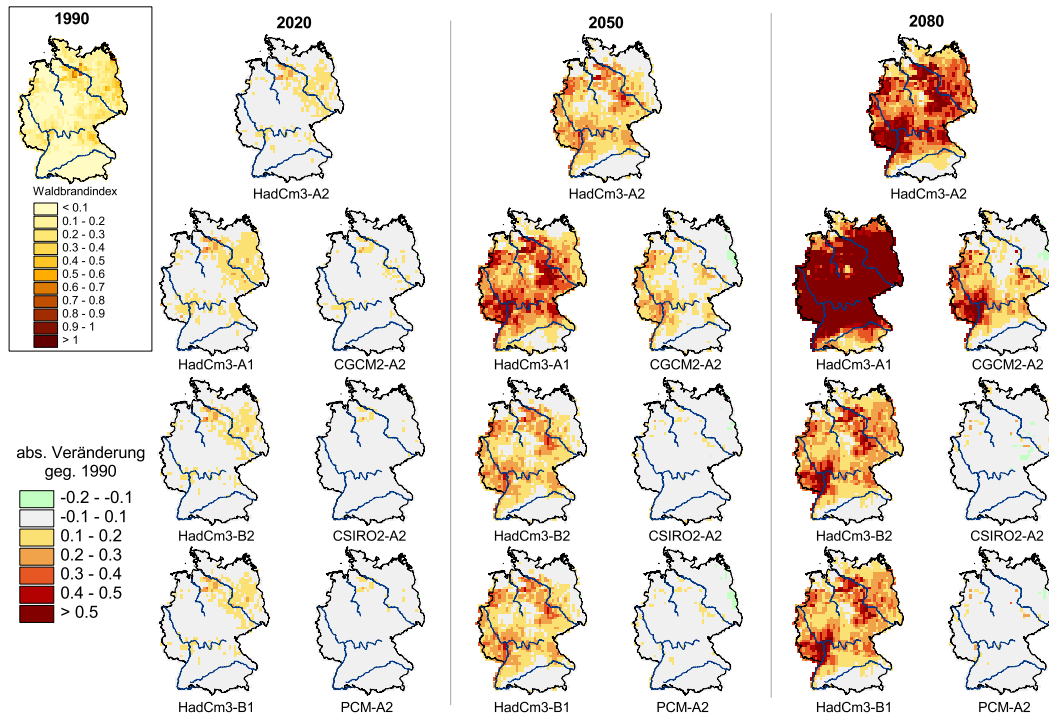


Abb. 4.3-9: Veränderung im Waldbrandindex

4.4 Biodiversität und Naturschutz

4.4.1 Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Biodiversität und Naturschutz

Bedeutende Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Biodiversität und Naturschutz sind die bereits zu beobachtenden und weiter zu erwartenden Verschiebungen von Artenarealen nach Norden und in höhere Lagen sowie Veränderungen in der Phänologie von Pflanzen und dem Verhalten von Tieren.

Die Verschiebung der Artenareale führt zu einer Wanderungsbewegung von Arten mit einer entsprechenden Migrationsfähigkeit (bei Tieren durch Wanderung, bei Pflanzen u.a. durch Samentransport). Arten mit einer artenspezifisch eingeschränkten Migrationsfähigkeit sowie Arten, die durch geographische Hindernisse (Gebirge, Gewässer) oder fehlende Vernetzung von Biotopen in ihrer Migration beschränkt sind, sind langfristig vom Aussterben bedroht. Besonders betroffen sind seltene Arten (Rote-Liste Arten), Arten mit einem engen ökologischen Toleranzbereich sowie kälte- und feuchtigkeitsliebende Arten.

Die Verschiebung der Artenareale hat tiefgreifenden Einfluss auf die Artenanzahl und Artenzusammensetzung in Lebensgemeinschaften und Biotopen. Langfristig werden sich die Zusammensetzungen bestehender Lebensgemeinschaften verändern, neue Lebensgemeinschaften können sich bilden. Unter den Biotopen sind azonale Biotope auf Sonderstandorten besonders betroffen. Dies betrifft insbesondere Feuchtgebiete aber auch montane Stauden-, Fels- und Steinfluren.

Regional ist der Alpenraum mit seiner Vielzahl endemischer Pflanzen und Tiere, vielen azonalen Biotopen und klimatischen Sonderstandorten besonders betroffen.

Mittel- bis langfristig werden Veränderungen in der Zusammensetzung von Arten und Lebensgemeinschaften in Deutschland nicht aufzuhalten sein. Anpassungsmaßnahmen sollten vor allem darauf abzielen, das natürliche Anpassungspotenzial zu schützen und weiterzuentwickeln. Dazu gehören Maßnahmen zur Ermöglichung von Wanderungsbewegungen (z.B. Biotopvernetzung) und flexible Schutzkonzepte. Besonderen Schutz benötigen zudem die Feuchtgebiete (z.B. durch geänderte Wasserbewirtschaftung).

Im Zuge der europäischen Koordinierung von Schutzmaßnahmen (z.B. NATURA 2000) und anderen nationalen Maßnahmen wurden bereits viele der oben genannten Anpassungsmaßnahmen eingeführt und sind z.T. schon umgesetzt. Allerdings wird in den wenigsten Fällen direkter Bezug auf den Klimawandel genommen. In Zukunft sollte deshalb dem Monitoring der Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität und der Berücksichtigung der durch den Klimawandel ausgelösten Veränderungen im Naturschutz mehr Bedeutung zukommen.

Andere Faktoren, die den Bereich Biodiversität und Naturschutz aktuell und Zukunft negativ beeinflussen, sind die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen, wie z.B. Habitatstörung, -zerschneidung und -zerstörung durch Siedlung, Verkehr, Land- und Forstwirtschaft sowie Verdrängungsprozesse einheimischer Arten durch invasive Arten, die z.T. von dem Klimawandel profitieren.

Eine Einschätzung der Vulnerabilität des Bereichs Biodiversität und Naturschutz ist schwierig, da sie im hohen Maße von Zielen des Schutzes der Biodiversität abhängt. Wenn man den Erhalt der Arten und der Artenvielfalt auf heutigem Niveau als Maßstab ansetzt, ist die Vulnerabilität mit und ohne weitere Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel als „hoch“ einzustufen. Selbst wenn man bereit ist, eine Veränderung der Artenzusammensetzung zu akzeptieren, ist die Vulnerabilität ohne weitere Maßnahmen immer noch als „mäßig“ bis „hoch“ einzustufen (Ohne-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8), denn die mit dem anthropogenen Klimawandel verbundenen Prozesse übersteigen aller Wahrscheinlichkeit nach das Anpassungspotenzial vieler biologischer Systeme und gefährden somit generell die Vielfalt und Stabilität von Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosystemen. Sofern die genannten Anpassungsoptionen im Naturschutzmanagement genutzt werden – Maßnahmen, die in jedem Fall besonderer staatlicher und gesellschaftlicher Unterstützung bedürfen – sollte eine Reduktion auf eine „mäßige“ Vulnerabilität möglich sein (Mit-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8).

4.4.2 Biodiversität und Klima

Biodiversität bedeutet die Vielfalt lebender Organismen jeglicher Herkunft. Dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten (genetische Vielfalt), zwischen den Arten (Artenvielfalt) und die Vielfalt der Ökosysteme (Ökosystemvielfalt) (Convention on Biological Diversity, 1992).

Biodiversität ist keine Ökosystemfunktion (siehe Kap. 1.3) im eigentlichen Sinne, sondern stellt die Grundlage für viele andere Ökosystemfunktionen dar (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). So beeinflusst die Biodiversität in Form der Ausstattung einer Landschaft mit Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosystemen viele unterstützende und regulierende Funktionen, wie z.B. den Erhalt und Antrieb der Stoffkreisläufe von Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff, die Bodenbildung, die Bestäubung oder die Regulation und Filterung von Oberflächengewässern. Weiterhin bestimmt Biodiversität viele versorgende Ökosystemfunktionen wie die Bereitstellung von Nahrungsmitteln, Rohstoffen, sauberem Wasser und genetischen Ressourcen für Pharmazeutika und medizinische Anwendungen. Schließlich ist Biodiversität auch die Grundlage für kulturelle Ökosystemfunktionen wie das Erholungspotenzial oder die Identifizierung mit einer Region (SCBD, 2003). Neben dieser Bedeutung für verschiedene Ökosystemfunktionen stellt Biodiversität auch für sich einen gesellschaftlichen und kulturellen Wert dar, der sich in dem Bedürfnis nach Schutz und Erhalt der biologischen Vielfalt ausdrückt. Der Schutz und Erhalt der Biodiversität ist als wichtiges Schutzziel im Bundesnaturschutzgesetz festgelegt (BnatSchG §2).

Das Klima prägt zusammen mit anderen Standortfaktoren wie Bodenart, Hydrologie, Landschaftsstruktur und Grad der Störung durch den Menschen wesentlich die Biodiversität auf allen Ebenen (Gene, Arten, Ökosysteme). Im Laufe der Evolution haben sich an verschiedene Klimabedingungen angepasste Genotypen einer Art herausgebildet. Die so entstandene genetische Vielfalt trägt heute zu Stabilität und Flexibilität von Ökosystemen bei und sichert in Land- und Forstwirtschaft eine gute Auswahl standortangepasster Sorten.

Auf der Artenebene hat das Klima einen direkten Einfluss auf die Physiologie und den Stoffwechsel. Bei Pflanzen werden die Photosynthese und andere Stoffwechselvorgänge stark von der Strahlung, der Temperatur und der Wasserverfügbarkeit bestimmt. Daneben spielt der CO₂-Gehalt der Atmosphäre eine große Rolle (siehe Kap. 4.2 Landwirtschaft). Tiere werden hauptsächlich vom Temperaturregime (Optimaltemperatur, Kälte-/Frostresistenz) beeinflusst. Hier wirkt die Temperatur hauptsächlich auf die Stoffwechselphysiologie (z.B. Atemfrequenz) (Leuschner & Schipka, 2004). Auch der zeitliche Verlauf von bestimmten Lebensvorgängen und das Durchlaufen charakteristischer Phasen im Jahres- und Lebenszyklus wird direkt vom Klima und der Witterung bestimmt. Dazu zählen bei Pflanzen die verschiedenen phänologischen Phasen (Blattaustrieb, Blüte, Fruchtreife etc.) und bei Tieren die Phänomene der Reproduktion, Individualentwicklung, Aktivitäts- und Ruheperioden sowie das Zugverhalten.

Indirekt beeinflusst das Klima die Biodiversität über die Menge und Art des Nahrungsangebots, verschiedene Bodeneigenschaften und andere Habitateigenschaften. Diese Parameter haben starken Einfluss auf die Individuenanzahl (Abundanz) von Pflanzen und Tierarten.

Über die Summe dieser Abhängigkeiten wird das Klima zu einem entscheidenden Faktor dafür, ob eine bestimmte Art an einem bestimmten Standort potenziell vorkommen kann oder nicht. Der Bereich von klimatischen Bedingungen, unter denen eine Art potenziell auftreten kann (z.B. Minimal- und Maximaltemperatur) wird als „*climate envelope*“ bezeichnet und ist wesentlich für das Verbreitungsareal einer Art verantwortlich.

Die klimatische Eignung für einzelne Arten beeinflusst direkt die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften. Außerdem wirkt das Klima auf die Symbiose- und Konkurrenzverhältnisse innerhalb einer Lebensgemeinschaft und zwischen verschiedenen Lebensgemeinschaften. Hinzu kommen direkte und indirekte Klimawirkungen auf Ökosysteme und Biotope, wie z.B. Veränderungen im Wasser- und Nährstoffhaushalt oder Auswirkungen von Extremereignissen.

Andere Einflussfaktoren

In Deutschland spielt vor allem die Art der Landnutzung und die Landnutzungsintensität eine wichtige Rolle für die Biodiversität. Habitatstörung, Habitatfragmentierung und Habitatzerstö-

rung, z.B. durch Land- und Forstwirtschaft sowie Siedlungs- und Verkehrsflächen, gelten als Hauptursache der Gefährdung und des Aussterbens von Arten in Deutschland. Daneben spielen Stoffeinträge aus Landwirtschaft und Industrie eine wichtige Rolle.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Biodiversität in Deutschland ist die verstärkte Verbreitung von gebietsfremden invasiven Arten, die z.B. durch Güter- oder Personenverkehr nach Deutschland eingeschleppt wurden und sich u.a. aufgrund fehlender Fressfeinde oft rasant ausbreiten und einheimische Arten verdrängen. Unter diesen Arten sind viele wärmeliebende Arten, die möglicherweise an die globale Erwärmung besser angepasst sein können als einheimische Arten.

Biodiversität und Klimaschutz

Über die Art der Landbedeckung einer Region beeinflusst die Biodiversität verschiedene klimatische Größen, wie z.B. die Energie- und Wasserbilanz oder den Gasfluss in die Atmosphäre, und beeinflusst so das lokale, regionale und globale Klima (SCBD, 2003). Von Bedeutung ist insbesondere die Kohlenstoffbilanz der terrestrischen Biosphäre (siehe Kap. 3.3), denn durch eine Nettoaufnahme von Kohlenstoff, z.B. von Wäldern oder Mooren, kann die Biosphäre zur Verringerung der CO₂-Konzentration der Atmosphäre beitragen.

Maßnahmen zur Erhöhung der Nettokohlenstoffaufnahme durch die Biosphäre, wie die im Kyoto-Protokoll berücksichtigten Aufforstungsmaßnahmen, können zum Klimaschutz beitragen. Andererseits können solche Maßnahmen auch im Konflikt mit dem Schutz der Biodiversität stehen, u.a. bei Verwendung nicht-standortgerechter Arten (Herold et al., 2001).

4.4.3 Ausgangssituation: Biodiversität & Naturschutz in Deutschland

In Deutschland sind bisher 28.000 Pflanzen- und Pilzarten nachgewiesen, darunter 3.242 Blütenpflanzen. Unter den ca. 48.000 in Deutschland vorkommenden Tierarten stellen die Insekten mit 33.305 Arten die größte Gruppe dar. Die Gruppe der Wirbeltiere (Vertebrata) zählt in Deutschland heute 706 Arten, wovon die artenreichsten Gruppen Knochenfische und Vögel sind. Die Säugetiere nehmen mit 91 Arten nur einen kleinen Teil dieser Gruppe ein (Völkl, 2004).

Viele dieser Arten sind heute in ihrem Bestand bedroht. Von den bewerteten Pflanzenarten sind 28,7% bestandesgefährdet und 3,7% bereits ausgestorben. Bei den Tieren sind u.a. 71% aller Amphibien- und Reptilienarten, 37% aller Vogelarten und 38% aller Säugetiere in ihrem Bestand gefährdet. 6% aller Vogelarten und 13% aller Säugetierarten sind bereits ausgestorben (BFN, 2004). Auch unter den ca. 500 in Deutschland vorkommenden Biototypen werden über zwei Drittel (69%) als gefährdet eingestuft.

Allerdings ist für manche Arten, vor allem bei den Vögeln, aber auch für bestimmte Fledermausarten, eine positive Bestandsentwicklung zu beobachten (z.B. Wiesenweihe, Wachtel, Alpensegler). Hier greifen u.a. aktuelle Schutzkonzepte, wie die seit 1992 in Kraft getretene Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH) oder die Extensivierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft. Das kohärente Netz Natura 2000 umfasst die im Rahmen der FFH- und Vogelschutzrichtlinie gemeldeten Gebiete, die zusammen ca. 13 % der Landfläche Deutschlands bedecken (BFN, 2005).

Veränderungen in der Artenzusammensetzung, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel stehen, wurden bereits für Deutschland und Mitteleuropa beobachtet. Wärmeliebende Tier- und Pflanzenarten, in der Regel submediterrane, mediterrane, atlantische, aber auch subtropische und sogar tropische Arten wandern ein bzw. dehnen ihre Verbreitungsgrenze nach Norden und Osten aus. So findet sich die erstmals 1918 in Deutschland gesichtete Feuerlibelle heute im Oberrheintal, in Nordrhein-Westfalen, in Nordhessen, Nordbayern und Sachsen. Auch die Wiederausbreitung der Gottesanbeterin in Süddeutschland wird mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht. Im Mittel wurde bei Untersuchungen an 99 Arten (Vögel, Schmetterlinge, alpine Pflanzen) eine durchschnittliche Arealverschiebung pro Jahrzehnt von 6,1 km Richtung Norden bzw. um 6,1 Höhenmeter bergan belegt (BFN, 2004).

Wärmere Frühlingstemperaturen und längere Sommer haben seit den 1950er Jahren eine Verlängerung der Vegetationszeit für viele Baumarten Mitteleuropas um durchschnittlich 10 Tage bewirkt (Menzel, 1997). Insbesondere die milderen Winter sind dafür verantwortlich, dass viele Vogelarten ihr Zugverhalten teilweise aufgegeben (Hausrotschwanz, Sommergoldhähnchen, Stieglitz) oder verändert haben (früheres Eintreffen, späteres Ziehen) (BFN, 2004).

4.4.4 Auswirkungen des Klimawandels – Trends und Projektionen

Artenebene

Verschiedenen Szenarien gehen von einer weiteren Verschiebung der Klimazonen bis zum Jahr 2100 um 200 bis 1200 km nach Norden (BFN, 2004) und um mehrere hundert Meter in die Höhe aus (Hughes, 2000). Dies übersteigt die maximale Wanderungsgeschwindigkeit vieler Arten (ca. 20 bis 200 km pro Jahrhundert). Zudem behindert oft das Fehlen geeigneter Habitate die Wanderungsbewegungen.

Auch eine weitere Veränderung der Phänologie in Form längerer Vegetationszeiten wird erwartet (SCBD, 2003). Das kann zu einer Ertragsteigerung bei Pflanzen führen, erhöht aber auch die Anfälligkeit gegenüber spätem Frost und Schädlingsbefall (siehe Kap. 4.2 Landwirtschaft).

Insgesamt wird damit gerechnet, dass es in Süd- und Mitteleuropa im Zuge des Klimawandels zu weiteren Artengefährdungen und -verlusten kommen wird. Modellrechnungen von Bakkenes et al. (2002) und Thomas et al. (2004) gehen für Mitteleuropa von einem Aussterben von 10-30% des derzeitigen Artenbestandes durch Klimaänderungen aus. In Deutschland könnten zwischen 5-30% der derzeitigen Tier- und Pflanzenarten betroffen sein (Leuschner & Schipka, 2004).

Aus dem Projekt ATEAM (siehe Kap. 2) liegen Szenarien vor, die unter dem „worst-case“ Szenario HadCm3-A1f (höchste Treibhausgaskonzentration) einen Artenverlust heutiger Arten in Deutschland bis zum Jahr 2080 von 25% (Nordwestdeutschland) bis über 50% (Süd- und Ostdeutschland) sehen (Schröter et al., 2004).

Berücksichtigt man allerdings auch die potenziellen neuen Arten, die aus dem Süden einwandern (Gesamtbilanz aus abwandernden/aussterbenden und einwandernden Arten), so ergibt sich ein etwas anderes Bild: Für krautige Pflanzen ergibt sich, je nach Emissionsszenario, ein Rückgang der Artenzahl in Deutschland um 4-14% bis 2080 (Abb. 4.4-2 im Anhang). Besonders stark, mit Werten bis -36%, ist demnach der Rückgang im Alpenraum und in Südwestdeutschland.

Bäume reagieren bis 2050 nur schwach, zeigen dann bis 2080 allerdings in allen Szenarien bis auf das A1-Szenario einen deutlichen Anstieg der Baumartenvielfalt, vor allem in Norddeutschland (Abb. 4.4-3 im Anhang). In dem Szenario A1 wird für Teile Ostdeutschlands und Westdeutschlands von einem Rückgang der Baumartenvielfalt ausgegangen.

Für Amphibien und Reptilien steigt in allen Szenarien die Artenvielfalt bis 2050 um ca. 10%, gefolgt von einem Rückgang ungefähr auf das Ausgangsniveau bis 2080 (Abb. 4.4-4 im Anhang). Ursache dafür ist, dass bei einem moderaten Temperaturanstieg mittelfristig heutige und neue Arten aus dem Süden nebeneinander existieren können. Steigt die Temperatur weiter, verschlechtern sich die Bedingungen für viele heutige Arten rapide.

Die Gruppe der Vögel zeigt in dieser statistischen Analyse bis 2080 keine wesentlichen Veränderungen (Abb. 4.4-5 im Anhang). Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass Veränderungen der Landschaft und insbesondere der Rast- und Brutmöglichkeiten dennoch einen negativen Einfluss auf die Populationen haben werden. Dieser konnte aber mit dem zur Verfügung stehenden Modellinstrumentarium nicht quantifiziert werden.

Lebensgemeinschaften und Ökosysteme

Diejenigen Arten und Ökosysteme sind besonders gefährdet, die eine geringe Toleranz und strenge Habitatanforderungen haben (SCBD, 2003). Dies könnte in besonderem Maße Ökosysteme mit einer hohen Anzahl an Rote-Liste-Arten betreffen, die häufig auf kleinklimatischen Sonderstandorten vorkommen (Leuschner & Schipka, 2004). Auch Ökosysteme mit langlebigen Pflanzen (z.B. Wälder) sind besonders gefährdet. Aufgrund der verhältnismäßig langsamen Reaktion besitzen sie einerseits einen gewissen Puffer gegen kurzfristige Veränderungen, andererseits ist ihr langfristiges Anpassungspotenzial beschränkt. Besonders gefährdet sind dann sensible phänologische Phasen dieser Pflanzen, wie z.B. die Samenreife (SCBD, 2003).

Zahlreiche Untersuchungen in der Klimawirkungsforschung zeigen, dass sich eine Klimaveränderung auf Arten innerhalb einer Lebensgemeinschaft sehr unterschiedlich auswirken kann. So kann sich das Areal für verschiedene Arten der gleichen Lebensgemeinschaft in unterschiedlicher Weise verändern. Dadurch kann es u.a. zur Entkopplung von Nahrungsnetzen und zur Auflösung von symbiotischen Beziehungen zwischen Arten kommen. Für die Lebensgemeinschaften ist deshalb zu erwarten, dass alte Lebensgemeinschaften aufgelöst werden und neue Artenverbindungen in verschiedenen „*climate envelopes*“ entstehen werden.

Standorte mit mikroklimatisch-hydrologischen Sonderbedingungen, wie z.B. Feuchtgebiete oder montane Stauden-, Fels- und Steinfluren, können kurzfristig einen gewissen Puffer gegenüber veränderten Klimabedingungen bieten (Leuschner & Schipka, 2004). Gleichzeitig sind diese Ökosysteme mittel- bis langfristig besonders bedroht, da Arten dieser Ökosysteme in der Regel eng an die mikroklimatisch-hydrologischen Sonderbedingungen gebunden sind und bei fehlender Vernetzung solcher Standorte nicht auf andere Gebiete ausweichen können (Wittig & Nawrath, 2000).

Insbesondere Feuchtgebiete und Moore sind mittel- bis langfristig durch abnehmende Sommerniederschläge und die Veränderung von Überschwemmungsmustern gefährdet. Dadurch wird nicht nur die feuchtigkeitsabhängige Pflanzenwelt der Feuchtgebiete bedroht, sondern auch die artenreiche Vogelwelt gefährdet, wie sie z.B. in vielen großräumigen Flußauen Ostdeutschlands zu finden ist. Wittig und Nawrath (2000) identifizieren Pflanzenformationen auf Feuchtstandorten (magere Feuchtwiesen, Großseggenriede, Quellfluren, Feuchtwälder, Moore) als besonders durch den Klimawandel bedroht. An den Küsten sind die Süßwasser-Feuchtgebiete durch veränderte Meeresspiegelstände und verstärkte Sturmaktivität in Gefahr (SCBD, 2003).

Besonders betroffen sind auch die Ökosysteme der Alpen. Die in den Alpen kleinräumig wechselnden Standortverhältnisse von Relief, Boden und Klima bedingen ein Mosaik hoch diverser Lebensräume und Lebensraumausstattungen. Der Alpenraum beherbergt ca. 30.000 Tier- und 13.000 Pflanzenarten, davon etwa 39% der europäischen Gefäßpflanzenflora. Etwa 15% der über der Waldgrenze wachsenden 2.500 Pflanzenarten sind endemisch (Grabherr, 1998). Alpine Pflanzenarten sind wegen ihres oft engen ökologischen Toleranzbereiches und ihrer mangelnden Migrationsmöglichkeit (aufgrund des Fehlens von Ausweichgebieten) besonders anfällig gegenüber Klimaveränderungen. Hinzu kommt ein starker Verdrängungsdruck, der von Arten aus tieferen Lagen ausgeht. Diese Arten können zwar die Artenvielfalt in alpinen Gebieten kurzfristig erhöhen, führen aber langfristig zu einer Auslöschung der endemischen Arten (EEA, 2004).

Darüber hinaus können sich die vermehrte Ausbreitung von Schädlingen durch mildere Winter, häufigere Brände (aufgrund steigender Temperaturen und Trockenheit im Sommer) sowie Auswirkungen von Extremereignissen wie Starkregen, Hochwasser oder Dürren negativ auf Ökosysteme und die biologische Vielfalt auswirken.

4.4.5 Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten

Wie in Kap. 2.6 beschrieben, wurden in verschiedenen klimasensitiven Bereichen Deutschlands Expertenbefragungen durchgeführt – auch im Biodiversitätsbereich. Bereichsspezifische Bewertungen der potenziellen Elemente und Auswirkungen des Klimawandels liegen für ver-

schiedene Naturräume (siehe Kap. 2.6) aus den folgenden vier Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Hamburg, Brandenburg und Sachsen. Einschätzungen aus dem besonders vulnerablen Alpenraum sind nicht vorhanden. Negative Einschätzungen werden als Risikobewertungen, positive Einschätzungen als Chancenbewertungen interpretiert. Die Ergebnisse der Befragung sind aufgrund des sehr geringen Fragebogenrücklaufs nicht grafisch dargestellt. Aus verschiedenen Gründen können die im Folgenden dargestellten Bewertungen nur als äußerst vorläufige Abschätzungen angesehen werden. Nur aus sehr wenigen Bundesländern liegen Angaben vor, nur ein Experte pro Bundesland wurde befragt, und nur wenige Befragte gründen ihre Einschätzungen auf Studien über vergangene und zukünftige Klimaentwicklungen und deren Auswirkungen.

Gesamteinschätzung des Klimawandels

Die Bedeutung des Klimawandels für die Biodiversität bewerten die Befragten gemittelt über alle Naturräume und Bundesländer in letzter Zeit (1990 bis heute) als „weder positiv noch negativ“. Dabei stimmen die Bewertungen für die verschiedenen Naturräume und Bundesländer fast vollständig überein. Kurzfristig (heute bis 2010) und mittelfristig (2010 bis 2020) wird der Klimawandel durchschnittlich etwas negativer bewertet, in einzelnen Naturräumen und Bundesländern aber auch als „etwas positiv“ oder „negativ“. Für den langfristigen Zeitraum (2020 bis 2050) liegen nur zwei Einschätzungen vor, die beide „negativ“ sind. Mit einiger Vorsicht kann geschlossen werden, dass im Biodiversitätsbereich in der Zukunft insgesamt immer negativere Auswirkungen des Klimawandels befürchtet werden.

Risikobewertungen

Verschiedene potenzielle *Elemente des Klimawandels* werden von den Befragten bereits kurzfristig im Mittel als „etwas negativ“ oder negativer eingeschätzt. Hierzu zählen die Abnahme der Jahresniederschläge¹⁸, stärkere Schwankungen der Niederschläge, mehr Starkniederschläge sowie Hitzwellen und heiße Tage. Mittelfristig und langfristig verstärken sich diese Negativbewertungen und die kurzfristig noch neutral bewerteten steigenden Jahresmittel- und Sommertemperaturen werden mittelfristig ebenfalls negativ bewertet. Als größtes Risiko wird die Abnahme der Jahressumme der Niederschläge bewertet.

Betrachtet man die Bewertungen der vier erfragten potenziellen *Auswirkungen des Klimawandels* auf die Biodiversität, werden nur die Veränderungen im Landschaftshaushalt (u.a. sinkender Grundwasserspiegel) als Risiko bewertet, während die anderen Auswirkungen (siehe Chancenbewertungen) eher positiv eingeschätzt werden. Diese recht positive Einschätzung ist wahrscheinlich v.a. durch die selektive Stichprobe bedingt.

Chancenbewertungen

Einige potenzielle *Elemente des Klimawandels* – steigende Temperaturen im Winter, weniger Frosttage und die Zunahme der Jahresniederschlagssumme – werden kurzfristig im Mittel „etwas positiv“ od. neutral bis „etwas positiv“ eingeschätzt. Die mittel- und langfristigen Bewertungen dieser Elemente fallen stärker positiv aus.

Die erfragten potenziellen *Auswirkungen des Klimawandels* auf die Biodiversität werden zu großen Teilen kurz-, mittel- und langfristig als „etwas positiv“ bewertet. Dies gilt für mögliche Veränderungen der Arten- und Biotopvielfalt durch Verschiebung der Arealgrenzen nach Norden bzw. in höhere Lagen, Veränderungen in der Phänologie (Austrieb, Blüte etc.) von Pflanzen und Veränderungen im Verhalten von Tieren (Brutzeit, Zugverhalten von Vögeln etc.). Die am stärksten positiven Bewertungen erhalten die Veränderungen in der Pflanzenphänologie.

Weitere Auswirkungen

Außerdem wurde nach weiteren möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Biodiversität und Naturschutz gefragt. Hier nannten die Befragten die Abwanderung und Areal-

¹⁸ Nach momentanem Wissenstand erscheinen je nach Region sowohl die Zu- als auch die Abnahme der Jahresniederschläge möglich. Daher wurden beide Optionen den Befragten zur Bewertung vorgelegt.

reduktion von Arten mit Anpassung an kühle und feuchte Standorte, die Veränderung bzw. den Rückgang von Ökosystemen feuchter und kühler Standorte mit langer Entwicklungszeit, außerdem die Zuwanderung bzw. Ausbreitung wärmeliebender trockenstoleranter und wärmetoleranter nitrophiler Arten und Generalisten.

4.4.6 Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels

Die Natur reagiert dynamisch auf Veränderungen der Rahmenbedingungen. Maßnahmen des Menschen zum Schutz und Erhalt der Biodiversität unter sich ändernden Klimabedingungen sind vor allem dann erfolgversprechend, wenn sie diese Dynamik ermöglichen bzw. unterstützen. Von besonderer Bedeutung ist der Erhalt und die *Verbesserung der Wanderungsmöglichkeiten von Arten*. Dazu gehören Maßnahmen der Biotopvernetzung auf der lokalen, regionalen, nationalen und transnationalen Ebene. Diese Aufgabe ist auch in der Neufassung des Bundesnaturschutzgesetzes verankert, in der festgelegt wird, dass die Länder mindestens 10% ihrer Landesfläche für einen Biotopverbund zur Verfügung stellen sollen (BNatSchG § 3).

Die Schutzkonzepte des konservierenden Naturschutzes, der überwiegend auf kleinflächige Schutzgebiete konzentriert ist, sind zu überdenken. In Folge des Klimawandels ist in vielen Regionen Europas mit einer Migration der Zielarten aus den Schutzgebieten zu rechnen (Araújo et al., 2004). Hier könnten *flexible Schutzgebietsgrenzen*, die mit dem Vorkommen einer Zielart wandern, eine Lösung darstellen. Besondere Bemühungen sollten solche Arten erfahren, deren zukünftig geeigneten Areale bei einer aufgrund des Klimawandels zu befürchtenden Verschiebung von Arealgrenzen nach Norden und in größere Höhe keine Überlappung mit heutigen Arealen aufweisen bzw. deren Migrationsmöglichkeiten beschränkt sind, z.B. aufgrund natürlicher Barrieren (Alpen, Nord- und Ostsee). Hier sind gezielte Einführungsmaßnahmen denkbar.

Speziell für die vom Klimawandel besonders bedrohten Feuchtgebiete (s.o.) bieten sich *Wasserhaushaltskonzepte* zum Erhalt oder zur Wiederherstellung der natürlichen Vernässung an. Dazu gehören Wiedervernässungsmaßnahmen oder an die Belange des Naturschutzes angepasste Staukonzepte.

Insgesamt sollten bestehende Naturschutzkonzepte um Konzepte, die auf einen *Prozessschutz* natürlicher Systeme abzielen, ergänzt werden. In der stark von der menschlichen Lebens- und Wirtschaftsweise geprägten europäischen Kulturlandschaft können sich die für natürliche Ökosysteme charakteristischen dynamischen Veränderungen in Raum und Zeit oft nicht mehr oder nur noch eingeschränkt vollziehen. Gerade für die Anpassung an den Klimawandel sind diese Prozesse, zu denen neben der Wanderungsmöglichkeit z.B. auch Sukzessionsprozesse, Naturverjüngung oder Brände gehören, von Bedeutung.

4.4.7 Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten

Zu Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, liegen Ergebnisse von Expertenbefragungen (zur Methode siehe Kap. 2.6) aus den folgenden sieben Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Hamburg, Brandenburg, Saarland, Hessen, Thüringen und Sachsen. Aufgrund des geringen Rücklaufs der Fragebögen und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Befragungsergebnisse nur als sehr vorläufige Abschätzungen der Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich Biodiversität in Deutschland geeignet sind, angesehen werden.

Innerhalb der Befragung wurden die Maßnahmen hinsichtlich verschiedener Dimensionen bewertet, u.a. hinsichtlich der Maßnahmen-Wirksamkeit, um den in Abschnitt 4.4.5 dargestellten potenziellen Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen (siehe Tab. 4-4), und

Tab. 4-4: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Biodiversität. Dargestellt ist die Anzahl der Befragten, die den Maßnahmen eine Wirksamkeit zur Minderung bzw. Nutzung der Auswirkungen zuschreiben. Auswertungsgrundlage: 6 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Brandenburg, Hessen, Thüringen und Sachsen.

<i>Maßnahmen</i>	Auswirkungen			
	Veränderungen der Arten- & Biotopvielfalt & -zusammensetzung durch Verschiebung der Arealgrenzen nach Norden bzw. in höhere Lagen	Veränderungen in der Phänologie (Austrieb, Blüte etc.) von Pflanzen	Veränderungen im Verhalten von Tieren (Brutzeit, Zugverhalten von Vögeln etc.)	Veränderungen im Landschaftshaushalt (u.a. sinkender Grundwasserspiegel)
Verbesserung der Wandermöglichkeiten von Arten	5	-	2	1
flexible Schutzgebietsgrenzen	1	-	1	1
Schutzkonzept Prozessschutz	3	-	1	3
Wasserhaushaltskonzepte	3	-	-	4
<i>Gefahrenübergreifende Maßnahmen</i>				
Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel	-	1	-	1
Bildung von Rücklagen für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen	-	1	-	1

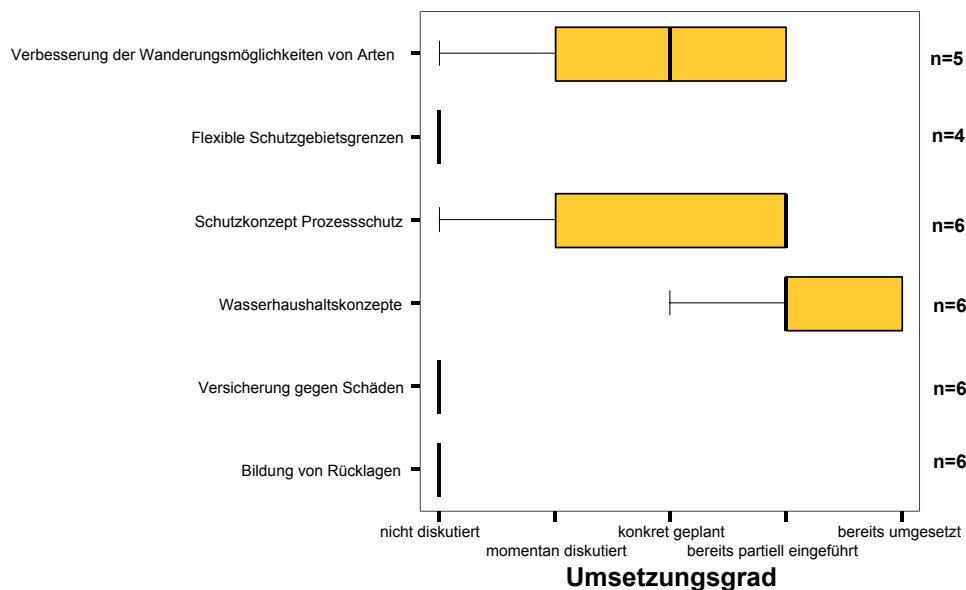


Abb. 4.4-1: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Biodiversität. Auswertungsgrundlage: 6 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Brandenburg, Saarland, Thüringen und Sachsen. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden Fragebögen.¹⁹

¹⁹ Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Einschätzungen für verschiedene Bundesländer als Box-Plot: Die Box umfasst die mittleren 50% der Verteilung und bezeichnet somit die Werte zwischen dem unteren und dem oberen Quartil. Je weiter links sich die gelbe Box befindet, desto negativer wird die Auswirkung

hinsichtlich der bisherigen Maßnahmen-Umsetzung (siehe Abb. 4.4-1). Da die Befragten die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels bis auf die Veränderungen im Landschaftshaushalt eher positiv bewerten, geht es in Tab. 4-4 für die Befragten v.a. um Einschätzungen der Maßnahmenwirksamkeit zur Nutzung von Chancen des Klimawandels.

Verbesserung der Wanderungsmöglichkeiten von Arten

Eine Verbesserung der Wanderungsmöglichkeiten von Arten ist nach Meinung fast aller Befragter eine wirksame Maßnahme, um der Veränderung der Arten- und Biotopvielfalt bzw. -zusammensetzung durch Verschiebung der Arealgrenzen nach Norden und in höhere Lagen zu begegnen (siehe Tab. 4-4). Weniger Befragte sehen eine Wirksamkeit auch hinsichtlich potenzieller Veränderung im Verhalten von Tieren und im Landschaftshaushalt.

Die Maßnahme wird von den Befragten im Mittel über die befragten sechs Bundesländer als „konkret geplant“ eingeschätzt (siehe Abb. 4.4-1). Dabei zeigen sich jedoch sehr deutliche Unterschiede zwischen den Bundesländern. Die höchsten Umsetzungsgrade („bereits partiell eingeführt“) werden aus den Bundesländern Brandenburg und Schleswig-Holstein berichtet. Als Gründe für die Einführung der Maßnahme wird von keinem Befragten der Klimawandel und dessen Auswirkungen genannt, sondern u.a. die Umsetzung gesetzlicher Richtlinien, allgemeine Naturschutzbestrebungen, landesweite Biotopschutz- und Verbundplanung sowie der Erhalt von Populationen.

Als Hindernisse werden von zwei der Befragten organisatorische Hindernisse gesehen, während jeweils eine Person finanzielle Hindernisse und fehlendes Wissen nennt. Zudem werden andere Prioritäten und fehlende Kapazitäten als hinderlich für die Umsetzung angeführt. Vor dem Hintergrund dieser Schwierigkeiten bewerten die Befragten die Verbesserung der Wanderungsmöglichkeiten von Arten im Mittel als „aufwändig“.

Flexible Schutzgebietsgrenzen

Eine Einführung von flexiblen Schutzgebietsgrenzen ist entsprechend der Umfrage eine nur wenig wirksame Maßnahme, um den Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen (siehe Tab. 4-4). Damit kongruent wird diese Maßnahme in vier der befragten sechs Bundesländer einheitlich als „nicht diskutiert“ eingeschätzt (die weiteren zwei Befragten konnten hier keine Auskunft geben; siehe Abb. 4.4-1). Hauptgrund für die Nichtdurchführung dieser Maßnahme sind nach Aussage der Befragten gesetzliche Hindernisse; denn momentan besteht die gesetzliche Verpflichtung, Schutzgebietsgrenzen festzulegen. Eine flexible Handhabung wäre nicht gesetzeskonform. Ein Befragter benennt darüber hinaus auch organisatorische Hindernisse und fehlendes Wissen. Vor dem Hintergrund dieser Hindernisse bewerten zwei Befragte die Einführung flexibler Schutzgebietsgrenzen als „sehr aufwändig“, die anderen Befragten machen keine Angaben zur Aufwändigkeit.

Schutzkonzept Prozessschutz

Das Schutzkonzept Prozessschutz wird von der Hälfte der Befragten als wirksame Maßnahme sowohl hinsichtlich einer möglichen Veränderung der Arten- und Biotopvielfalt als auch hinsichtlich potenzieller Veränderungen im Landschaftshaushalt eingeschätzt (siehe Tab. 4-4). Im Mittel wird diese Maßnahme von den Befragten als „bereits partiell eingeführt“ gesehen, wobei sich die Angaben aus den unterschiedlichen Bundesländern sehr stark unterscheiden (siehe Abb. 4.4-1). Die höchsten Umsetzungsgrade („bereits partiell eingeführt“) werden aus den Bundesländern Brandenburg, Schleswig-Holstein, Saarland und Sachsen berichtet. Als Gründe der Einführung von Prozessschutzkonzepten nennen die Befragten vor allem das Bestreben, Raum für eine natürliche Entwicklung zur Verfügung zu stellen. Nur eine Person nennt die Vorbereitung auf den Klimawandel als Beweggrund.

des Klimawandels bewertet. Die Lage des Medians (Mittelwert) wird durch einen dicken senkrechten Strich verdeutlicht. Zwei Linien links und rechts der Box verdeutlichen die Spannweite der gegebenen Einschätzungen. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden gültigen Antworten.

Als hinderlich für die Maßnahmenumsetzung werden vor allem finanzielle Beschränkungen (3 Befragte), aber auch legislative Bedingungen (2 Befragte) und fehlendes Wissen (1 Befragter) gesehen. Außerdem werden Widerstände in der Bevölkerung, z.B. bei der Einführung von Bewirtschaftungsmaßnahmen, genannt. So wird die Einführung und Umsetzung des Schutzkonzeptes Prozessschutz im Mittel als „aufwändig“ eingeschätzt.

Wasserhaushaltskonzepte

Ebenso wie bei den Prozessschutzkonzepten wirken nach Meinung der Hälfte der Befragten Wasserhaushaltskonzepte hinsichtlich einer möglichen Veränderung der Arten- und Biotopvielfalt und potenzieller Veränderungen im Landschaftshaushalt (siehe Tab. 4-4). Im Mittel über die befragten Bundesländer werden die Wasserhaushaltskonzepte als „bereits partiell eingeführt“ bewertet (siehe Abb. 4.4-1), wobei für zwei Bundesländer – Hamburg und das Saarland – diese Konzepte sogar als „bereits umgesetzt“ angegeben werden. Damit zeigen die Wasserhaushaltskonzepte relativ zu den anderen erhobenen Maßnahmen den höchsten Umsetzungsgrad im Biodiversitätsbereich in Deutschland. Als Gründe für die Maßnahmeneinführung nennen die Befragten vor allem allgemeine Naturschutzbestrebungen. Die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf den Biodiversitätsbereich waren nach Angaben der Befragten in keinem Bundesland Mitgrund der Einführung von Wasserhaushaltskonzepten.

Hindernisse der Maßnahmenumsetzung werden von der Hälfte der Befragten in finanzieller und organisatorischer Hinsicht gesehen, während ein Drittel der Befragten außerdem legislative Hindernisse nennen. Als hinderlich werden weiterhin Nutzungserfordernisse, z.B. in der Landwirtschaft, eingeschätzt. Vor diesem Hintergrund wird die Umsetzung von Wasserhaushaltskonzepten im Mittel als „sehr aufwändig“ bewertet, wobei ein Befragter die Umsetzung als nur „etwas aufwändig“ einschätzt.

Gefahrenübergreifende Maßnahmen: Versicherung und Rücklagenbildung

Die gefahrenübergreifenden Maßnahmen Versicherung und Rücklagenbildung, die auch in allen anderen klimasensitiven Bereichen (z.B. Forstwirtschaft, Landwirtschaft) erhoben wurden, werden im Biodiversitätsbereich insgesamt als wenig geeignet eingeschätzt, um den potenziellen Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen (siehe Tab. 4-4). Lediglich einer der befragten Experten sieht die Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel als auch die Bildung von Rücklagen für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen als zweckmäßig hinsichtlich möglicher Veränderungen in der Phänologie von Pflanzen und im Landschaftshaushalt. Beide Maßnahmen werden von fast allen Befragten (nur ein Experte machte hier keine Angaben) als „nicht diskutiert“ eingeschätzt, was vermutlich vor allem daran liegt, dass sich Verluste im Biodiversitätsbereich, die durch den Klimawandel entstehen (z.B. das Aussterben von Arten), in nur sehr beschränktem Maße finanziell ausgleichen lassen. Außerdem gibt es im Biodiversitätsbereich bisher keine Erfahrungen mit Versicherungslösungen und Rücklagenbildung. So ist es nicht erstaunlich, dass die meisten Befragten keine Angaben zu Aufwand und Hindernissen dieser Maßnahmen machen.

Weitere Maßnahmen

Außerdem wurde nach weiteren Maßnahmen im Bereich Biodiversität und Naturschutz gefragt, die in den jeweiligen Bundesländern geeignet sind, um den Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen. Die Befragten nennen hier folgende Maßnahmen: Defizitausgleich für Schutzgebiete (z.B. stark reliefierte Landschaft mit mikroklimatischer Diversität zur Erhaltung ökologischer Nischen), Natura 2000, Life Projekte, Naturschutzprojekte des Bundes, Biotop der Länder, Umbau von Kiefernwäldern in Laubmischwälder, nachhaltige und naturverträgliche Landnutzung (z.B. reduzierter Produktionsmitteleinsatz), Extensivierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft, Renaturierungs- und Pflegemaßnahmen und naturschutzkonforme Landnutzung inklusive Vertragsnaturschutz.

Anpassung an den Klimawandel in den befragten Fachressorts

Nur drei der Befragten, die aus den Naturschutzressorts der Bundesländer stammen, geben an, dass innerhalb ihrer Verwaltungen eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel stattfindet. Jedoch können keine praktischen Programme zur Anpassung

an die Folgen des Klimawandels im Biodiversitätsbereich benannt werden. Jedoch entsteht in Sachsen der Eindruck, dass man sich hier bereits sehr intensiv mit den Folgen des Klimawandels für die Biodiversität und den Naturschutz beschäftigt hat und im Rahmen des Integrierten Klimaschutzkonzeptes Sachsen mit anderen Ressorts zusammenarbeitet. So zeigt sich auch in den Antworten auf die Frage nach der aktuellen Relevanz der Anpassungsthematik in ihrer Verwaltung im Vergleich zu anderen Themen, dass nur der Vertreter Sachsens mit „wichtig“ antwortet, drei andere Befragte mit „etwas wichtig“, zwei mit „unwichtig“. Aus zwei Bundesländern fehlen Angaben. In keiner Verwaltung nimmt das Thema momentan einen „sehr wichtigen“ Stellenwert ein. In den für Naturschutz zuständigen Ressorts der meisten Bundesländer scheint demnach die Anpassung an den Klimawandel momentan nur eine geringe Bedeutung zu haben.

Anpassung im Naturschutzbereich: Zusammenfassung und Resümee

In den genannten Anpassungsmaßnahmen – außer in Versicherungslösungen und Rücklagenbildung – sehen die meisten Befragten wirksame Möglichkeiten, um den potenziellen Veränderungen in der Arten- und Biotopvielfalt und im Landschaftshaushalt zu begegnen. Weniger Befragte sehen allerdings Möglichkeiten, um auf die möglichen Veränderungen im Verhalten von Tieren zu reagieren. Fast kein Befragter sieht wirksame Mittel, um den Veränderungen in der Phänologie von Pflanzen zu begegnen.

Die Umsetzung von Maßnahmen, die (auch) zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, stellt eine besondere Herausforderung dar. Alle erfragten Maßnahmen werden als „aufwändig“ oder „sehr aufwändig“ eingestuft, so dass ihre vollständige Umsetzung – die bisher nur bei den Wasserhaushaltskonzepten in wenigen der befragten Bundesländern stattgefunden hat – voraussichtlich nicht problemlos verlaufen wird und besonderer Unterstützung bedarf. Weiterhin ist zweifelhaft, ob die vorhandenen und geplanten Maßnahmen ausreichen, um den durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen im Biodiversitäts- und Naturschutzbereich zu begegnen; denn nach Aussage der Befragten war der Klimawandel bei fast keiner Maßnahme Mitgrund für ihre Einführung und in nur sehr wenigen der befragten Naturschutzressorts der Bundesländer findet bisher eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel statt. So kann angenommen werden, dass die Auswirkungen des Klimawandels nicht oder nur kaum in die bisherige Planung von Maßnahmen einbezogen worden waren und das Biodiversitätsmanagement in den meisten Bundesländern noch nicht an den Klimawandel angepasst ist.

Allgemein sollte das Biodiversitätsmanagement in Deutschland jedoch eine gewisse Fähigkeit aufweisen, sich in Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandel anzupassen; denn ihm steht ein Repertoire von wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung, von denen einige bereits aus anderen Gründen als dem Klimawandel eingeführt worden sind, wobei die Maßnahmenumsetzung jedoch zumeist als aufwändig bewertet wird. Die bisher vor allem aufgrund rechtlicher Beschränkungen nicht diskutierten flexiblen Schutzgebietsgrenzen stellen eine besondere Herausforderung dar – nicht nur für den Gesetzgeber, sondern auch für die Veränderung des gesellschaftlichen Verständnisses von Naturschutz und Naturschutzgebieten. Da der Umsetzungsgrad einiger bereits vorhandener Maßnahmen und die bisherige Beschäftigung mit der Anpassung an den Klimawandel von Bundesland zu Bundesland stark schwankt, sollte die Chance des Erfahrungsaustausches zwischen den Bundesländern verstärkt genutzt werden.

Eine nur geringe Anpassungsfähigkeit hat das Naturschutzmanagement im Alpenraum mit seiner Vielzahl endemischer Pflanzen und Tiere, vielen azonalen Biotopen und klimatischen Sonderstandorten, weil hier aufgrund des Klimawandels Habitate letztlich verschwinden werden, ohne dass Ausweichmöglichkeiten für die betroffenen Tiere und Pflanzen zur Verfügung stehen.

4.4.8 Literatur

Araújo, M.B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L., Williams, P.H. (2004): Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biology*, 10, 1618-1626.

Bakkenes, M., Alkemade, J.R.M., Ihle, F., Leemans, R., Latour, J.B. (2002): Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology*, Vol. 8, 390-407.

BFN – Bundesamt für Naturschutz (2004): Daten zur Natur 2004. BFN, Bonn.

BFN – Bundesamt für Naturschutz (2005): Zum Stand der Umsetzung von Natura 2000 in Deutschland. <http://www.bfn.de/03/030303.htm>.

Convention on Biological Diversity (1992): www.biodiv.org/convention/articles.asp.

EEA – European Environment Agency, Hrsg. (2004) Indicators of Europe's changing climate, Kopenhagen.

Grabherr, G. (1998): Flora des Dachgartens Europas. CIPRA, 1.Alpenreport, 48-53.

Herold, A., Eberle, U., Ploetz, C., Scholz, S. (2001): Anforderungen des Klimaschutzes an die Qualität von Ökosystemen – Nutzung von Synergien zwischen der Klimarahmenkonvention und der Konvention über die biologische Vielfalt. Umweltbundesamt, Berlin.

Hughes, L. (2000): Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 56-61.

Leuschner, C., Schipka, F. (2004): Klimawandel und Naturschutz in Deutschland, BfN-Skripten 115. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.

Menzel, A. (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen. *Forstliche Forschungsberichte München*, 164, 1-150.

Millennium Ecosystem Assessment (2005): Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report. www.millenniumassessment.org.

SCBD – Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2003): Interlinkages between biological diversity and climate change, Quebec.

Schröter, D., Acosta-Michlik, L., Arnell, A.W., Araújo, M.B., Badeck, F., Bakker, M., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T., Vega-Leinert, A.C.d.l., Erhard, M., Espíñeira, G.Z., Ewert, F., Fritsch, U., Friedlingstein, P., Glendining, M., Gracia, C.A., Hickler, T., House, J., Hulme, M., Klein, R.J.T., Krukenberg, B., Lavorel, S., Leemans, R., Lindner, M., Liski, J., Metzger, M.J., Meyer, J., Mitchell, T., Mohren, F., Morales, P., Moreno, J.M., Reginster, I., Reidsma, P., Rounsevell, M., Pluimers, J., Prentice, I.C., Pussinen, A., Sánchez, A., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M.T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Werf, G.v.d., Vayreda, J., Wattenbach, M., Wilson, D.W., Woodward, F.I., Zaehle, S., Zierl, B., Zudin, S., Cramer, W. (2004): ATEAM – Final report. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam.

Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., de Siqueira, M.F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Peterson, A.T., Phillips, O.L., Williams, S.E. (2004): Extinction risk from climate change. *Nature*, Vol. 427, 145-148.

Völkl, W. (2004): Die quantitative Erfassung der rezenten Fauna von Deutschland – eine Dokumentation auf der Basis der Auswertung von publizierten Artenlisten und Faunen im Jahr 2004. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.

Wittig, R., Nawrath, S. (2000): Welche Pflanzenarten und -gesellschaften Hessens sind bei einer globalen Temperaturerhöhung gefährdet? Vorschläge für ein Biomonitoring. *Geobotanisches Kolloquium*, Vol. 15, 59-69.

4.4.9 Anhang

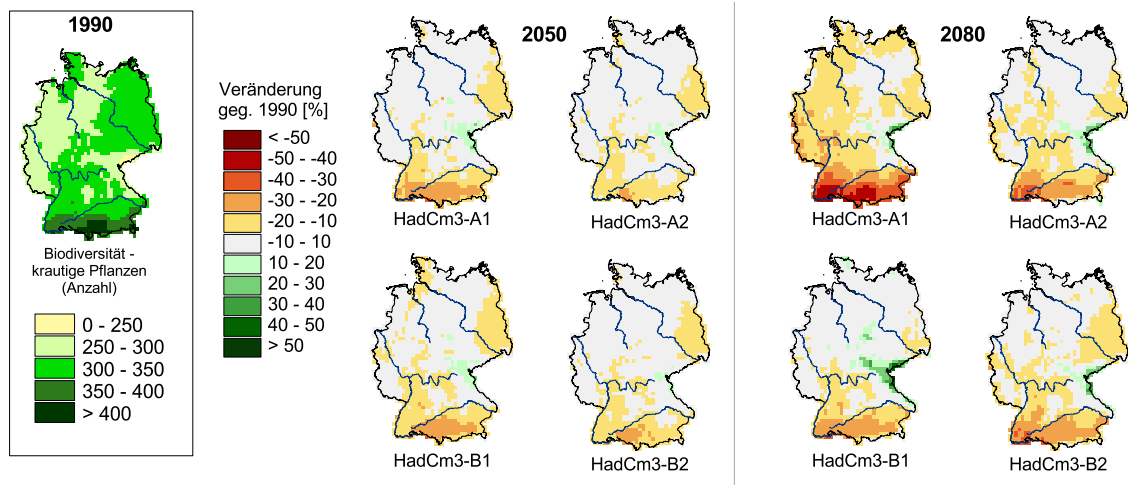


Abb. 4.4-2: Relative Veränderung in der Artenzahl krautiger Pflanzen gegenüber 1990. Datengrundlage ist eine Auswahl von 1350 ausgewählten krautigen Pflanzen mit europäischem Verbreitungsgebiet. Im Gegensatz zu anderen ATEAM-Ergebnissen liegen hier nur Szenarien für die mit dem GCM HadCM3 gerechneten Klimaszenarien vor.

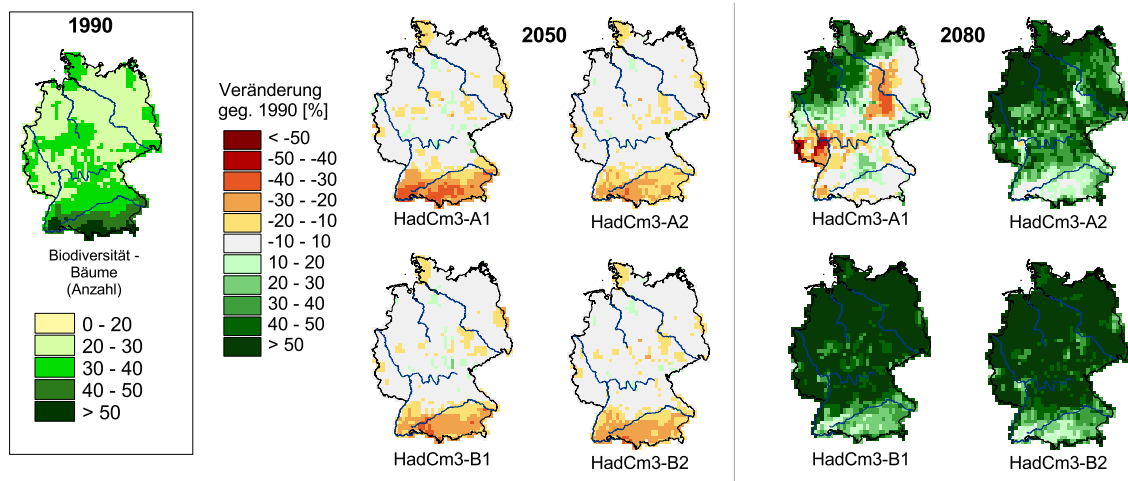


Abb. 4.4-3: Relative Veränderung in der Artenzahl von Bäumen gegenüber 1990. Datengrundlage ist eine Auswahl von 125 ausgewählten Baumarten mit europäischem Verbreitungsgebiet. Im Gegensatz zu anderen ATEAM-Ergebnissen liegen hier nur Szenarien für die mit dem GCM HadCM3 gerechneten Klimaszenarien vor.

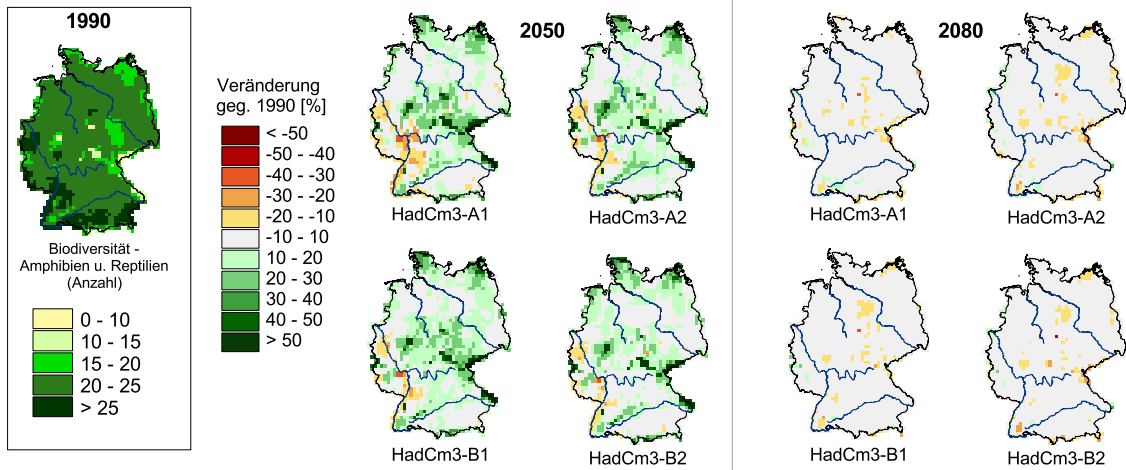


Abb. 4.4-4: Relative Veränderung in der Artenzahl von Amphibien und Reptilien gegenüber 1990. Datengrundlage ist eine Auswahl von 108 ausgewählten Amphibien und Reptilienarten mit europäischem Verbreitungsgebiet. Im Gegensatz zu anderen ATEAM-Ergebnissen liegen hier nur Szenarien für die mit dem GCM HadCM3 gerechneten Klimaszenarien vor.

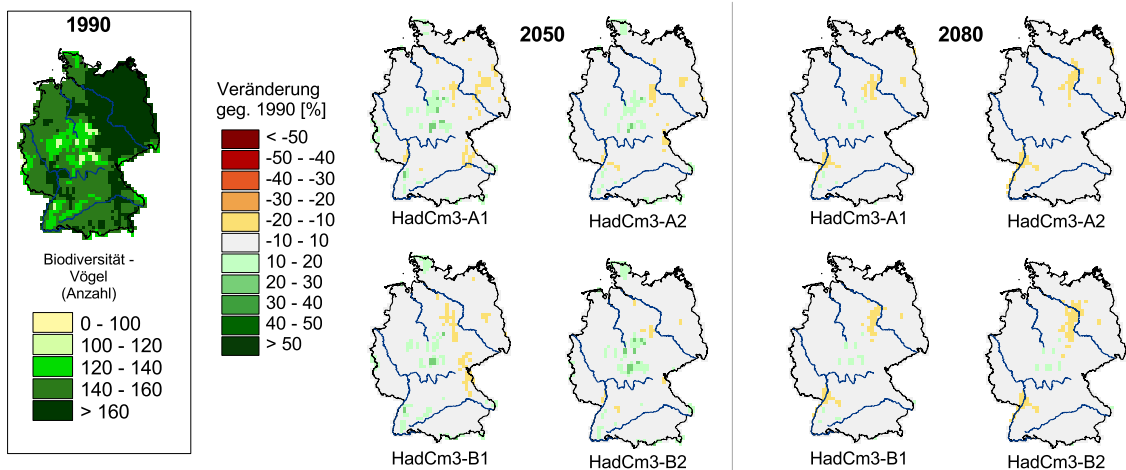


Abb. 4.4-5: Relative Veränderung in der Artenzahl von Vogelarten gegenüber 1990. Datengrundlage ist eine Auswahl von 383 ausgewählten Vogelarten mit europäischem Verbreitungsgebiet. Im Gegensatz zu anderen ATEAM-Ergebnissen liegen hier nur Szenarien für die mit dem GCM HadCM3 gerechneten Klimaszenarien vor.

4.5 Gesundheit

4.5.1 Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Gesundheit

Mögliche negative Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Gesundheit in Deutschland umfassen direkte und indirekte Auswirkungen.

Die wichtigste direkte Auswirkung ist die Belastung des menschlichen Organismus durch Hitze, die bis zum Tode führen kann. Betroffen ist v.a. das Herz- und Kreislaufsystem. Ein Beispiel hierfür ist die Hitzewelle 2003, die in Deutschland vermutlich zu ca. 7.000 Todesfällen führte.

Indirekte Auswirkungen von Klimaveränderungen sind Veränderungen in Verbreitung, Population und Infektionspotenzial von Krankheitsüberträgern (Vektoren) wie blutsaugenden Insekten und Zecken sowie Nagetieren. Zwar sind die ursächlichen Zusammenhänge zwischen den von Vektoren übertragenen Krankheiten und dem Klimawandel nicht ganz geklärt, doch mit ansteigender Temperatur verbessern sich die Ausbreitungs- und Übertragungsbedingungen, so dass von einer steigenden Gefahr ausgegangen wird. Insbesondere von der durch Zecken übertragenen Borreliose geht eine deutliche und steigende Gefahr für die Volksgesundheit aus. Potenziell besteht auch die Gefahr eines Wiederauftretens von Malariainfektionen.

Weitere indirekte Auswirkungen sind negativ veränderte Umweltbedingungen wie die Qualität von Wasser, Luft und Nahrungsmitteln.

Von den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit besonders betroffen sind Personen, die bereits gesundheitlich vorbelastet sind. Das betrifft insbesondere alte und geschwächte Personen. Auch Kinder können eine besondere Anfälligkeit zeigen. Weiterhin verstärken soziale Faktoren wie ein mangelnder Zugang zu Informationen und materiellen Gütern oder eine fehlende soziale Eingebundenheit die Vulnerabilität von Personen gegenüber den negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit.

Regional sind besonders der Oberrheingraben sowie Ballungszentren, vor allem in klimatisch ungünstigen Lagen (Kessellagen), von den direkten Auswirkungen des Klimawandels betroffen.

Trotz eines gut ausgebauten Gesundheitssystems in Deutschland wird die Notwendigkeit der Anpassung (Vorsorge und Nachsorge) an klimabedingte Gesundheitsprobleme oft noch nicht hinreichend erkannt. Als erste Maßnahmen wurde 2005 vom Deutschen Wetterdienst ein Hitzewarndienst eingeführt. Maßnahmen zur Umgestaltung von Stadt- und Gebäudearchitektur (Frischluftzufuhr, Isolation, Kühlung) werden bisher überwiegend nur diskutiert und sind noch weit von der Umsetzung entfernt.

Auch im Bereich vektorübertragener Krankheiten fehlt es an Aufklärungs- und Vorsorgemaßnahmen sowie an Information über den Zusammenhang mit dem Klimawandel. Zudem sind die Anpassungsmaßnahmen im Bereich vektorübertragener Krankheiten relativ beschränkt. Zum Teil existieren keine Impfmöglichkeiten, und Therapien sind oft langwierig und nicht immer erfolgsversprechend (z.B. bei Borreliose).

Insgesamt herrscht noch große Unsicherheit über die genauen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit, insbesondere bei den indirekten Wirkungen.

Das deutsche Gesundheitswesen ist bisher nur kaum an den Klimawandel angepasst, so dass ohne weitere Maßnahmen im Bereich Hitzewirkung regional eine „hohe“, deutschlandweit eine „mäßige“ Vulnerabilität besteht. Zwar herrscht im Bereich vektorübertragener Krankheiten noch große Unsicherheit über die Klimawirkung, aber aufgrund des potenziell hohen Risikos und des aktuellen Anpassungsdefizits ist von einer „hohen“ Vulnerabilität auszugehen (Ohne-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8). In der Zukunft sollte der Gesundheitsbereich gut dazu in der Lage sein, die Anpassung an den Klimawandel zu vollziehen; denn für die

verschiedenen potenziellen Auswirkungen des Klimawandels bestehen v.a. in Form der Aufklärung und Warnung wirksame Vorsorgemaßnahmen, die darüber hinaus zumeist nicht besonders aufwändig zu sein scheinen. Andererseits sind Aufklärung und Warnung im Bereich vektorbasierter Krankheiten fast die einzigen wirksamen Maßnahmen. Die Veränderung von einer reaktiven zu einer proaktiven Maßnahmenplanung, die auch Szenarien über die zukünftige Klimaentwicklung und nicht nur Wetterereignisse und Klimatrends der Vergangenheit berücksichtigt, bedarf im Gesundheitswesen besonderer Unterstützung. Werden die genannten Anpassungsmaßnahmen realisiert, ist eine Reduktion der Vulnerabilität im Gesundheitsbereich auf eine „geringes“ Maß zu erwarten (Mit-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8).

4.5.2 Gesundheit und Klima

Das Klima beeinflusst den menschlichen Körper auf direkte und indirekte Weise (McMichael et al., 1997). Direkte Wirkungen sind unmittelbare Folgen von Klima- und Wetterzuständen, insbesondere von thermischen Extremen auf den menschlichen Organismus. So steigen mit zunehmender Wärme- bzw. Kältebelastung u.a. die Anforderungen an das Herz-Kreislaufsystem und die Atmung (Koppe et al., 2003). Als indirekte Wirkungen des Klimawandels gelten Veränderungen der Verbreitungsgebiete, der Population und des Infektionspotenzials von Krankheitsüberträgern (Vektoren) wie Stechmücken, Zecken oder Nagetieren. Außerdem nimmt das Klima über die Veränderung von Umweltbedingungen Einfluss auf die menschliche Gesundheit, z.B. über die Verfügbarkeit von sauberem Wasser, die Bedingungen für die Produktion von Nahrungsmitteln und die Gefahr von extremen Wetterereignissen (Jendritzky et al., 2004).

Direkte Wirkungen

Der menschliche Organismus befindet sich in dauernder Auseinandersetzung mit den thermischen Bedingungen seiner Umwelt. Kommt es dabei für die Region und die Jahreszeit zu relativ extrem empfundenen Temperaturen, sind insbesondere ältere und geschwächte Menschen gefährdet (Parry, 2000).

Speziell für die Belastung durch Hitze spielen, neben der Überschreitung eines Schwellenwertes für Hitzebelastung, Dauer, Änderungsgeschwindigkeit und Zeitpunkt innerhalb der Saison (Zeitpunkt der Akklimatisation) eine Rolle (Koppe et al., 2004). Vergleichende Untersuchungen in Lissabon, Madrid und Baden-Württemberg zeigten, dass es an Tagen mit starker oder extremer Wärmebelastung zu einer signifikanten Erhöhung der Mortalität kommt. Unterschiede in der Mortalität bei ansonsten gleichen Bedingungen hängen u.a. von sozioökonomischen Faktoren ab. Hohe Lufttemperaturen verursachen in Ballungsräumen zusätzliche Gesundheitsgefährdung durch Luftverschmutzung.

Ob höhere Wintertemperaturen allerdings im Gegenzug die durch Unterkühlung sowie Atemwegs- und Herz-Kreislauf-erkrankungen ausgelöste Wintersterblichkeit reduzieren können (WHO, 2003), ist umstritten. Die allgemein in Europa erhöhte Sterblichkeit im Winter gegenüber dem Sommer hängt überwiegend mit Infektionskrankheiten (z.B. Grippe) zusammen, bei der die thermischen Bedingungen, anders als bei Wärmebelastung, nur eine indirekte Rolle spielen. Auch die Wintersterblichkeit ist eng an sozioökonomische Faktoren, wie die Heizung und Isolierung der Wohnung, gekoppelt (Parry, 2000).

Indirekte Wirkung des Klimawandels: Vektorübertragene Krankheiten

Zahlreiche tierische Krankheitserreger, Viren und Bakterien werden über Krankheitsüberträger, sogenannten Vektoren, auf den Menschen übertragen. Dies können bestimmte Insekten (Mücken, Zecken), aber auch höhere Arten (Vögel, Säugetiere) sein. Entscheidend für die Bionomie der Vektoren und der von ihnen übertragenen Pathogene sind unter anderem die klimatischen und mikroklimatischen Umweltbedingungen. Im Zusammenhang mit dem zu erwartenden Klimawandel ist u.a. mit einer Veränderung der Verbreitung und Übertragungsdynamik von Vektoren zu rechnen, was wiederum Auswirkungen auf die von Vektoren übertragenen Krankheiten haben wird (WHO, 2003).

Indirekte Wirkung des Klimawandels: Verschlechterung der Umweltbedingungen

Weitere indirekte Folgen des Klimawandels stellen Beeinträchtigungen der Gesundheit durch die Verschlechterung der Umweltbedingungen dar. Dazu gehört u.a. die Ausbreitung von Allergenen in der Luft, Beeinträchtigung der Qualität und Quantität von Wasser- und Nahrungsmitteln sowie die Degradierung der Ökosysteme, die der Mensch als Erholungsraum benötigt (McMichael et al., 2003).

Die Konzentration von Luftallergenen, wie z.B. Pollen, ist saisonal stark unterschiedlich. Durch den Klimawandel könnte es zu einer Verschiebung und Verlängerung der betroffenen Jahreszeiten kommen und damit auch zu einer höheren Belastung der Gesundheit. Zudem ist auch die Belastung der Luft in Ballungsräumen durch Schadstoffe wie Stickoxide (NO_x), Ozon (O₃) und Staubpartikel (PM: particulate matter) vom Klima abhängig. U.a. können bei steigenden Temperaturen und verstärkter Sonneneinstrahlung vermehrt Sekundärschadstoffe wie Ozon entstehen. Die genauen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit über eine Beeinflussung der Luftgüte sind allerdings bisher noch unklar (Parry, 2000).

Wasserknappheit kann in Zukunft die Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser einschränken und das Funktionieren der Abwasserreinigung beeinträchtigen. Dies könnte zu einem Anstieg von Krankheiten führen. Eine weitere mögliche indirekte Folge stellt die vermehrte Blüte von Blaualgen (Cyanobacteria) in den Flüssen, Seen und der Nord- und Ostsee dar. Die Blüte von einigen Blaualgen ist mit der Bildung von toxischen Stoffen verbunden. Dadurch kommt es zu einer Verschmutzung des Wassers, die es für die Trinkwassergewinnung und auch für Erholungszwecke unbrauchbar macht. Kontakt mit verunreinigtem Wasser kann zu Hautreaktionen, Schnupfen, Magen-Darm-Erkrankungen und Erkrankungen der Lunge führen.

Auch die Qualität von Nahrungsmitteln kann gefährdet sein, z.B. durch vermehrten Befall mit Salmonellen als Folge steigender Temperaturen. Fachgerechte Lagerung und Vertrieb der Nahrungsmittel können dem allerdings entgegenwirken.

Schließlich gefährden auch die Zunahme von extremen Wetterereignissen und deren Folgen wie durch Starkregen ausgelöste Hochwässer oder Sturm die Gesundheit. Diese Extremereignisse können einerseits direkt zu körperlichen Verletzungen der betroffenen Bevölkerung führen und andererseits durch Stress, Angstzustände und Depressionen die psychische Gesundheit der Menschen stark beeinträchtigen. Diese Gesundheitsgefährdungen gelten auch und besonders bei Küstenbewohnern, die durch den prognostizierten Anstieg des Meeresspiegels und die erhöhte Sturmwahrscheinlichkeit betroffen sind (WHO, 2003).

Generell ist das Wissen über die gesundheitlichen Folgen der Verschlechterung der Umweltbedingungen im Zuge des Klimawandels noch sehr lückenhaft und beruht weitestgehend auf Expertenannahmen. Genauere Untersuchungen zu diesem Themenbereich fehlen.

4.5.3 Ausgangssituation: Gesundheit und Klima in Deutschland

Das Gesundheitssystem in Deutschland

Die Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit hängt in hohem Maße mit dem bestehenden und zukünftigen Standard des Gesundheitssystems zusammen. In Deutschland ist der derzeitige Standard im weltweiten Vergleich sehr hoch. Ein engmaschiges Netz aus niedergelassenen Ärzten und Kliniken gewährleistet in Deutschland eine flächendeckende Grund- bis Maximalversorgung. Ein weltweit einzigartiges Netz aus über 1000 Reha-Kliniken stellt die Nachsorge an die Akutversorgung sicher. Diese gut entwickelte Infrastruktur ist zur Zeit noch weitestgehend in der Lage, negative Gesundheitswirkungen des Klimas zu verhindern. Jedoch verschlechtert sich aufgrund von Sparzwängen die Gesundheitsversorgung und es scheinen insbesondere im Zusammenhang mit Gesundheitsproblemen aufgrund des *Klimawandels* große Defizite zu bestehen. Darüber hinaus besteht ein genereller Bedarf für eine stärkere Vorsorgeorientierung im deutschen Gesundheitssystem.

Bioklima in Deutschland

Vor allem hinsichtlich der thermischen Beanspruchung der menschlichen Gesundheit zeigen sich in Deutschland regional große Unterschiede (Abb. 4.5-1). Während in den Alpen, den Mittelgebirgen und an den Küsten eine sehr geringe Wärmebelastung zu verzeichnen ist, sind insbesondere der Oberrheingraben, aber auch andere Teile Süddeutschlands und Ostdeutschlands von einer Belastung der Gesundheit durch Wärme im Sommer betroffen. Auch in Ballungsräumen (v.a. in Kessellagen) mit ihren gegenüber dem Umland erhöhten Temperaturen muss von einer stärkeren Belastung ausgegangen werden. Hier herrschen an heißen Tagen oft zusätzlich ungünstige Bedingungen (Schwüle, Ozonbelastung) und die Temperaturen liegen oft noch einige Grade höher als im Umland. Vor allem in den Nachtstunden fehlt hier die Abkühlung, die für eine vorübergehende Erholung wichtig wäre.

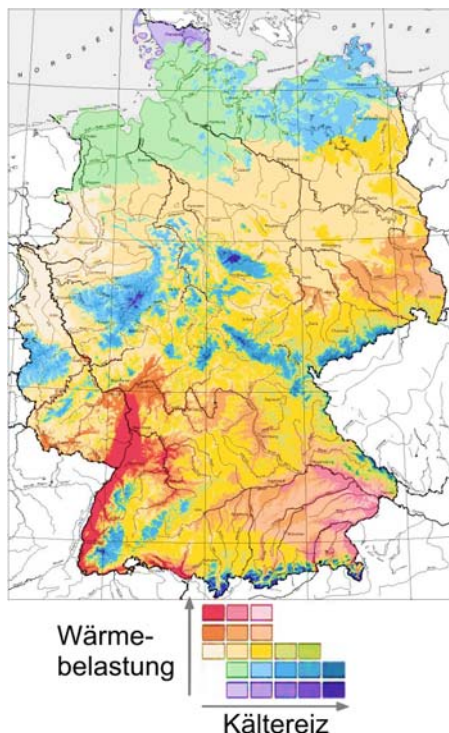


Abb. 4.5-1: Das Bioklima in der Bundesrepublik für die Periode 1970-2000 (Jendritzky et al., 2003).

Hitzewelle 2003

Die Hitzewelle im Sommer 2003 hat die direkte Wirkung von Hitze auf die menschliche Gesundheit in Deutschland und ihre regionale Verteilung deutlich gemacht. Koppe und Jendritzky (2004) konnten für Baden-Württemberg nachweisen, dass, ausgelöst durch die Hitze, eine ungewöhnlich hohe Mortalität von 900 bis 1300 zusätzlichen Todesfällen allein im August 2003 zu verzeichnen war (siehe Abb. 4.5-2). Das entspricht einer Zunahme um ca. 16-24%. Für Deutschland liegen keine genauen Zahlen vor. Nach Hochrechnungen wird aber von einer Anzahl von mindestens 7000 zusätzlichen Todesfällen ausgegangen (Jendritzky, 2004). Betroffen waren überwiegend ältere Menschen. Koppe et al. (2003) vermuten, dass die Sterblichkeit im Sommer 2003 noch viel höher ausgefallen wäre, wenn die Luftmassen in Deutschland nicht so trocken gewesen wären.

Neben den direkten Auswirkungen der Hitzewelle auf die Gesundheit trat 2003 gebietsweise eine Knappheit an Trinkwasser auf. Zudem kam es an Nord- und Ostsee bereits zu toxischen Blaualgenblüten, in deren Folge zahlreiche Badestrände gesperrt werden mussten.

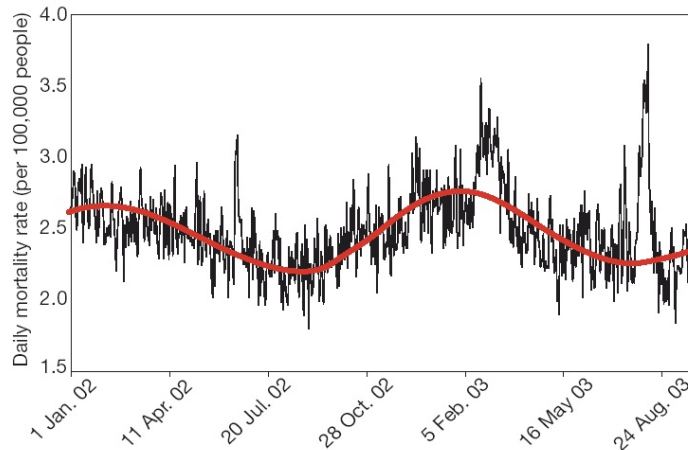


Abb. 4.5-2: Einfluss der Hitzewelle 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg (Koppe & Jendritzky, 2004). Deutlich zu sehen ist die Spitze im August 2003 (schwarze Linie), die aus dem oszillierenden Trend (rote Linie) hervorsticht.

Indirekte Wirkungen

Unter den vektorübertragenen Krankheiten steht in Deutschland die Gefahr der durch Zecken, im Wesentlichen durch *Ixodes ricinus* übertragenen Krankheiten an erster Stelle. Wegen der großen epidemiologischen Bedeutung dieser Krankheiten (FSME, Lyme-Borreliose) für die Bevölkerung liegen auf diesem Gebiet die meisten und aktuellsten Untersuchungen vor. Einige Untersuchungen aus Schweden und Tschechien weisen auf eine Ausweitung der Verbreitungsgebiete nach Norden und in größere Höhen hin. Dennoch ist noch nicht abschließend geklärt, inwieweit die Verbreitung von (infizierten) Zecken wirklich durch den Klimawandel beeinflusst und verstärkt wird (Maier et al., 2003).

Als weitere wichtige Krankheitsüberträger in Deutschland wurden Stechmücken (*Culiciden*), Sandmücken (*Phlebotomen*), Kriebelmücken (*Simuliiden*), Gnitzen (*Ceratopogoniden*), Flöhe (*Siphonaptera*), Wanzen (*Heroptera*), Läuse (*Phthiaptera*), Fliegen und Milben identifiziert (Maier et al., 2003). Auch Nagetiere und andere wilde Säugetiere (Füchse, streunende Hunde etc.) können als Keimverschlepper die Umgebung und Nahrung des Menschen kontaminieren und so zur Infektion führen.

Prinzipiell besteht als Folge der Klimaerwärmung auch die Gefahr von Malariainfektionen in Deutschland. Neben dem Vorkommen der Anopheles-Mücke (aktuell v.a. im Oberrheingebiet) ist die Hitze der entscheidende Faktor für eine Ausbreitung des Krankheitserregers in der Anopheles-Mücke. Die Gefahr einer Ausbreitung steigt rapide, wenn die Tages- und Nachttemperaturen zwei Wochen lang 18 Grad nicht unterschreiten. Eine epidemieartige Ausbreitung wird allerdings nicht erwartet (Ärzte Zeitung, 06.10.2004).

Für die meisten hier angeführten Krankheitsüberträger gilt, dass ihr Auftreten und ihre Verbreitung durch den Klimawandel beeinflusst werden und dass dies zu einem Gesundheitsrisiko führen kann. Zahlreiche Daten belegen, dass Vektoren vom Klima, vor allem von der Temperatur, abhängig sind und z.B. auf Temperaturänderungen rasch reagieren können. Zudem besteht meist eine positive Korrelation zwischen der Entwicklungsgeschwindigkeit der Pathogene im Vektor und ansteigender Temperatur, die aber ein Optimum nicht überschreiten darf. Die Analyse der gegenwärtigen Situation zeigt auch, dass viele nicht-einheimische wärmeliebende Krankheitsüberträger bereits nach Deutschland eingeschleppt worden sind. Allerdings führen auch andere Faktoren, wie z.B. der internationale Tierhandel und der gestiegene Güter- und Reiseverkehr zu einem erhöhten Einschleppungsrisiko von Krankheitsüberträgern.

4.5.4 Auswirkungen des Klimawandels – Literaturergebnisse

Direkte Wirkung

Zwar war 2003 ein ungewöhnliches Jahr, doch konnte gezeigt werden, dass sich die Wahrscheinlichkeit für ein solches Extremjahr in den letzten Jahrzehnten bereits deutlich erhöht hat (Schönwiese et al., 2003). Aufgrund der weiter steigenden Temperaturen und der damit verbundenen erhöhten Häufigkeit von extremen Temperaturereignissen gehen einige Autoren davon aus, dass das Jahr 2003 stellvertretend für die klimatischen Zustände ist, die uns in den nächsten 100 Jahren öfter erwarten (Beniston, 2004). Insofern werden die mit Hitze und Hitzeperioden verbundenen gesundheitlichen Probleme in Zukunft zunehmen und deren Lösung zu einer essenziellen Aufgabe für das Gesundheitssystem werden (Koppe et al., 2003). Die weiter voranschreitende Vergrößerung der am meisten von den direkten Wirkungen des Klimawandels betroffenen Bevölkerungsgruppe alter Menschen, macht Deutschland besonders vulnerabel gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Gesundheit.

In Zukunft werden die Gebiete besonders stark von gesundheitlichen Problemen durch Hitze betroffen sein, die schon unter heutigen Bedingungen häufige und lange Perioden mit hoher Wärmebelastung aufweisen (Abb. 4.5-1). Dazu gehören vor allem der Oberrheingraben und große Teile Süd- und Südostdeutschlands. Besonders im heute schon überdurchschnittlich warmen Oberrheingraben werden in Zukunft die stärksten Erwärmungen erwartet.

Indirekte Wirkungen

In Deutschland muss zukünftig von einem steigenden Gesundheitsrisiko durch vektorbasierte Krankheiten ausgegangen werden. Wie stark der Einfluss des Klimawandels an diesem Prozess ist, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend geklärt werden (Maier et al., 2003).

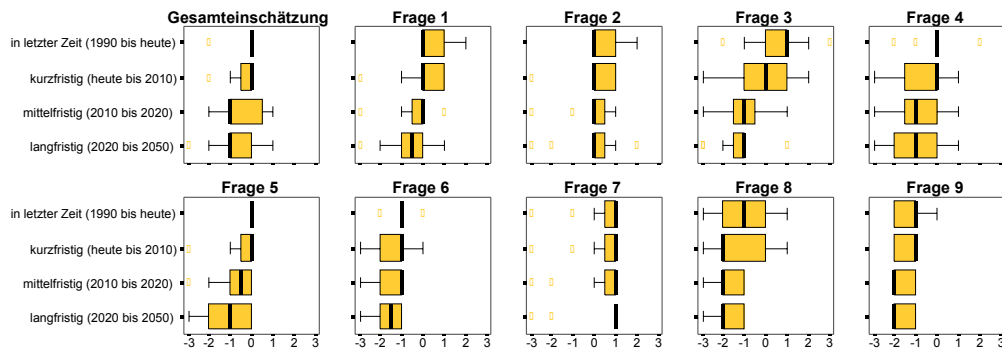
4.5.5 Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten

Wie in Kap. 2.6 konkret beschrieben, wurden in verschiedenen klimasensitiven Bereichen Deutschlands Befragungen mit Vertretern aus den jeweiligen Fachbehörden durchgeführt – auch im Gesundheitswesen. Bereichsspezifische Bewertungen der direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels liegen für verschiedene Naturräume (siehe Kap. 2.6) aus den folgenden sechs Bundesländern vor: Hamburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Hessen und Baden-Württemberg. Negative Einschätzungen werden als Risikobewertungen, positive Einschätzungen als Chancenbewertungen interpretiert. Die Ergebnisse der Befragung sind in Abb. 4.5-3 grafisch dargestellt. Aufgrund des geringen Rücklaufs der Fragebögen aus den 16 Bundesländern und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Bewertungen nur als vorläufige Abschätzungen angesehen werden. Andererseits gründen immerhin fast die Hälfte der Befragten ihre Einschätzungen auf Studien über vergangene und zukünftige Klimaentwicklungen und deren Auswirkungen in ihren Bundesländern.

Gesamteinschätzung des Klimawandels

Die Bedeutung des Klimawandels für den Gesundheitsbereich bewerten die Befragten gemittelt über die Naturräume und Bundesländer in letzter Zeit (1990 bis heute) und auch kurzfristig (heute bis 2010) als „weder positiv noch negativ“, wobei der Befragte aus Berlin für diese beiden Zeiträume eine „negative“ Einschätzung abgibt. Mittelfristig (2010 bis 2020) und langfristig (2020 bis 2050) verändern sich die Bewertungen einerseits im Mittel zu „etwas negativ“, andererseits nehmen die Unterschiede zwischen den Einschätzungen für die verschiedenen Naturräume und Bundesländer immer weiter zu, so dass für die Langfristperspektive das Spektrum der Einschätzungen von „sehr negativ“ (Oberrheingraben in Baden-Württemberg) bis zu „etwas positiv“ (sämtliche Naturräume in Thüringen) reicht.

Gesamteinschätzung des Klimawandels und Einschätzungen der direkten Auswirkungen



Wie positiv/negativ für Ihren Bereich ist/sind Ihrer Meinung nach ...

Frage 1: ... eine steigende Jahresmitteltemperatur

Frage 2: ... steigende Temperaturen im Winter?

Frage 3: ... steigende Temperaturen im Sommer?

Frage 4: ... eine Zunahme der Jahressumme der Niederschläge?

Frage 5: ... eine Abnahme der Jahressumme der Niederschläge?

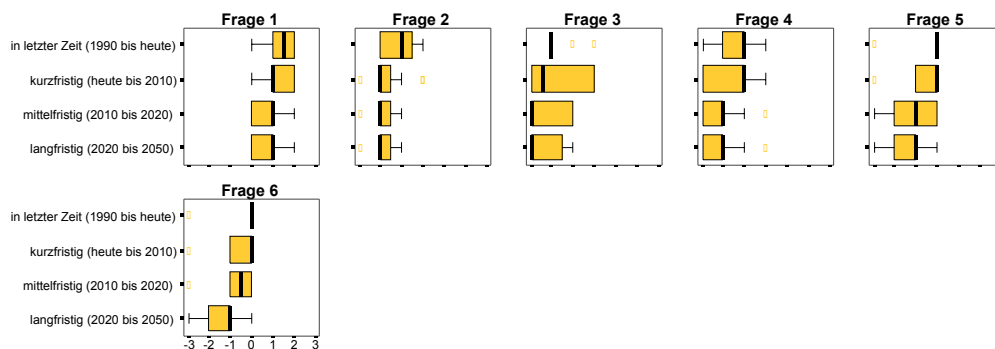
Frage 6: ... stärkere Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr?

Frage 7: ... weniger Frosttage?

Frage 8: ... mehr heiße Tage und Hitzewellen?

Frage 9: ... mehr Starkniederschläge?

Einschätzungen der indirekten Auswirkungen des Klimawandels



Wie positiv/negativ für Ihren Bereich ist/sind Ihrer Meinung nach ...

Frage 1: ... weniger Probleme mit Frost (Erfrierungen, Kältetote)?

Frage 2: ... mehr Probleme mit Hitze (Kreislaufprobleme, Hirngefäß- und Atemwegserkrankungen, Hitzetod)?

Frage 3: ... Tote und Verletzte durch Extremereignisse (Sturm, Flut)?

Frage 4: ... Verbreitung von Zecken?

Frage 5: ... Verbreitung von Anopheles-Mücken (Malaria)?

Frage 6: ... Krankheiten durch Probleme mit der Wasserqualität (Oberflächenwasser und Trinkwasser)?

Antwortalternativen:
-3 = sehr negativ
-2 = negativ
-1 = etwas negativ
0 = weder pos. noch neg.
1 = etwas positiv
2 = positiv
3 = sehr positiv.

Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Einschätzungen für verschiedene Naturräume u. Bundesländer als Box-Plot: Die Box umfasst die mittleren 50% der Verteilung und bezeichnet somit die Werte zwischen dem unteren und dem oberen Quartil. Je weiter links sich die gelbe Box befindet, desto negativer wird die Auswirkung des Klimawandels bewertet. Die Lage des Medians (Mittelwert) wird durch einen dicken senkrechten Strich verdeutlicht. Zwei Linien links und rechts der Box verdeutlichen die Spannweite der gegebenen Einschätzungen. Als gelbe Balken werden Ausreißer und Extremwerte markiert, die 1,5 bis 3 Boxlängen vom oberen oder unteren Quartil entfernt sind.
Auswertungsgrundlage: 6 Fragebögen aus den Bundesländern Hamburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Hessen und Baden-Württemberg.

Abb. 4.5-3: Einschätzungen des Klimawandels und seiner potenziellen Auswirkungen im Bereich Gesundheit.

Risikobewertungen

Von den potenziellen *direkten Auswirkungen des Klimawandels* schätzen die Befragten mehr heiße Tage und Hitzewellen durchschnittlich am negativsten ein, wobei es große Unterschiede in den Einzelbewertungen gibt. Bereits in der Vergangenheit werden mehr heiße Tage und Hitzewellen durchschnittlich „etwas negativ“ bewertet, in Berlin sogar als „sehr negativ“. In der Zukunft werden sie im Mittel „negativ“, in Berlin und im Oberrheingraben Baden-Württembergs sogar „sehr negativ“ eingeschätzt. Als „etwas negative“ bis „negative“ Entwicklungen werden stärkere Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr und vermehrte Starkniederschläge gesehen. Kurzfristig durchschnittlich neutral, mittel- und langfristig aber eher negativ bewerten die Befragten eine steigende Jahresmitteltemperatur, steigende Temperaturen im Sommer und eine Zunahme bzw. eine Abnahme der Jahressumme der Niederschläge²⁰. Jedoch zeigen sich auch hier zum Teil sehr große Spannbreiten der Einzelschätzungen.

Die erfragten sechs potenziellen *indirekten Auswirkungen des Klimawandels* auf den Gesundheitsbereich werden zumeist als Risiken bewertet. Tote und Verletzte durch Extremereignisse (Sturm, Flut) schätzen die Befragten durchschnittlich als das größte Risiko ein, jedoch mit deutlichen Unterschieden zwischen den Bewertungen in den einzelnen Naturräumen und Bundesländern. Einheitlicher „negativ“ werden die vermehrten Probleme mit Hitze (Kreislaufprobleme, Hirngefäß- und Atemwegserkrankungen, Hitzetod) gewertet. Kurzfristig im Mittel nur „etwas negativ“, mittel- und langfristig aber „negativ“ sehen die Befragten die Verbreitung von Zecken. Als weniger gravierende Probleme werden im Mittel die Verbreitung von Anopheles-Mücken (Malaria) und Krankheiten durch Probleme mit der Wasserqualität (Oberflächenwasser und Trinkwasser) gesehen.

Chancenbewertungen

Von den potenziellen *direkten Auswirkungen des Klimawandels* werden im Mittel weniger Frosttage als „etwas positive“ Chance bewertet. Zwar werden die steigenden Temperaturen im Winter durchschnittlich neutral bewertet, aber tendenziell wird diese Entwicklung ebenfalls als Chance begriffen. Ein Befragter sieht jedoch beide Entwicklungen „sehr negativ“. Die einzige potenzielle *indirekte Auswirkung des Klimawandels* auf den Gesundheitsbereich, die als Chance begriffen wird, sind weniger Probleme mit Frost (Erfrierungen, Kältetote).

Weitere Auswirkungen

Außerdem wurde nach weiteren möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Gesundheit gefragt. Die Befragten nannten hier vektorassoziierte Erkrankungen, Algentoxine, den Import neuer Krankheiten durch ökologische Veränderungen weltweit, die langfristige Verschlimmerung der Ozon- und Smogproblematik und gesundheitliche Folgen für Haut und Augen aufgrund einer veränderten Sonneneinstrahlung.

4.5.6 Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels

Anders als in Großbritannien, Portugal, Kanada und den USA existiert in der Bundesrepublik Deutschland bisher weder eine Bewertung der Rolle von Klima und Klimaänderung für die Gesundheit der Bevölkerung noch eine entsprechende Vorsorgeplanung (Koppe et al, 2003).

Da im Jahr 2003 zum ersten Mal in der Geschichte der Bundesrepublik massiv und flächen-deckend hitzebedingte Gesundheitsprobleme auftraten, ist Deutschland in diesem Bereich relativ unvorbereitet. Es fehlt an medizinischem Wissen, Aufklärungs- und Vorsorgemaßnahmen und Warnsystemen (Jendritzky 2005, mündlich). Als Reaktion wurde mittlerweile von einer Reihe von Bundesländern ein Vorsorgekatalog „Hitze“ erstellt. Hitzewarnungen werden seit dem Sommer 2005 vom Deutschen Wetterdienst ausgegeben. In Hessen wurde bereits 2004 ein auf den Warnungen des DWD aufbauendes Warnsystem eingerichtet. Des weiteren wurde von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachge-

²⁰ Nach momentanem Wissenstand erscheinen je nach Region sowohl die Zu- als auch die Abnahme der Jahresniederschläge möglich. Daher wurden beide Optionen den Befragten zur Bewertung vorgelegt.

sellschaften (AWMF) eine Expertenkommission zur Planung von Präventivmaßnahmen eingesetzt (Wichert, 2004).

Auch die Situation der Medizinischen Entomologie, die für die Erfassung der Schadwirkungsbewertung und die Abwehr von Vektoren und der von ihnen übertragenen Pathogene zuständig ist, wird in Studien als problematisch eingeschätzt und hat sich in den letzten Jahrzehnten eher verschlechtert. Zwar existiert ein nationales Referenzlabor für durch Zecken übertragene Krankheiten, allerdings fehlen fast überall ausgebildete Fachkräfte sowohl für die praktischen als auch für die wissenschaftlich fundierten Arbeiten auf diesem Feld (Maier et al., 2003). In der Folge besteht u.a. bei der Borreliose eine hohe Dunkelziffer, denn oft wird die Krankheit nicht als solche erkannt und behandelt.

Als Anpassungsmaßnahmen im Gesundheitsbereich werden empfohlen:

- Vermehrte Aufklärung der Bevölkerung und des medizinischen Fach- und Pflegepersonal über die gesundheitlichen Gefahren und mögliche Vorsorgemaßnahmen
- Einführung von Frühwarnsystemen mit lokal adjustierten Interventionsmaßnahmen, die zeitlich und räumlich konkretisierte Warnungen ausgeben und Verhaltensregeln empfehlen
- Ausbau der medizinischen Forschung zu diesem Thema und intensives Monitoring von klimabedingten Krankheiten (Bereits bestehende Monitoringnetzwerke, wie sie z.B. vom Robert-Koch-Institut zur Verfügung gestellt werden, können hier genutzt werden.)
- Ausbau der medizinischen Vorsorge und Versorgung
- Bereitstellung von technischen Schutzmaßnahmen (Isolierung, Klimaanlage etc.)
- Berücksichtigung der durch den Klimawandel hervorgerufenen Gesundheitsprobleme in den Programmen für die öffentliche Gesundheitspflege, so dass geeignete Impfungen und die Eindämmung der Krankheitsüberträger durchgeführt werden können

Ein weiteres Bündel von Anpassungsmaßnahmen betrifft den Bereich der klimaorientierten Stadtplanung und angepassten Architektur. Gerade in Ballungszentren werden in Zukunft eine ausreichende Frischluftzufuhr und Kälteinseln von Bedeutung sein. In Gebäuden ist für ausreichende Isolation und für Kühlmöglichkeiten zu sorgen. Im Sinne des Klimaschutzes ist hier der Nutzung erneuerbarer Energien der Vorzug zu geben (z.B. durch solares Kühlen).

4.5.7 Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten

Zu Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, liegen Ergebnisse von Expertenbefragungen (zur Methode siehe Kap. 2.6) v.a. aus Gesundheitsverwaltungen bzw. -ministerien der folgenden sieben Bundesländern vor: Hamburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Hessen, Saarland und Baden-Württemberg. Aufgrund des geringen Rücklaufs der Fragebögen und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Befragungsergebnisse nur als vorläufige Einschätzungen von Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich Gesundheit in Deutschland geeignet sind, angesehen werden.

Innerhalb der Befragung wurden die Maßnahmen hinsichtlich verschiedener Dimensionen bewertet, u.a. hinsichtlich der Maßnahmen-Wirksamkeit zur Minderung der in Abschnitt 4.5.5 dargestellten potenziellen Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels (siehe Tab. 4-5) und hinsichtlich der bisherigen Maßnahmen-Umsetzung (siehe Abb. 4.5-4).

Hitzewellen: Aufklärung, Warnsysteme, Notfallpläne, Gebäudeisolation und -kühlung

Als Maßnahmen zur Anpassung an Hitzewellen sehen fast alle Befragte die Aufklärung und verbesserte Warnsysteme als wirksam an (siehe Tab. 4-5). Nur die Hälfte der Befragten schreibt verbesserten Notfallplänen eine Wirksamkeit zu und erstaunlich wenige sehen in der Verbesserung der Gebäudeisolation bzw. -kühlung für besondere Personengruppen (Alte, Kranke) eine wirksame Maßnahme.

Tab. 4-5: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Gesundheit. Dargestellt ist die Anzahl der Befragten, die den Maßnahmen eine Wirksamkeit zur Minderung bzw. Nutzung der Auswirkungen zuschreiben. Auswertungsgrundlage: 6 Fragebögen aus den Bundesländern Berlin, Hamburg, Thüringen, Hessen, Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern.

Maßnahmen	Auswirkungen					
	Weniger Probleme mit Frost (Erfrierungen, Kältetote)	Mehr Probleme mit Hitze (u.a. Kreislaufprobleme, Hitzetod)	Tote und Verletzte durch Extremereignisse (Sturm, Flut)	Verbreitung von Zecken	Verbreitung der Anopheles-Mücken (Malaria)	Krankheiten durch Probleme mit der Wasserqualität (Oberflächenwasser und Trinkwasser)
Aufklärung	2	5	3	6	4	2
Verbesserte Warnsysteme	1	5	4	2	4	3
Verbesserte Notfallpläne	-	3	4	1	1	3
Verbesserung von Gebäudeisolation und Kühlung für besondere Personenkreise	1	2	-	-	-	-
Impfkampagnen	-	-	-	1	1	-
<u>gefahrenübergreifende Maßnahmen</u>						
Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel	-	1	1	-	-	1
Bildung von Rücklagen für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen	-	-	1	-	-	1

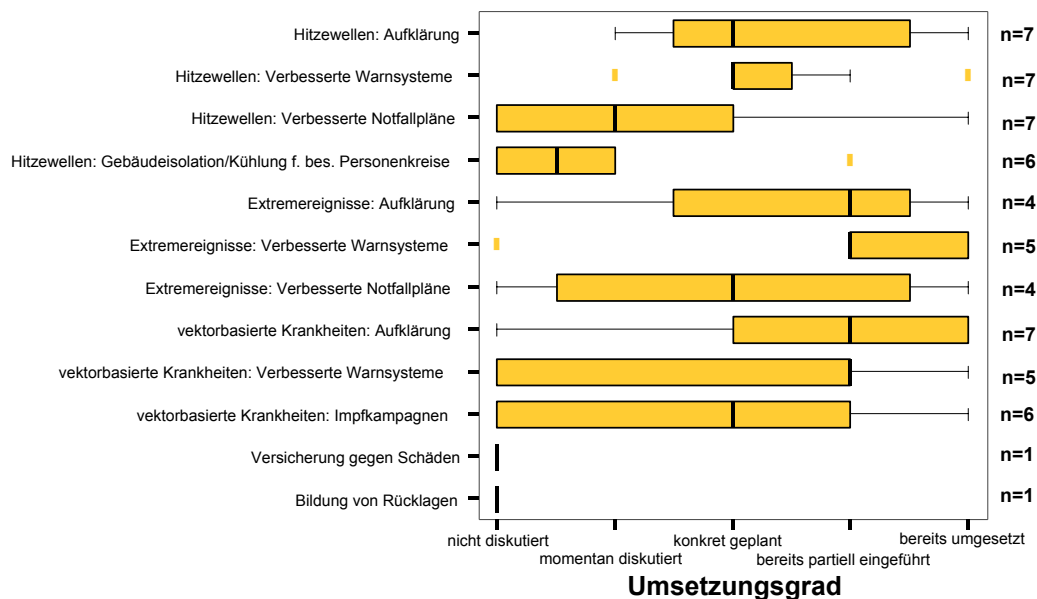


Abb. 4.5-4: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Gesundheit. Auswertungsgrundlage: 7 Fragebögen aus den Bundesländern Hamburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen, Hessen, Saarland und Baden-Württemberg. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden Fragebögen. Zur Erklärung der grafischen Darstellungsweise siehe Abb. 4.5-3.

Der Umsetzungsgrad von Anpassungsmaßnahmen an Hitzewellen wird insgesamt geringer bewertet als von Anpassungsmaßnahmen an Extremereignisse (z.B. Hochwasser) und vektorbasierte Krankheiten (siehe Abb. 4.5-4). Insbesondere bei der Aufklärung, den Warnsystemen und Notfallplänen finden sich große Unterschiede zwischen den Bundesländern. Der höchste Umsetzungsgrad („bereits umgesetzt“) wird für die Aufklärung aus Hessen und Thüringen, für verbesserte Warnsysteme aus Hessen und für verbesserte Notfallpläne aus Baden-Württemberg berichtet. Als Gründe für die Einführung dieser drei Maßnahmen werden von den meisten Befragten die Erfahrung des Hitzesommers 2003 genannt und die daraus erwachsene Initiative der Arbeitsgemeinschaft der obersten Landesgesundheitsbehörden auf Vorschlag des DWD. Der Klimawandel wird nur vom Befragten aus Hamburg als Mitgrund benannt, jedoch ausschließlich für die Einführung der Hitzewellen-Aufklärung.

Innerhalb der Maßnahmen, die zur Anpassung an Hitzewellen geeignet sind, findet sich der geringste Umsetzungsgrad bei der Gebäudeisolation bzw. -kühlung für besondere Personengruppen. In allen Bundesländern wird diese Maßnahme entweder „nicht diskutiert“ oder „momentan diskutiert“. Nur aus Thüringen wird berichtet, dass diese Anpassungsoption „bereits partiell eingeführt“ ist, wobei der Befragte als Gründe für ihre Einführung Modernisierungs- und Energieeinsparungsbestrebungen und nicht die Absicht zur Anpassung an Hitzewellen benennt.

Als Hindernisse für die Umsetzung aller vier Hitzewellen-Maßnahmen nennen rund die Hälfte der Befragten organisatorische Hindernisse. Finanzielle Hindernisse werden für die Umsetzung von Aufklärung, Warnsystemen und Notfallplänen von ein bis zwei Befragten genannt, von fast allen Befragten jedoch für die Umsetzung verbesserter Gebäudeisolation und -kühlung. Darüber hinaus wird als Erschwernis benannt, dass die Vorsorge gegenüber Hitzewellen außerhalb von Süddeutschland, welches von der Hitzewelle 2003 besonders betroffen war, politisch und gesellschaftlich noch kein Thema sei. Vor dem Hintergrund dieser Hindernisse schätzen die Befragten die Hitzewellen-Aufklärung und verbesserte Warnsysteme im Mittel als „etwas aufwändig“, verbesserte Notfallpläne als „aufwändig“ und die Gebäudeisolation und -kühlung für besondere Personengruppen sogar als „sehr aufwändig“ ein.

Extremereignisse: Aufklärung, Warnsysteme und Notfallpläne

Um Tote und Verletzte durch Extremereignisse zu verhindern, werden entsprechende Aufklärung, Warnsysteme und Notfallpläne von den meisten Befragten als wirksam angesehen (siehe Tab. 4-5). Hinsichtlich des Umsetzungsgrades der Aufklärung und der verbesserten Warnsysteme zeigt sich, dass sie im Mittel über die befragten Bundesländer als „bereits partiell eingeführt“ eingeschätzt werden, während die Befragten verbesserte Notfallpläne für Extremereignisse im Mittel als „konkret geplant“ bewerten (siehe Abb. 4.5-4). Jedoch liegen nur für vier bzw. fünf der befragten Bundesländer Angaben zur Umsetzung dieser Maßnahmen vor. Dennoch sind die Unterschiede in der Maßnahmenumsetzung zwischen diesen wenigen Bundesländern außerordentlich groß: Die Angaben bewegen sich im gesamten Spektrum von „nicht diskutiert“ bis „bereits umgesetzt“. Der höchste Umsetzungsgrad wird für alle Vorsorgemaßnahmen gegen Extremereignisse aus Hamburg, für Warnsysteme außerdem aus Berlin berichtet.

Als Gründe für die Einführung der Maßnahmen werden v.a. Hochwassererfahrungen und der Hochwasserschutz genannt. Kein Befragter benennt den Klimawandel und dessen Folgen als Mitgrund für die Maßnahmenumsetzung. Zu den Umsetzungshindernissen der erfragten Vorsorgemaßnahmen gegen Extremereignisse hat nur ein Befragter geantwortet²¹ und nennt bei allen drei Maßnahmen v.a. organisatorische Hindernisse. Nur zwei Befragte schätzen die Aufwändigkeit der Maßnahmen ein und bewerten sie als „etwas aufwändig“ bis „aufwändig“.

Vektorbasierte Krankheiten: Aufklärung, Warnsysteme, Impfkampagnen

Um der weiteren Verbreitung von Zecken im Rahmen des Klimawandels zu begegnen, wird in allen befragten Bundesländern die Aufklärung der Bevölkerung als wirksames Mittel bewertet

²¹ Da für die Umsetzung der Maßnahmen gegenüber Extremereignissen die Innenministerien zuständig sind, verfügen die hier befragten Experten aus den Gesundheitsverwaltungen bzw. -ministerien natürlicherweise zumeist nicht über das notwendige Hintergrundwissen zur Beurteilung konkreter Umsetzungshindernisse.

(siehe Tab. 4-5). Um einer potenziell verstärkten Ausbreitung der Malaria entgegenzuwirken, schätzen die meisten Befragten die Aufklärung und verbesserte Warnsysteme als wirksam ein. Impfkampagnen wird hinsichtlich dieser beiden Risiken nur von einem Befragten eine Wirksamkeit zugeschrieben.

Die Aufklärung über vektorbasierte Krankheitsrisiken und die darauf bezogenen Warnsysteme schätzen die Befragten im Mittel als „bereits partiell eingeführt“, entsprechende Impfungen als „konkret geplant“ ein – mit ganz erheblichen Unterschieden zwischen den verschiedenen Bundesländern (siehe Abb. 4.5-4). „Bereits umgesetzt“ sei die Aufklärung über vektorbasierte Krankheitsrisiken in Berlin, Thüringen und Hessen. In Hamburg wird der höchste Umsetzungsgrad für die Warnsysteme, in Thüringen für die Impfungen berichtet. Als Gründe für die Einführung der drei Maßnahmen werden die Gesundheitsvorsorge, die gesetzliche Meldepflicht nach dem Infektionsschutzgesetz und Meldungen von Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) und Borreliose genannt. Der Vertreter Hamburgs hebt in diesem Zusammenhang die besondere Gefährdungslage der Hafenstadt für die Einschleppung von Mücken, Nagetieren und Flöhen hervor. Der Klimawandel spielte nach Aussage der Befragten in der Einführung der Maßnahmen keine Rolle.

Zu Hindernissen und Aufwändigkeit der Maßnahmen machen die Befragten kaum Angaben. Von wenigen Befragten werden finanzielle, organisatorische und wissensbezogene Hindernisse (fehlende Informationen über Inzidenzen und Prävalenzen) genannt. Die Umsetzung von Aufklärung und Warnsystemen wird im Mittel als „etwas aufwändig“, Impfkampagnen als „aufwändig“ eingeschätzt.

Maßnahmen gegen Krankheiten durch Probleme mit der Wasserqualität

Um Krankheiten durch sich im Rahmen des Klimawandels eventuell verstärkende Probleme mit der Wasserqualität zu vermeiden, sehen rund die Hälfte der Befragten verbesserte Warnsysteme und Notfallpläne als wirksame Mittel an, zwei der sechs Befragten bewerten auch die Aufklärung als wirksam (siehe Tab. 4-5). Aus Gründen der Befragungskürze musste auf eine Erhebung des Umsetzungsgrades, der Hindernisse und der Aufwändigkeit dieser Maßnahmen verzichtet werden.

Gefahrenübergreifende Maßnahmen: Versicherung und Rücklagenbildung

Die Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel und die Rücklagenbildung für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen sieht nur ein Befragter als wirksam hinsichtlich einiger potenzieller Auswirkungen des Klimawandels an (siehe Tab. 4-5). Zwar wurde nach der grundsätzlichen Wirksamkeit dieser Maßnahmen gefragt, jedoch haben die befragten Vertreter aus Gesundheitsverwaltungen und -ministerien die Frage offensichtlich nur auf ihre Verwaltung bezogen. Insofern ist die Auffassung einer geringen Wirksamkeit von versicherungs- und finanzwirtschaftlichen Instrumenten verständlich, besteht die Aufgabe dieser Behörden doch vor allem in der Vermeidung von Krankheit und Tod und weniger in deren finanzieller Abwicklung. Vor diesem Hintergrund ist auch verständlich, dass nur ein Befragter Angaben zum Umsetzungsgrad der Rücklagenbildung bzw. Schadensausgleichszahlungen in seinem Bundesland macht und sie in seiner Verwaltung als „nicht diskutiert“ einschätzt (siehe Abb. 4.5-4). Selbstverständlich erhielte man weit höhere Angaben zum Umsetzungsgrad dieser Maßnahmen im Gesundheitsbereich, würde man das Vorhandensein von Lebens-, Berufsunfähigkeits-, Unfall- und Krankenversicherungen und Rücklagen für den Krankheitsfall bei den Bürgern betrachten.

Weitere Maßnahmen

In der Befragung wurde auch nach weiteren Maßnahmen im Bereich Gesundheit gefragt, die geeignet sind, den Risiken des Klimawandels vorzubeugen bzw. dessen Chancen zu nutzen. Die Befragten nennen hier die folgenden Maßnahmen: Reduktion der städtischen Wärmeinseln durch klimagerechte Bauleitplanung, klimagerechte Architektur (Building Design), Aufklärung über Photodermatosen (Hautkrankheiten durch Sonnenlicht-Bestrahlung), Untersuchungen zu Veränderungen von Flora und Fauna durch Verbreitung von Arten mit giftigen oder allergenen Eigenschaften sowie vektorübertragener Krankheiten und Monitoring der Gesundheitseffekte (langfristig).

Anpassung an den Klimawandel in den befragten Fachressorts

Nur drei der Befragten, die aus den Gesundheitsressorts der Bundesländer stammen, geben an, dass innerhalb ihrer Verwaltungen eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel stattfindet. In diesen drei Bundesländern – Hessen, Baden-Württemberg und Hamburg – können auch praktische Programme zur Anpassung an den Klimawandel benannt werden, die sich vor allem auf die Einrichtung von Hitzewarnsystemen beziehen. In Hessen wird darüber hinaus die Beteiligung am Projekt InKlim, in Hamburg die Zusammenarbeit mit dem Amt für Katastrophenschutz genannt. Auf die Frage nach der aktuellen Relevanz der Anpassungsthematik in ihrer Verwaltung im Vergleich zu anderen Themen antworten zwei Befragte mit „wichtig“ (Baden-Württemberg und Berlin), eine Person mit „etwas wichtig“ und drei Befragte mit „unwichtig“. In keiner Verwaltung nimmt das Thema momentan einen „sehr wichtigen“ Stellenwert ein. In den Gesundheitsressorts der verschiedenen Bundesländer scheint daher die Anpassung an die Folgen des Klimawandels momentan eine recht unterschiedliche, wenn auch nie sehr große Bedeutung zu haben, und zumeist auf die Gefahr von Hitzewellen zu fokussieren.

Anpassung im Gesundheitswesen: Zusammenfassung und Resümee

Insbesondere der Aufklärung (jedoch auch verbesserten Warnsystemen) wird von vielen Befragten ein breites Wirksamkeitsspektrum hinsichtlich der verschiedenen potenziellen Auswirkungen des Klimawandels zugeschrieben²². Dabei nennen viele Experten für jede der erfragten Auswirkungen mehrere wirksame Anpassungsmaßnahmen. Diese scheinen darüber hinaus meist nicht besonders aufwändig zu sein. Zwar liegen von den Befragten nur wenige Einschätzungen zu der Aufwändigkeit vor, aber viele Maßnahmen werden oft als nur „etwas aufwändig“ bewertet.

Jedoch sind diese Maßnahmen in den befragten Bundesländern bisher meist nicht vollständig umgesetzt. Dies gilt v.a. für Maßnahmen zur Vorsorge gegen Hitzewellen und innerhalb dieser Maßnahmenkategorie insbesondere für die bei Hitzewellen wichtige Gebäudeisolation und -kühlung für besondere Personengruppen. Auch wenn nur wenige Befragte diese Maßnahme als wirksam einschätzen, ist sie dennoch höchst notwendig; denn Alte und Kranke brauchen geeignete Räume, in denen sie sich aufhalten können, nachdem eine Hitzewellen-Aufklärung oder Hitzewellen-Warnung (die von den meisten Befragten als wirksam eingeschätzten Maßnahmen) stattgefunden hat.

Hinsichtlich des Umsetzungsgrades der erfragten Maßnahmen erscheint der Gesundheitsbereich von den klimasensitiven Bereichen, in denen Befragungen durchgeführt wurden, die größten Unterschiede aufzuweisen. Für fast alle Maßnahmen gibt es mindestens ein Bundesland, aus dem eine vollständige Maßnahmenumsetzung berichtet wird. Ebenso werden aber auch fast alle Maßnahmen in mindestens einem Bundesland noch nicht einmal diskutiert. Ein Wissenstransfer zwischen den Bundesländern hinsichtlich sinnvoller Mittel und Wege zur Maßnahmenumsetzung ist vor diesem Hintergrund sehr zu empfehlen.

Es erscheint zweifelhaft, ob die momentan vorhandenen und geplanten Maßnahmen im deutschen Gesundheitswesen ausreichen, um den aufgrund des Klimawandels zu erwartenden Veränderungen zu begegnen. Nach Aussage der Befragten war der Klimawandel bei fast keiner Maßnahme Mitgrund für ihre Einführung und in nur wenigen Gesundheitsressorts der Bundesländer findet bisher eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel (v.a. hinsichtlich der Einrichtung von Hitzewarnsystemen) statt. Auch der Umstand vieler unbeantworteter Fragen in der Befragung weist darauf hin, dass man sich im Gesundheitswesen offensichtlich bisher kaum mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel beschäftigt hat. So kann angenommen werden, dass die Auswirkungen des Klimawandels nicht oder nur kaum in die bisherige Maßnahmenplanung einbezogen worden waren und das Gesundheitswesen in den meisten Bundesländern noch nicht an den Klimawandel angepasst ist. Es besteht hier also Handlungsbedarf. Dabei ist die Anpassung als langfristiger Prozess zu verstehen; denn aufgrund der Unsicherheit der konkreten zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels und des weiter voranschreitenden wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns in

²² Hinsichtlich der gefahrenübergreifenden Maßnahmen Versicherung und Rücklagenbildung können aufgrund fehlender Befragungsangaben keine Schlussfolgerungen gezogen werden.

diesem Bereich werden Nachbesserungen in den Anpassungsstrategien immer wieder notwendig sein.

Als Gründe für die Einführung der bisherigen Maßnahmen, die auch zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, werden oft Schadensereignisse in der Vergangenheit genannt. In Bundesländern, die in der Vergangenheit bereits von Hitzewellen, Extremereignissen oder vermehrtem Auftreten von vektorübertragenen Krankheiten betroffen waren, wird von deutlich höheren Umsetzungsgraden der Maßnahmen berichtet als in den Bundesländern, die bisher weniger betroffen waren. Zwar ist dieses Muster, dass erst Vorsorgemaßnahmen gegen eine Gefahr ergriffen werden, wenn die Gefahr bereits negative Konsequenzen nach sich gezogen hat, auch in anderen klimasensitiven Bereichen (z.B. im Landwirtschaftssektor) anzutreffen. Doch geht es im Gesundheitsbereich eben auch um die Gefahr des Verlustes von Menschenleben – ein Verlust, der im Gegensatz zu den Verlusten in Sektoren wie der Landwirtschaft oder der Forstwirtschaft nicht im Nachhinein ausgeglichen werden kann. Vor diesem Hintergrund ist es insbesondere im Gesundheitswesen entscheidend, die reaktive zu einer proaktiven Maßnahmenplanung zu verändern, die auch Szenarien über die zukünftige Klimaentwicklung und nicht nur Klimatrends der Vergangenheit berücksichtigt; denn die Vergangenheit ist in Zeiten der Klimaveränderung ein schlechter Ratgeber.

Zwar ist das deutsche Gesundheitswesen bisher nicht an den Klimawandel angepasst, jedoch sollte es dazu gut in der Lage sein, diese Anpassung in der Zukunft zu vollziehen; denn für die verschiedenen potenziellen Auswirkungen des Klimawandels bestehen v.a. in Form der Aufklärung und Warnung wirksame Vorsorgemaßnahmen, die darüber hinaus zumeist nicht besonders aufwändig zu sein scheinen.

4.5.8 Literatur

Ärzte Zeitung (06.10.2004): Malaria in Deutschland ist nicht ausgeschlossen. <http://www.aerztezeitung.de/docs/2004/10/06/180a0501.asp?cat=/medizin/malaria>.

Beniston, M. (2004): The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letter*, 31.

Jendritzky, G., A. Grätz, G. Laschewski, G. Scheid (2003): Das Bioklima in Deutschland. Bioklimakarte mit Begleittext und Informationen zur Wohnortwahl. Flöttmann Verlag, Gütersloh

Jendritzky, G. (2004): zitiert in "Deutschland im Fieber". In: *Die ZEIT*, Vol. 51, Hamburg.

Jendritzky, G., Koppe, C., Laschewski, G. (2004): Klimawandel - Auswirkungen auf die Gesundheit. *Arzneimittel-, Therapie-Kritik & Medizin und Umwelt*, 36, 77-90.

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

Koppe, C., Jendritzky, G., Kovats, S., Menne, B. (2004): Heat waves – risks and responses, *Health and Global Environmental Change*, Series No. 2. World Health Organization. Regional Office for Europe, Kopenhagen.

Koppe, C., Jendritzky, G., Pfaff, G. (2003): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. In: *Klimastatusbericht 2003* (Hrsg. DWD – Deutscher Wetterdienst). DWD, Offenbach.

Maier, W.A., Grunewald, J., Habedank, B., Hartelt, K., Kampen, H., Kimmig, P., Naucke, T., Oehme, R., Vollmer, A., Schöler, A., Schmitt, C. (2003): Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigen Humanparasiten in Deutschland. Umweltbundesamt Berlin.

McMichael, A.J., Jendritzky, G., Kovats, S. (1997): Klimaänderung und Gesundheit. In: *Handbuch der Umweltmedizin* (Hrsg. H.E. Wichmann, H.W. Schlipkötter & G. Fülgraff), pp. 1-21. ecomed, Landsberg.

Parry, M. (2000) Assessment of potential effects and adaptation for climate change in Europe – the Europe ACACIA Project. University of East Anglia, Norwich.

Schönwiese, C.-D., Staeger, T., Trömel, S., Jonas, M. (2003): Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland. In: *Klimastatusbericht 2003* (Hrsg. DWD – Deutscher Wetterdienst). DWD, Offenbach.

WHO – World Health Organization (2003): *Climate Change and Human Health*. WHO, Genf.

Wichert, P. (2004): Gefährdung durch atmosphärische Hitzewellen. *Mitteilungen aus der AWMF*, 1:Doc35.

4.6 Tourismus

4.6.1 Resümee: Vulnerabilität des Bereichs Tourismus

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Tourismus hängen stark von der Reiseform ab. Reiseformen wie Städte- oder Kulturreisen sind vom Klimawandel kaum betroffen – es sei denn, die bereisten Städte sind Extremereignissen wie Hitzewellen oder Hochwasser ausgesetzt und nicht daran angepasst.

Direkt vom Klimawandel betroffen ist vor allem der Wintertourismus. Besonders in den tieferen Lagen der Alpen und den deutschen Mittelgebirgen ist bereits in den letzten 50 Jahren ein deutlicher Rückgang der Schneesicherheit zu beobachten.

In Zukunft ist damit zu rechnen, dass in den Alpen nur noch in Höhen über ca. 1500 m, in den Mittelgebirgen in Lagen über 800 – 1000 m Wintersport zu betreiben ist. Beschneigung zur Erhöhung der Schneesicherheit und Saisonverlängerung ist nur kurz- bis mittelfristig als Anpassungsmaßnahme geeignet, da bei steigenden Temperaturen Beschneigung in tieferen Lagen nicht mehr möglich sein wird.

Aufgrund dieser Entwicklung ist mit einer Konzentration des Skitourismus auf die höheren Lagen der zentralen Alpen zu rechnen. Für den Wintertourismus in Deutschland kommt deshalb dem Angebot von alternativen Aktivitäten (Wandern, Kulturreisen, Wellnessaufenthalte) eine wichtige Rolle zu.

Auch die typischen Formen des Sommertourismus, insbesondere der Badeurlaub, sind vom Klimawandel betroffen. Hier wird eher von einer positiven Entwicklung für Deutschland ausgegangen. Höhere Temperaturen und geringere Niederschläge im Sommer erhöhen die Attraktivität deutscher Badeziele und können die Badesaison erheblich verlängern. In Zusammenhang mit Attraktivitätsverlusten der klassischen Badeziele in der Mittelmeerregion durch Sommertemperaturen von z.T. über 40°C kann es zu einer Verlagerung des Sommertourismus aus südlichen Regionen nach Deutschland kommen. Auch im Sommertourismus sind Anpassungsmaßnahmen notwendig, um die potenziellen Sommerreiseziele mit wetterunabhängigen Attraktionen zu versehen.

Der Tourismus ist, unabhängig vom Klimawandel, starken Schwankungen und Veränderungen unterworfen, die im Zusammenhang mit den Veränderungen in den sozioökonomischen Rahmenbedingungen, Veränderungen der Altersstruktur, Veränderungen im Lebensstil und der Angst vor Kriegen und Terror stehen.

Im Verhältnis zu diesen Faktoren werden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus (mit Ausnahme des Wintersports) bisher kaum beachtet. Entsprechend wenig Anpassungsmaßnahmen sind bisher diskutiert. Insgesamt wird dem Angebot von neuen Aktivitäten eine wichtige Rolle zugesprochen.

Zwar ist der Tourismussektor bisher nicht an den Klimawandel angepasst, so dass für den Wintersportbereich in Deutschland ohne weitere Maßnahmen eine „hohe“, für die übrigen Tourismusformen eine „mäßige“ Vulnerabilität durch die Auswirkungen des Klimawandels besteht (Ohne-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8). Jedoch sollte der Tourismussektor gut dazu in der Lage sein, diese Anpassung in der Zukunft zu vollziehen; denn es bietet sich ihm die Möglichkeit, Verluste im Wintersporttourismus durch Zugewinne im Sommertourismus auszugleichen und ihm steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung, von denen sich einige bereits aus anderen Gründen als dem Klimawandel in der Umsetzung befinden. Wird diese Anpassungsfähigkeit genutzt, ist eine Reduktion auf eine „geringe“ Vulnerabilität des Tourismus gegenüber dem Klimawandel zu erwarten (Mit-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8).

4.6.2 Tourismus und Klima

Tourismus und die Auswahl touristischer Reiseziele sind aufgrund ihrer Freiwilligkeit sehr sensibel gegenüber Veränderungen in ihren Rahmenbedingungen, zu denen auch Klima und Wetter zählen.

Der Tourismus hängt von Klima- und Wetterbedingungen nicht nur direkt, sondern auch indirekt ab; denn Klima und Wetter beeinflussen verschiedene für den Tourismus bedeutsame Ökosystemfunktionen (siehe Kap. 1.3). Hier spielen z.B. die Landschaftsstruktur (z.B. Vorhandensein und die Qualität von Badegewässern) aber auch der allgemeine Eindruck einer intakten Natur eine große Rolle.

Der Tourismus selbst übt wiederum einen erheblichen Druck auf verschiedenen Ökosystemfunktionen aus. In Deutschland ist v.a. der Flächenverbrauch und der durch intensive Nutzung sensibler Ökosysteme (Gewässer, Alpen etc.) hervorgerufene Konflikt mit Naturschutzinteressen von Bedeutung.

Geeignete Klima- und Wetterbedingungen stellen vor allem für Urlaubsreisen wichtige Rahmenbedingungen dar. Geschäfts- und Privatreisen sind dagegen relativ klima- und wetterunabhängig. Bei den Urlaubsaktivitäten sind vor allem der Wintersport und bestimmte Formen des Sommerurlaubs, u.a. der Badeurlaub, Urlaub auf dem Lande und der Aktivurlaub von geeigneten Klima- und Wetterbedingungen abhängig. Weniger betroffen sind Städtereisen, Rundreisen und Eventreisen.

Bezogen auf alle Urlaubsreisen der Deutschen beträgt der Anteil von Reisen aus klima- bzw. wetterbezogenen Motiven rund 22%. Bei Tagesausflügen beträgt er sogar 56% (Feige et al., 1999).

Tourismus hat eine starke internationale Dimension und reagiert auf jede Veränderung, die den Wettbewerb zwischen verschiedenen Reisezielen verschiebt. Insofern ist der Tourismus in Deutschland auch von den Auswirkungen des Globalen Wandels in anderen Regionen der Erde betroffen (Parry, 2000).

Eine alleinige Berücksichtigung des Klimawandels ist zum Verständnis der Vulnerabilität des Tourismusbereichs selbstverständlich nicht ausreichend. Neben dem Klimawandel beeinflussen andere nationale und globale Prozesse und Ereignisse den Tourismus. In den letzten Jahren haben u.a. die Angst vor Terrorismus nach dem 11. September 2001, der Irakkrieg sowie die Angst vor Krankheiten (SARS) und Naturkatastrophen (Tsunami in Südostasien im Dezember 2004) zu Einnahmeausfällen in der Tourismusindustrie geführt. Daneben spielen wirtschaftliche Entwicklungen (Dollarkurs, Ölpreis, Wirtschaftskraft) und demographische Veränderungen (Überalterung) eine wichtige Rolle.

Tourismus und Klimaschutz

Der Tourismus ist nicht nur durch den Klimawandel betroffen, sondern stellt auch eine der Ursachen des Klimawandels dar, vor allem durch den mit dem Tourismus verbundenen Verkehr. Insgesamt wurden im Jahre 1999 in Deutschland im Zusammenhang mit privaten Übernachtungsreisen im Inland rund 15,8 Mio. Tonnen Treibhausgase emittiert (berechnet als CO₂-Äquivalente). Das entspricht einem Anteil von 1,6% an der gesamten deutschen Treibhausgasemission pro Jahr. Der Auslandstourismus der Deutschen verursachte in den 1990er Jahren sogar ca. 59 Mio. t Treibhausgase pro Jahr (Schmied et al., 2001).

4.6.3 Ausgangssituation: Tourismus in Deutschland

Der Tourismus erwirtschaftet insgesamt ca. 8% des Brutto sozialproduktes in Deutschland (DIW, 2001) und stellt einen der wichtigsten Wirtschaftszweige dar. Über 106 Millionen Gäste aus dem In- und Ausland verbringen jährlich durchschnittlich ca. 3 Übernachtungen in den über 50.000 gewerblichen Unterkünften in Deutschland (Deutsche Zentrale für Tourismus, 2004a).

Die Anzahl der Übernachtungen in Deutschland ist stark abhängig von Jahreszeit und Reiseziel. Die meisten Übernachtungen sind in den Sommermonaten zu verbuchen. Als Reiseziele

belegen die Flächenländer Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen die ersten Plätze (Statistisches Bundesamt, 2005).

Urlaubsreisen nehmen im Inland mit 47% den größten Marktanteil ein. Geschäftsreisen stellen mit 41% das zweitwichtigste Marktsegment dar. Den Rest teilen sich Privatreisen mit unterschiedlicher Motivation (z.B. Verwandtenbesuch). Innerhalb der Urlaubsreisen nehmen Städtereisen den größten Anteil ein, gefolgt von Badeurlaub und Urlaub auf dem Lande (Abb. 4.6-1).

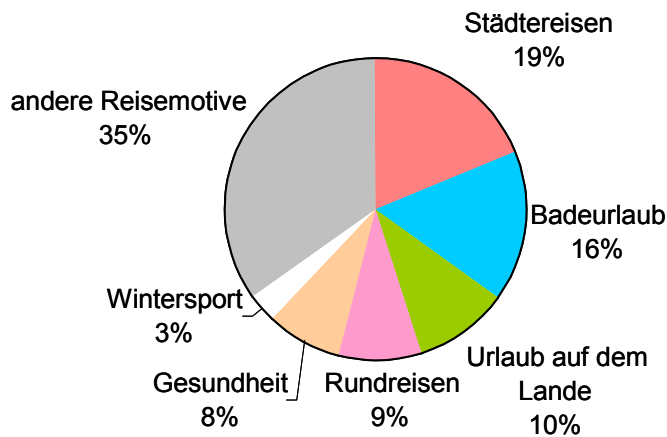


Abb. 4.6-1: Urlaubsreisen der Deutschen nach Marktsegmenten (IPK, 2004a).

72% aller Reisen und rund 60% der Urlaubsreisen der Deutschen haben inländische Orte zum Ziel. Trotz dieses hohen Anteils des Binnentourismus ist Deutschland mit Ausgaben von über 60 Mio US\$ auch bei den Auslandsreisen weltweit Spitzenreiter (World Tourism Organization, 2005)

In den letzten zehn Jahren war der Tourismus in Deutschland nur von schwachen Trends geprägt. Dazu gehören der Trend zu Inlandsreisen, die verstärkte Nutzung von Flügen als Folge sinkender Flugpreise, die Zunahme von Reisen für ältere Zielgruppen (Städtereisen, Rundreisen), der Trend zu Spontanreisen ohne Vorausbuchung (verbunden mit einer stärkeren Orientierung an den aktuellen Wetterprognosen) und der Zuwachs bei Campingurlaube (Deutsche Zentrale für Tourismus, 2004b).

4.6.4 Auswirkungen des Klimawandels – Literaturergebnisse

Wintersporttourismus

Obwohl der Wintersporttourismus nur 3% aller Urlaubsreisen mit Übernachtung in Deutschland umfasst (IPK, 2004a), hat er lokal (Alpen, Mittelgebirge) hohe Bedeutung. Hinzu kommen Tagestouristen, die noch mal einen ähnlich hohen Bruttoumsatz wie die Übernachtungsgäste einbringen können (Harrer & Bengsch, 2003)

Die meisten Wintersportarten wie Ski Alpin, Snowboard, Ski Langlauf, Rodeln, Schneeschuhwandern usw. sind schneegebunden und weisen damit eine hohe Sensitivität gegenüber Veränderungen der Schneeverhältnisse auf. Diese große Sensitivität, die sich auch bereits bei Schwankungen innerhalb der natürlichen Klimavariabilität offenbart, hat sich in besonderem Maße in den schneearmen Wintern Ende der 1980er Jahre gezeigt, die deutliche Spuren in der Tourismusbranche im Alpenraum hinterlassen und gravierende sozioökonomische Folgen (Rückgang der Einnahmen) nach sich gezogen haben. Gleiches gilt auch für zu schneereiche Winter, die ebenfalls negative Auswirkungen auf den Tourismus haben können (Bürki, 2000).

Wintersport in den Alpen

Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wintersport in den Alpen liegen überwiegend für die Österreichischen und Schweizer Alpen vor. Die Ergebnisse können im Wesentlichen auf Deutschland übertragen werden. Simulationen der Schneesicherheit für die Schweiz deuten darauf hin, dass bei einer Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur um 2°C bis zum Jahr 2050 nur noch Skigebiete oberhalb ca. 1500m als schneesicher bezeichnet werden können (Abegg, 1996). Bei einer Erwärmung um 3°C würde sich diese Grenze sogar auf 1800m verschieben. Als Folge würde sich in der Schweiz der Anteil schneesicherer Skigebiete von 85% auf 63% (bei Erwärmung um 2°C) bzw. 44% (bei Erwärmung um 3°C) reduzieren (Bürki et al., 2003). Eine Studie der Universität Graz zeigt, dass etwa die Hälfte der österreichischen Skigebiete bis zum Jahr 2050 mit großem Schneemangel zu kämpfen haben werden (Steininger & Weck-Hannemann, 2002).

Als Konsequenz der verringerten Schneesicherheit in tieferen Lagen ist mit einem Ausweichen des Tourismus in höhere Lagen zu rechnen. Dies erhöht den Druck auf die sensiblen Ökosysteme der Hochalpen. Zudem werden auch diese Gebiete direkt vom Klimawandel betroffen sein, insbesondere durch eine Gefährdung technischer Infrastruktur (Lifтанlagen) als Folge des Auftauens von Gletschern und Permafrostböden.

Durch die Konzentration der Besucherströme auf schneesichere Regionen in Verbindung mit schlechten Schneeverhältnissen in den anderen Regionen (schmaler Korridor beschneiter Pisten) kann sich u.a. auch die Pistensicherheit erheblich verschlechtern. So haben sich im schneearmen Dezember 2004 in Österreich mehr als doppelt so viele Pistenunfälle ereignet wie im Dezember der Jahre mit ausreichenden Schneeverhältnissen (Tagesspiegel, 19.01.2005).

Da die deutschen Alpen arm an Skigebieten sind, die Höhen über 2000m erschließen, ist mit einem Abwandern der Besucher in andere Alpenländer zu rechnen. Ein Trend, der aufgrund oftmals veralteter Anlagen und fehlender Rahmenangebote (Apres Ski, Wellness-Angebote etc.) in kleineren Skigebieten in niedrigeren Lagen schon heute zu beobachten ist (Bürki, 2000).

Wintersport in den Mittelgebirgen

Die Skigebiete in den deutschen Mittelgebirgen sind aufgrund ihrer geringen Höhenlage besonders vom Klimawandel betroffen. Eine Studie für das Fichtelgebirge (Seifert, 2004) ergab, dass sich die Schneesicherheit seit 1960 deutlich verringert hat. In der Zeit von 1972 – 2002 nahm bei 13 von 14 untersuchten Stationen die Anzahl der Tage mit Schneefall signifikant ab. Unter der Annahme einer Erhöhung der Wintertemperatur in dieser Region von 0,4 °C pro Dekade könnte bis zum Jahr 2060 nur noch in einem von sechs betrachteten Skigebieten Wintersport betrieben werden (Abb. 4.6-2). Bereits bis 2025 werden sich so die Voraussetzungen für Wintersport im Fichtelgebirge deutlich negativ entwickeln, was sowohl für die „natürlichen“ Schneeverhältnisse als auch für das sog. Beschneigungspotenzial zutrifft. Ein wirtschaftlich tragbarer Skibetrieb nach ca. 2025 erscheint hier unter diesen Umständen äußerst unwahrscheinlich (Seifert, 2004).

Für Baden-Württemberg liegt ebenfalls eine detaillierte Studie vor (Deutsche Sporthochschule Köln, 2004). Sie kommt zu dem Schluss, dass der wirtschaftliche Betrieb vieler der 319 Lifтанlagen in Baden-Württemberg sowie der nordische Skilanglauf durch den Klimawandel gefährdet sind.

Für Bayern und Baden-Württemberg sind in Lagen unter 300m Abnahmen in der Schneedeckendauer von 30-40% seit 1950 belegt. In mittleren Lagen (300-800m) beträgt die Abnahme 10-20%. Nur in höheren Lagen über 800m sind wegen vermehrten Niederschlägen im Winter und aufgrund für Schneefall ausreichend niedriger Temperaturen in diesen Lagen nur geringe Abnahmen, teilweise sogar Zunahmen zu verzeichnen (Günther, 2004).

Szenarien für die nächsten zwei Dekaden zeigen deutlich, dass die natürliche Schneebedeckung > 10 cm in der Zukunft nur noch in den Hochlagen von Baden-Württemberg über vier Wochen betragen wird. Im Mittel wird unterhalb einer Höhe von 750 bis 850 m ü. NN schon im Jahre 2012 nicht mehr mit einer Schneedecke von mindestens 10 cm, die über einen Zeitraum von mehr als 14 Tagen bestehen bleibt, zu rechnen sein. Auch das Beschneigungspotenzial

zial ist von den Klimaveränderungen betroffen. Im Jahre 2025 werden nur noch die Hochlagen (Feldberg) zur technischen Beschneigung geeignet sein.

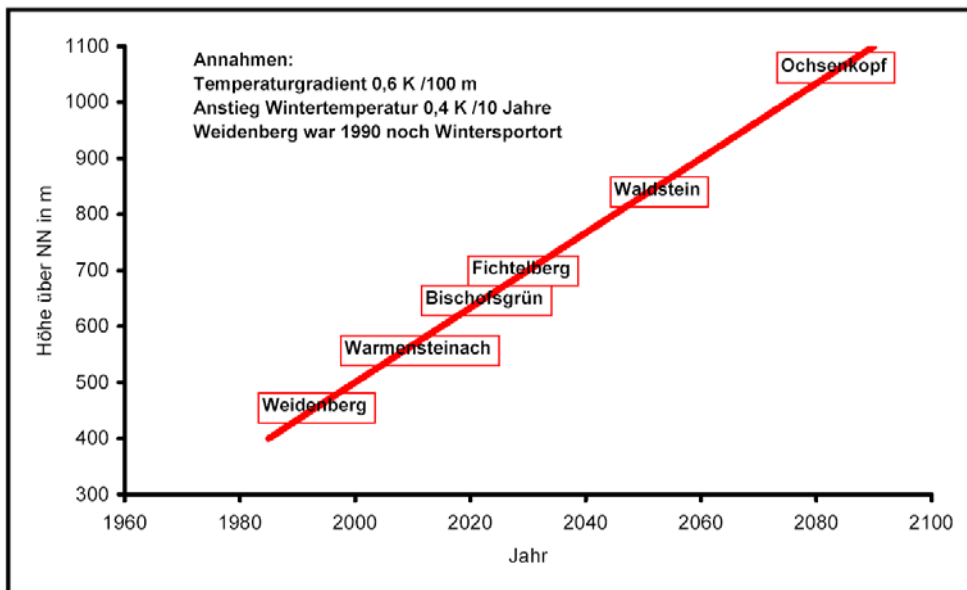


Abb. 4.6-2: Untere Grenze für Wintersport im Fichtelgebirge (Foken, 2003).

Sommer- und Städtetourismus

Drei Klimafaktoren beeinflussen im Wesentlichen den Sommertourismus: Lufttemperatur, Wassertemperatur und Sonnenscheindauer (Parry, 2000). Allerdings sind im Vergleich zum Wintertourismus die klimatischen Voraussetzungen für den Sommertourismus weniger eindeutig und die genauen Abhängigkeiten kaum untersucht. Auch unterscheiden sich die einzelnen Formen des Sommertourismus wie Badeurlaub, Aktivurlaub, Urlaub auf dem Lande in ihren klimatischen Ansprüchen und der Stärke der Abhängigkeit.

Die Auswirkungen zukünftiger Klimaentwicklungen auf den Sommertourismus in Deutschland können nur im europäischen Kontext verstanden werden. Den Sommerurlaub verbringen immer noch viele Deutsche im Mittelmeerraum. Insgesamt stellt der Tourismusstrom von Mittel- und Nordeuropa nach Südeuropa mit ca. 116 Mio. Ankünften sogar weltweit die wichtigste touristische Bewegung dar und trägt 41% zum innereuropäischen Tourismus bei. Da speziell in Südeuropa in Zukunft die stärksten Temperaturveränderungen zu erwarten sind, mit Maximaltemperaturen von teilweise über 40°C, könnten diese Reiseziele insbesondere in der Hauptsaison an Attraktivität verlieren. In der Nebensaison (Frühjahr, Herbst) bleibt Südeuropa allerdings ein attraktives Reiseziel (World Tourism Organization, 2003).

In Deutschland dagegen werden steigende Temperaturen und geringere Niederschläge den Sommertourismus eher begünstigen und die Sommersaison verlängern. Ergebnisse einer Studie für Baden-Württemberg ergeben z.B. eine deutliche Verlängerung der Badesaison bis 2050 um 17 Tage in das Frühjahr und 39 Tage in den Herbst (Wolf, 2005).

In der Folge solcher „günstigeren“ Klimabedingungen kann es durchaus zu einer Verschiebung des Sommertourismus ins Inland bzw. nach Nord- und Osteuropa kommen, verbunden mit einer erhöhten Attraktivität deutscher Reiseziele auch für ausländische Gäste.

Allerdings könnten in Zukunft auch in Deutschland die Sommertemperaturen, zumindest in einzelnen Jahren, in Bereiche steigen, die für bestimmte Tourismusformen (z.B. Indoor-Events) nachteilig sind. Dies hat sich insbesondere im Hitzesommer 2003 gezeigt. Hier wurden u.a. in Baden-Württemberg deutlich weniger Besucher in Museen und Freizeitparks gemeldet, während Badeanstalten, Biergärten etc. profitierten (IHK Baden-Württemberg, 2004).

Für den Sommertourismus an der Küste könnten sich neben den positiven Folgen durch geeignetere Klimabedingungen (Feige et al., 1999) auch negative Folgen durch den Anstieg des Meeresspiegels, seeseitige Erosion der Wattkante (Wattenmeer, z.B. Sylt), Extremereignisse (Stürme, Sturmfluten etc.) und negative Einflüsse auf Ökosysteme ergeben (Sterr, 1996).

Für den vor allem in den Sommermonaten stattfindenden Städtetourismus stellen Extremereignisse wie Hochwasser, extreme Witterungsbedingungen wie Hitzewellen oder das im Rahmen des Klimawandels unter Umständen wahrscheinlichere Auftreten bisher in Deutschland noch unbekannter Krankheiten (z.B. Malaria) die entscheidenden Gefahren dar (siehe auch Kap. 4.5, Gesundheit). Sofern die Städte nicht an diese Ereignisse angepasst sind und es zu Todesfällen kommt, führt die massenmediale Vermittlung dieser Ereignisse in der Folge zu einem Rückgang der Tourismuszahlen (siehe Tsunami in Südostasien im Dezember 2004). Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass Touristen mit den lokalen Gegebenheiten hinsichtlich bestehender Gefahren und Anpassungsmaßnahmen (z.B. Evakuierungsroutinen in Hochwassergebieten) nicht vertraut und daher besonders vulnerabel sind – insbesondere dann, wenn es sich um ältere Menschen handelt, wie dies im Städtetourismus oft der Fall ist.

4.6.5 Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten

Wie in Kap. 2.6 konkret beschrieben, wurden in verschiedenen klimasensitiven Bereichen Deutschlands Befragungen mit Vertretern aus den jeweiligen Fachbehörden durchgeführt – auch im Tourismusbereich. Bereichsspezifische Bewertungen der potenziellen Elemente und Auswirkungen des Klimawandels liegen für verschiedene Naturräume (siehe Kap. 2.6) aus den folgenden fünf Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Berlin und Saarland. Einschätzungen aus süddeutschen Bundesländern mit einem hohen Anteil am Wintertourismus fehlen also. Negative Einschätzungen werden als Risikobewertungen, positive Einschätzungen als Chancenbewertungen interpretiert. Die Ergebnisse der Befragung sind aufgrund des sehr geringen Fragebogenrücklaufs nicht grafisch dargestellt. Aus verschiedenen Gründen können die im Folgenden dargestellten Bewertungen nur als äußerst vorläufige Abschätzungen angesehen werden. Nur aus sehr wenigen Bundesländern liegen Angaben vor, nur ein Experte pro Bundesland wurde befragt und nur wenige Befragte gründen ihre Einschätzungen auf Studien über vergangene und zukünftige Klimaentwicklungen und deren Auswirkungen.

Gesamteinschätzung des Klimawandels

Die Bedeutung des Klimawandels für den Tourismusbereich bewerten die Befragten gemittelt über die Naturräume und Bundesländer in letzter Zeit (1990 bis heute) und auch kurzfristig (heute bis 2010) als „weder positiv noch negativ“, wobei die kurzfristigen Einschätzungen für die verschiedenen Naturräume und Bundesländer von „negativ“ bis „etwas positiv“ stark streuen. Mittelfristig (2010 bis 2020) bleibt die starke Streuung bestehen, jedoch verschiebt sich die mittlere Einschätzung zu „etwas negativ“. Für den langfristigen Zeitraum (2020 bis 2050) liegen nur zwei Einschätzungen vor, von denen die eine „weder positiv noch negativ“ und die andere „negativ“ ist. Zum langfristigen Zeitraum machten auch für die im Folgenden dargestellten spezifischen Elemente und Auswirkungen des Klimawandels zumeist nur zwei bis drei Befragte Angaben, so dass auf eine Diskussion dieser Langfristeinschätzungen verzichtet wird.

Risikobewertungen

Von den potenziellen *Elementen des Klimawandels* schätzen die Befragten stärkere Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr und weniger Frosttage durchschnittlich am negativsten ein. Bereits in der Vergangenheit werden sie „etwas negativ“ bewertet. Etwas weniger negativ werden steigende Temperaturen im Winter, die Zunahme der Jahressumme der Niederschläge²³ und vermehrte Starkniederschläge gesehen.

²³ Nach momentanem Wissenstand erscheinen je nach Region sowohl die Zu- als auch die Abnahme der Jahresniederschläge möglich. Daher wurden beide Optionen den Befragten zur Bewertung vorgelegt.

Interessant sind die Bewertungen für eine steigende Jahresmitteltemperatur und steigende Temperaturen im Sommer. In den Einschätzungen der jüngeren Vergangenheit und der kurzfristigen Zukunft findet sich eine gewisse Tendenz zu positiven Bewertungen. Mittelfristig kehrt sich dieser Trend zu Negativeinschätzungen um.

Von den sieben erfragten potenziellen *Auswirkungen des Klimawandels* werden alle Auswirkungen auf den Wintertourismus als Risiken eingeschätzt. Zwar werden eine steigende Schneegrenze, eine kürzere Wintersaison und das Ausweichen der Touristen auf schneesichere Gebiete (Hochalpen) im Mittel als nur „etwas negativ“, größere Schwankungen in der Wintersaison als „etwas negativ“ bis „negativ“ bewertet, doch entstehen diese Durchschnittswerte aus neutralen Bewertungen für Naturräume, in denen Wintersport auch in der Vergangenheit fast keine Rolle gespielt hat (z.B. nordwestdeutsches Tiefland), und „negativen“ oder sogar „sehr negativen“ Einschätzungen in heutigen Wintersportregionen (z.B. zentrale Mittelgebirge und Harz).

Chancenbewertungen

Die potenziellen *Elemente des Klimawandels*, welche die Befragten eher als Chancen denn als Risiken einschätzen, sind mehr heiße Tage und die mögliche Abnahme der Jahressumme der Niederschläge, wobei diese Entwicklungen zum Teil auch als „etwas negativ“ für den Tourismus bewertet werden.

Die möglichen *Auswirkungen des Klimawandels* auf den Sommertourismus werden fast generell positiv gesehen. Die durchschnittlich größte Chance wird im zunehmenden Inlandstourismus aufgrund von zu hohen Temperaturen oder Extremereignissen in Südeuropa und im Ferntourismus (auch: mehr Besucher aus dem Ausland) gesehen. Auch die Auswirkungen auf den Aktivtourismus (Sport, Wandern) werden in der Zukunft als mindestens „etwas positiv“ gewertet. Sehr starke Einschätzungsunterschiede zwischen verschiedenen Bundesländern und Naturräumen (von „negativ“ bis „sehr positiv“) zeigen sich in den Bewertungen einer möglichen Zunahme des Badetourismus.

Weitere Auswirkungen

Außerdem wurde nach weiteren möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Bereich Tourismus gefragt. Die Befragten machten hier keine Angaben. Der Vertreter Berlins betonte, dass Wetter und Klima im Städtetourismus weitgehend keine Rolle spielen und sich nur auf wenige Segmente am Rande (z.B. Wassertourismus) auswirken würden. Erst extreme Klimabedingungen könnten den Städtetourismus beeinflussen.

4.6.6 Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels

Anpassung allgemein

Klimawandel ist nur einer der Treiber, die zukünftig den Tourismus beeinflussen werden. Andere Treiber, wie das veränderte Freizeitverhalten, demographische Änderungen und wirtschaftliche Faktoren, beeinflussen den Tourismus in Deutschland weit mehr. Deshalb sollten die jeweiligen Anpassungsmaßnahmen aufeinander abgestimmt sein.

Vor diesem Hintergrund wird für den Tourismus in Deutschland eine weitere Flexibilisierung und Diversifizierung des Angebots notwendig sein. Dazu gehören u.a. vermehrte wetterunabhängige Ganzjahresangebote (Indoor-Events, Thermalbäder, Ausstellungen etc.) aber auch die Erhöhung der Attraktivität von Reisezielen durch Betonung regionaler Besonderheiten (Kulturgeschichte, kulinarische Besonderheiten) und die Verbesserung von Bildungs- und Kulturangeboten (z.B. Vorträge, Konzerte).

Verschiedene Studien, die sich mit dem Thema Tourismus und Klimawandel beschäftigen, kommen zu dem Schluss, dass eine der Hauptursachen für die geringe Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen der Tourismusbranche die mangelnde Auseinandersetzung mit dem Thema Klimawandel ist. Andere Probleme (wirtschaftliche Entwicklung, Konkurrenz etc.) erscheinen oft dringlicher und es wird in relativ kurzfristigen Zeiträumen argumentiert und gehandelt (Bürki, 2000; Feige et al., 1999).

Anpassung Wintertourismus

Als eine Hauptstrategie gegen mangelnde Schneesicherheit im Wintersport wird die künstliche Beschneigung angesehen. Prinzipiell erlaubt die künstliche Beschneigung, Schneemangel aufgrund von zu geringen Schneefällen auszugleichen und so die Schneesicherheit zu erhöhen und die Saison zu verlängern. Allerdings ist das Beschneigungspotenzial ebenfalls vom Klimawandel betroffen. Beschneigung ist wirtschaftlich nur bei einer Temperatur von unter – 4°C durchzuführen. Im Zuge der Klimaerwärmung kommt Beschneigung in den deutschen Skigebieten nur noch kurz- bzw. mittelfristig und nur für Gebiete in höheren Lagen in Frage. Auch rechnen sich die Anlagen aufgrund der hohen Investitionskosten nur für stark frequentierte Pisten und bei hoher vorhandener Beförderungskapazität (Lutz, 2000). Beide Voraussetzungen sind in vielen deutschen Skigebieten nicht gegeben. Hinzu kommen die negativen ökologischen Wirkungen der Beschneigung durch hohen Wasserverbrauch (ca. 1000 - 4000m³/ha) und Energieverbrauch (ca. 25000 kWh/ha) sowie durch die Verkürzung der Vegetationsperiode (Hahn, 2004). Deshalb sollte sowohl aus ökonomischen als auch aus ökologischen Gründen die Neueinrichtung von Beschneigungsanlagen sorgfältig abgewogen werden.

Andere Anpassungsmaßnahmen betreffen die Umstellung des Tourismusangebots vom schneegebundenen Sport auf Angebote wie geführte Wanderungen, Wellness und Kultur. Solche Strategien sind vor allem für die Mittelgebirge, die schon länger mit unsicheren Schneeverhältnissen zu kämpfen haben, zu empfehlen.

Anpassung Sommertourismus

Da die Auswirkungen auf den Sommertourismus vielschichtiger und weniger vorhersagbar sind, lassen sich keine speziellen Strategien zur Anpassung formulieren. Auch hier gilt das Prinzip der Diversifizierung, das eine hohe Flexibilität gegenüber Veränderungen mit sich bringt.

4.6.7 Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten

Zu Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, liegen Ergebnisse von Expertenbefragungen (zur Methode siehe Kap. 2.6) aus den folgenden sieben Bundesländern vor: Berlin, Baden-Württemberg, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Saarland. Aufgrund des geringen Rücklaufs der Fragebögen und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Befragungsergebnisse nur als sehr vorläufige Abschätzungen der Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich Tourismus in Deutschland geeignet sind, angesehen werden.

Innerhalb der Befragung wurden die Maßnahmen hinsichtlich verschiedener Dimensionen bewertet, u.a. hinsichtlich der Maßnahmen-Wirksamkeit zur Minderung der in Abschnitt 4.6.5 dargestellten potenziellen Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels (siehe Tab. 4-6; hier liegen Antworten von nur vier Befragten vor) und hinsichtlich der bisherigen Maßnahmen-Umsetzung (siehe Abb. 4.6-3).

Wintertourismus: Saisonverlängernde Maßnahmen und Alternativangebote

Saisonverlängernden Maßnahmen und Alternativangeboten im Wintertourismus wird von den Befragten ein breites Wirkspektrum hinsichtlich der potenziellen Auswirkungen des Klimawandels zugeschrieben (siehe Tab. 4-6). Vor allem hinsichtlich einer kürzeren Wintersaison und hinsichtlich der Auswirkungen auf den Aktivtourismus werden diese Maßnahmen als wirksam eingeschätzt.

Die Auswertung des Umsetzungsgrades dieser Maßnahmen zeigt, dass sie im Mittel über die befragten Bundesländer als „bereits partiell eingeführt“ eingeschätzt werden (siehe Abb. 4.6-3). Dabei zeigen sich jedoch v.a. bei den saisonverlängernden Maßnahmen sehr große Unterschiede zwischen den Bundesländern von „nicht diskutiert“ bis „bereits umgesetzt“. Diese sind v.a. dadurch zu erklären, dass die Länder Berlin, Hamburg und Mecklenburg-

Tab. 4-6: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Bereich Tourismus. Dargestellt ist die Anzahl der Befragten, die den Maßnahmen eine Wirksamkeit zur Minderung bzw. Nutzung der Auswirkungen zuschreiben. Auswertungsgrundlage: 4 Fragebögen aus den Bundesländern Baden-Württemberg, Saarland, Schleswig-Holstein, Niedersachsen.

Maßnahmen	Auswirkungen						
	Steigende Schneegrenze	Kürzere Wintersaison	Größere Schwankungen in der Wintersaison	Ausweichen der Touristen auf snowsichere Gebiete (Hochalpen)	Mehr Tage mit „Badewetter“	Auswirkungen auf Aktivtourismus (Sport, Wandern)	Mehr Inlands-tourismus (auch: mehr Besucher aus dem Ausland)
<u>Wintertourismus</u>							
Saisonverlängernde Maßnahmen	2	3	2	2	1	3	1
Alternativangebote	1	3	2	-	1	3	1
<u>Sommertourismus</u>							
Regionale Attraktivität steigern	-	1	-	-	2	3	2
<u>Gefahrenübergreifende Maßnahmen</u>							
Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel	-	-	-	-	-	-	-
Bildung von Rücklagen für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen	-	-	-	-	-	-	-

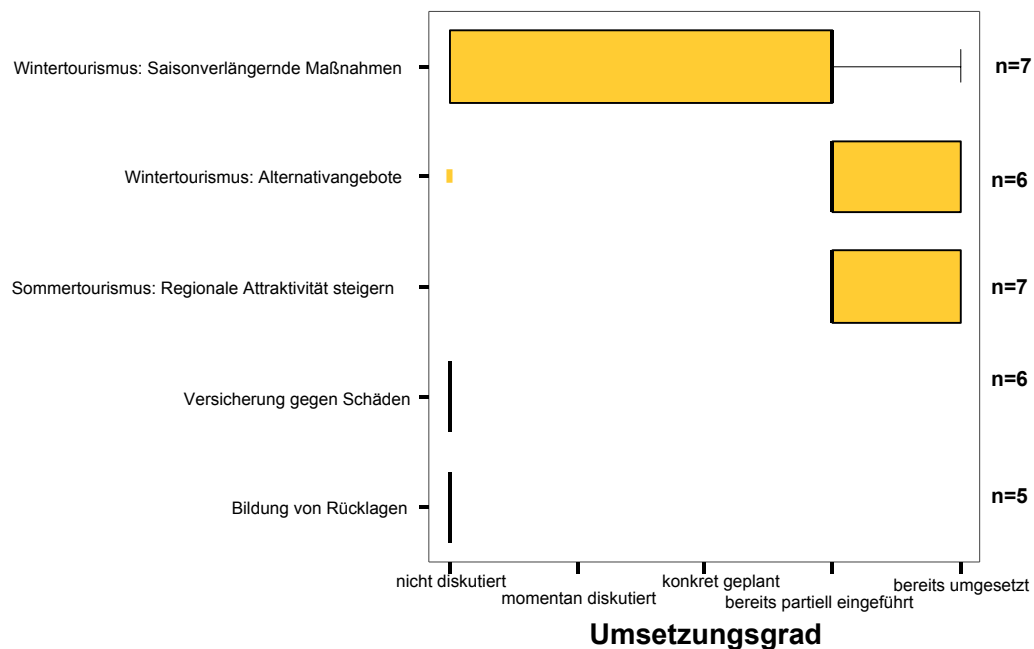


Abb. 4.6-3: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Bereich Tourismus. Auswertungsgrundlage: 7 Fragebögen aus den Bundesländern Berlin, Baden-Württemberg, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Saarland und Schleswig-Holstein.²⁴

²⁴ Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Einschätzungen für verschiedene Bundesländer als Box-Plot: Die Box umfasst die mittleren 50% der Verteilung und bezeichnet somit die Werte zwischen dem unteren und dem oberen Quartil. Je weiter links sich die gelbe Box befindet, desto negativer wird die Auswirkung

Vorpommern keine Winter(sport)tourismus-Regionen sind und daher wintersaisonverlängernde Maßnahmen dort „nicht diskutiert“ werden, während für die anderen befragten Länder Umsetzungsgrade von „bereits partiell eingeführt“ oder „bereits umgesetzt“ angegeben werden. Sowohl die Einführung saisonverlängernder Maßnahmen als auch die Schaffung von Alternativangeboten waren bisher v.a. durch die Tourismusförderung und die Schaffung von Arbeitsplätzen motiviert. Nur von dem Befragten aus Baden-Württemberg wird der Klimawandel und dessen Folgen als Mitgrund für die Einführung von saisonverlängernden Maßnahmen und Alternativangeboten genannt.

Als Hindernisse der Maßnahmenumsetzung werden v.a. finanzielle und z.T. organisatorische Motive angegeben. Ferner werden von einem Befragten klimatisch-naturräumliche Hindernisse, z.B. für den Einsatz von Schneekanonen, genannt. Vor dem Hintergrund der Hindernisse schätzen die Befragten sowohl die saisonverlängernden Maßnahmen als auch die Schaffung von Alternativangeboten im Mittel als „aufwändig“ ein.

Sommertourismus: Regionale Attraktivität steigern

Die Steigerung der regionalen Attraktivität im Sommertourismus wird von den Befragten als wirksam angesehen, sich an die möglichen Sommer-Auswirkungen des Klimawandels – mehr Tage mit Badewetter, Auswirkungen auf Aktivurlaub und Inlandstourismus – anzupassen (siehe Tab. 4-6).

Hinsichtlich des Umsetzungsgrades dieser Maßnahme zeigt sich, dass sie im Mittel über die befragten sieben Bundesländer als „bereits partiell umgesetzt“ eingeschätzt wird, mit nur sehr geringen Unterschieden zwischen den Bundesländern (siehe Abb. 4.6-3). Als Gründe für die Einführung der Maßnahme werden von den Befragten u.a. die allgemeine Tourismus- und Arbeitsmarktförderung und die ständige Aufgabe der Angebotserneuerung/-entwicklung (auch im Städtetourismus) genannt. Kein Befragter nennt den Klimawandel als Mitgrund für die Einführung dieser Maßnahme. In diesem Zusammenhang betont eine Befragte, dass nicht der Klimawandel, sondern der „beinharte Wettbewerb“ das Hauptproblem für den Tourismus darstellt.

Der Umsetzung von Maßnahmen zur Erhöhung regionaler Attraktivität im Sommertourismus stehen nach Einschätzung der meisten Befragten v.a. finanzielle und z.T. organisatorische Hindernisse entgegen. Vor dem Hintergrund dieser Hindernisse schätzen die Befragten diese Maßnahmen im Mittel als „aufwändig“ ein.

Gefahrenübergreifende Maßnahmen: Versicherung und Rücklagenbildung

Die Fragen zur Versicherung gegen Schäden durch den Klimawandel und die Rücklagenbildung für zukünftige Anpassungsmaßnahmen bzw. Schadensausgleichszahlungen haben die Befragten mehrheitlich nicht auf ihr Bundesland (inkl. der in ihm befindlichen Tourismusbetriebe) bezogen, sondern nur auf die Verwaltung, in der sie arbeiten. Daher werden diese Maßnahmen von den Befragten als nicht wirksam eingeschätzt, um den Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen (siehe Tab. 4-6) und der Umsetzungsgrad dieser Maßnahmen wird einheitlich als „nicht diskutiert“ bewertet (siehe Abb. 4.6-3); denn Versicherungen und Rücklagenbildung sind i.d.R. keine Handlungsoption für Behörden. Würde man das Vorhandensein von Versicherungen und Rücklagen bei den Tourismusbetrieben betrachten, ergäben sich höhere Wirksamkeiten und höhere Umsetzungsgrade dieser Maßnahmen.

Weitere Maßnahmen

In der Befragung wurde auch nach weiteren Maßnahmen im Bereich Tourismus gefragt, die geeignet sind, den Risiken des Klimawandels vorzubeugen bzw. dessen Chancen zu nutzen. Die Befragten nennen hier die Qualitätssicherung (z.B. im maritimen Tourismus oder im Kinder- und Jugendtourismus), die Förderung umweltverträglicherer Aktivitäten (z.B. Fahrrad-, Reit-, Wassertourismus) sowie die Förderung der ÖPNV-Nutzung durch Touristen.

des Klimawandels bewertet. Die Lage des Medians (Mittelwert) wird durch einen dicken senkrechten Strich verdeutlicht. Zwei Linien links und rechts der Box verdeutlichen die Spannweite der gegebenen Einschätzungen. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden gültigen Antworten.

Anpassung an den Klimawandel in den befragten Fachressorts

Die Befragten, die aus den Tourismusressorts der Bundesländer stammen, wurden auch nach den Aktivitäten in ihren Verwaltungen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels befragt. Zwar geben drei von sieben Befragten an, dass innerhalb ihrer Verwaltungen eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel stattfindet, doch entsteht aus weiteren Antworten der Eindruck, dass sich zwei dieser Befragten bei ihrer Antwort auf Initiativen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen (Mitigation) beziehen. Nur aus Baden-Württemberg werden praktische Ansätze zur Anpassung *an die Folgen* des Klimawandels berichtet. Auf die Frage nach der aktuellen Relevanz der Anpassungsthematik in ihrer Verwaltung im Vergleich zu anderen Themen antworten drei Befragte mit „wichtig“ (Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein), wobei wahrscheinlich auch hier unter Anpassung v.a. die Mitigation verstanden wird. In den anderen befragten Bundesländern ist dieses Thema nur „etwas wichtig“. In keiner Verwaltung nimmt das Thema momentan einen „sehr wichtigen“ Stellenwert ein. In den Tourismusressorts der Bundesländer scheint daher die Anpassung an die Folgen des Klimawandels momentan eine eher geringe Bedeutung zu haben.

Anpassung im Tourismus: Zusammenfassung und Resümee

Vor dem Hintergrund der Befragung von Tourismusexperten aus sieben Bundesländern ist hinsichtlich der Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Tourismusbereich geeignet sind, Folgendes festzustellen²⁵: Zur Minderung verschiedener potenzieller Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels werden im Wintertourismus saisonverlängernde Maßnahmen und die Schaffung von Alternativangeboten, im Sommertourismus die Steigerung regionaler Attraktivität zumeist als wirksame Maßnahmen angesehen. Dabei gibt es keine Auswirkung des Klimawandels, der nach Einschätzung von mindestens einem Befragten nicht mit einer wirksamen Maßnahme begegnet werden könnte.

Die genannten Maßnahmen werden im Mittel von den Befragten als „bereits partiell eingeführt“ bezeichnet. Es fehlen jedoch Angaben aus den wichtigen Wintersport-Bundesländern Bayern und Sachsen, so dass unklar ist, ob der scheinbar hohe Umsetzungsgrad deutschlandweit gilt. Weiterhin ist zweifelhaft, ob die vorhandenen und geplanten Maßnahmen ausreichen, um den durch den Klimawandel zu erwartenden Risiken und Chancen im Tourismus angemessen zu begegnen; denn nach Aussage der Befragten war der Klimawandel nur in einem der befragten Bundesländer (Baden-Württemberg) mit ursächlich für die Einführung von Maßnahmen und in nur wenigen Tourismusressorts der Bundesländer findet bisher eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel statt. So kann vermutet werden, dass die Auswirkungen des Klimawandels nicht oder nur kaum in die Maßnahmenplanung einbezogen worden waren und der Tourismusbereich in den meisten deutschen Bundesländern noch nicht an den Klimawandel angepasst ist. Andererseits sind die Hauptakteure der Anpassung im Tourismusbereich nicht die befragten Tourismusressorts, sondern die Tourismusunternehmen. Jedoch scheint auch hier kaum ein Unternehmen – außer die TUI AG – hinsichtlich einer Anpassung an den Klimawandel in Deutschland tätig geworden zu sein.

Allgemein sollte der Tourismussektor in Deutschland jedoch die Fähigkeit besitzen, sich in Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandel anzupassen; denn es bietet sich ihm die Möglichkeit, Verluste im Wintertourismus durch Zugewinne im Sommertourismus auszugleichen und ihm steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung, von denen sich einige bereits aus anderen Gründen als dem Klimawandel in der Umsetzung befinden, wobei die Anpassung von Seiten staatlicher Tourismusressorts, vor dem Hintergrund v.a. finanzieller aber auch organisatorischer Hindernisse, zumeist als aufwändig bewertet wird.

²⁵ Hinsichtlich der gefahrenübergreifenden Maßnahmen Versicherung und Rücklagenbildung können aufgrund fehlender Angaben keine Einschätzungen abgegeben werden.

4.6.8 Literatur

Abegg, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus - Klimaforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen; Dissertation. ETH Zürich.

Bürki, R. (2000): Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus. Publikation der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft, 6.

Bürki, R., Elsasser, H., & Abegg, B. (2003): Climate change – impacts on the tourism industry in mountain areas. In: Climate change and tourism – proceedings of the 1st international conference on climate change and tourism. World Tourism Organisation, Djerba, Tunisia.

Deutsche Sporthochschule Köln (2004): Entwicklungskonzept Wintersporttourismus – Entwicklung des Schneesports und Winter(sport)tourismus in Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Köln.

Deutsche Zentrale für Tourismus (2004a): 2003 – Tourismus in Deutschland. DTV, Bonn.

Deutsche Zentrale für Tourismus (2004b): Jahresbericht 2003 der DZT. DZT, Frankfurt.

DIW – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2001): Zur Bedeutung Deutschlands im Tourismus. Wochenbericht des DIW Berlin, 33.

Feige, D.M., Seidel, A., Kirchhoff, M., & Smettan, C. (1999): Forschungsvorhaben Küstentourismus und Klimawandel – Entwicklung des Tourismus im deutschen Küstenbereich unter besonderer Berücksichtigung der Wahrnehmung und Bewertung von Klimafolgen durch relevante Entscheidungsträger. dwif – Deutsches Wirtschaftswissenschaftliches Institut für Fremdenverkehr e.V. an der Universität München, Berlin.

Foken, T. (2003): Lufthygienisch-bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales. Bayreuther Forum Ökologie, 100, 43ff.

Günther, T. (2004): Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen. In: Klimaveränderung und Konsequenz für die Wasserwirtschaft – 2. KLIWA-Symposium (Hrsg. Arbeitskreis KLIWA). Bayerisches Amt für Wasserwirtschaft, München.

Hahn, F. (2004): Künstliche Beschneigung im Alpenraum. CIPRA-international.

Harrer, B. & Bengsch, L. (2003): Wintertourismus in Bayern und die Wertschöpfung durch Bergbahnen – am Beispiel von vier Orten. Deutsche Wirtschaftswissenschaftliche Institut für Fremdenverkehr – dwif-Consulting, München.

IHK Baden-Württemberg (2004): IHK-Freizeitbarometer Baden-Württemberg. Baden-Württembergische Industrie- und Handelskammer, Stuttgart.

IPK – International tourism consulting group (2004a): Deutscher Reisemonitor 2003, München.

Lutz, G. (2000): Beschneiungsanlagen in Bayern – Stand der Beschneigung, potenzielle ökologische Risiken. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.

Parry, M. (2000) Assessment of potential effects and adaptation for climate change in Europe – the Europe ACACIA Project. University of East Anglia, Norwich.

Schmied, M., Buchert, M., Hochfeld, C., & Schmitt, B. (2001): Umwelt und Tourismus – Grundlagen für einen Bericht der Bundesregierung. Ökoinstitut, Berlin.

Seifert, W. (2004): Klimaänderung und (Winter-)Tourismus im Fichtelgebirge – Auswirkungen, Wahrnehmung und Ansatzpunkte zukünftiger touristischer Entwicklung, Diplomarbeit. Universität Bayreuth.

Statistisches Bundesamt (2005): Datenbank GENESIS. www-genesis.destatis.de.

Steininger, K. & Weck-Hannemann, H. (2002) Global Environmental Change in Alpine Regions. Edward Elgar, Cheltenham Glos.

Sterr, H. (1996): Klimawandel und mögliche Auswirkungen auf die deutsche Nordseeküste. Schriftenreihe der Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste, 1, 9-30.

Tagesspiegel (19.01.2005): Das geht auf die Knochen – Miserable Schneesverhältnisse und Pistenrowdys machen Wintersport zu einem gefährlichen Vergnügen.

Wolf, M. (2005): Tourismus. In: KLARA Baden-Württemberg (Hrsg. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung).

World Tourism Organization (2003): Climate change and tourism – proceedings of the 1st international conference on climate change and tourism, Djerba, Tunisia, 9-11 April 2003. World Tourism Organization, Djerba, Tunisia.

World Tourism Organization (2005): World Tourism Barometer. Vol 3 Nr. 1.

4.7 Verkehr

4.7.1 Resümee: Vulnerabilität des Verkehrsbereichs

Der Bereich Verkehr wird *im Winter* vermutlich vom Klimawandel eher profitieren, denn eine Abnahme von Frost- und Eisstagen führt zu geringeren Einschränkungen in allen Verkehrssektoren (Straße, Schiene, Schifffahrt, Luftverkehr). *Im Sommer* können vor allem Hitzetage Probleme für den Straßenverkehr mit sich bringen (höhere Unfallzahlen, Schäden an der Infrastruktur).

Eine besondere Gefahr für alle Verkehrssektoren in allen Jahreszeiten geht von sich aufgrund des Klimawandels eventuell häufenden Extremereignissen wie Stürmen, Hagel oder Hochwasser aus. Sie können zu Todesfällen und kurzfristigem Erliegen des Verkehrs führen (mit z.T. sehr großen ökonomischen Schäden aufgrund von Produktionsausfällen) und ziehen oft Schäden an der Infrastruktur nach sich (z.B. Elbehochwasser 2002).

Neben diesen direkten Folgen des Klimawandels ist die Schifffahrt vor allem auf den großen unregulierten Flüssen (Elbe, Weser, Rhein) von Schwankungen im Wasserstand betroffen. In Zukunft ist mit verstärkten Einschränkungen sowohl durch Hochwasser als auch durch Niedrigwasser zu rechnen.

Im Verkehrswesen stehen eine Reihe vor allem technischer Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung. Dazu zählen die Verwendung neuer Materialien, der Bau von Schutzeinrichtungen oder Trassenverlegungen.

Insgesamt werden im Bereich Verkehr mögliche Auswirkungen des Klimawandels und notwendige Anpassungsmaßnahmen sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis bisher kaum thematisiert. Aufgrund der großen volkswirtschaftlichen Bedeutung des Verkehrssektors und den möglichen negativen Auswirkungen des Klimawandels für den Verkehr besteht hier ein sehr großes Defizit.

Der Verkehrssektor in Deutschland ist bisher nicht an den Klimawandel angepasst, so dass zum momentanen Zeitpunkt eine „mäßige“ Vulnerabilität für die Auswirkungen des Klimawandels, insbesondere Extremereignisse, besteht (Ohne-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8).

Allgemein sollte der Verkehrssektor jedoch die Fähigkeit haben, sich in Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen, denn ihm steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung. Andererseits wird die Anpassung voraussichtlich sehr aufwändig sein; denn man kann kaum auf vorhandenes Wissen noch auf vorhandene Maßnahmen aufbauen. So muss die Anpassung des Verkehrssektors besonders unterstützt werden, insbesondere im Sinne der Aufklärung über die Risiken und Chancen, die sich durch den Klimawandel ergeben. Werden die möglichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel realisiert, ist eine Reduktion auf eine „geringe“ Vulnerabilität des Verkehrssektors zu erwarten (Mit-Maßnahmen-Szenario, siehe Kap. 2.8).

4.7.2 Verkehr und Klima

Der Transport von Menschen oder Gütern ist eine wichtige Grundlage für den hohen Lebensstandard moderner Gesellschaften. Probleme beim Transport von Rohstoffen, der Auslieferung von Fertigprodukten oder dem Berufsverkehr führen zu weitreichenden Konsequenzen für die Wirtschaft und die Gesellschaft (Parry, 2000). Aufgrund der Abhängigkeit des Tourismus von Verkehrsleistungen ergeben sich zu diesem Bereich, der innerhalb der vorliegenden Studie ebenfalls untersucht wurde (siehe Kap. 4.6), besondere Querverbindungen.

Klima, Witterung und Wetter sind wichtige Einflussfaktoren auf das Verkehrssystem, denn sie beeinflussen die Sicherheit, Effizienz (d.h. Wirtschaftlichkeit) und Pünktlichkeit des Verkehrs. Dabei haben Klima und Wetter sowohl Einfluss auf die Verkehrsmittel als auch auf die Ver-

kehrsinfrastruktur in allen Verkehrssektoren (Straße, Schiene, Schifffahrt, Flugverkehr). Im Einzelnen sind sie jedoch unterschiedlich vom Klima und dem Klimawandel betroffen.

Straßenverkehr

Im Straßenverkehr behindern im Winter Schneefall, Eis, Nebel oder Hagel den Verkehr. Die Folgen sind ein geringeres Fahrtempo, Stau und eine Erhöhung der Unfallzahlen. Darüber hinaus trägt Frost zu Schäden an Straßen und Brücken bei.

Starke Niederschläge führen zu Überschwemmungen und Hangrutschen, die kurzfristige Blockierungen im Verkehr bewirken und die Verkehrsinfrastruktur dauerhaft schädigen können. Auch andere Extremereignisse wie Stürme und Hagel richten große Schäden v.a. an Fahrzeugen an.

Hitzewellen in den Sommermonaten beeinträchtigen die Konzentration der Fahrzeuglenker und können so zu einer Erhöhung der Unfallzahlen führen. Laut einer Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen (Arminger et al., 1995) steigen die Unfallzahlen bei Fahrzeuginnenraumtemperaturen von über 32°C um 13% im Außerortverkehr und um 22% im Stadtverkehr. Bei extremen Temperaturen von über 37°C wurde sogar eine Zunahme der Unfälle um 33% festgestellt. Zudem führen hohe Temperaturen zu Schäden am Straßenbelag (z.B. Spurrillen).

Schienenverkehr

Der Bahnverkehr ist weniger als der Straßenverkehr vom Wetter abhängig. Im Winter ist der Bahnverkehr v.a. durch Vereisungen der Stromversorgung beeinträchtigt. Im Sommer spielen insbesondere Wetterextreme eine Rolle. Dazu gehören Schäden an Oberleitungen durch Stürme bzw. durch von Stürmen umgeknickte Bäume, Unterspülungen von Gleisen durch starke Niederschläge und Hochwasserereignisse sowie Schäden an Schienen bei extremer Hitze.

Luftverkehr

Wetter beeinflusst sowohl die Effizienz als auch die Sicherheit des Luftverkehrs. Sensitivitäten bestehen v.a. für Gewitter, Starkwinde, Dunst, Nebel, Regen, Schnee und Eis am Boden und in der Luft. Winterliche Wetterverhältnisse auf Flughäfen sind häufig die Ursache von Verspätungen oder potenziellen Gefahrensituationen (Hauf et al., 2004). Diesen Gefahren wird auf allen größeren Verkehrsflughäfen in Deutschland über ein komplexes System an Winterdienstprozeduren begegnet.

Schifffahrt

Auch die Schifffahrt wird im Winter durch Frost und Eis negativ beeinflusst. Vereisungen behindern den Schiffsverkehr und machen z.T. den Einsatz von Eisbrechern notwendig. In strengen Wintern kann der Schiffsverkehr auch völlig zum Erliegen kommen.

Wichtiger noch ist der Einfluss des Klimas auf die Wasserstände der Flüsse. Bei Hochwasser muss die Schifffahrt oft beschränkt oder eingestellt werden, da die hohe Strömungsgeschwindigkeit die Sicherheit der Schiffe gefährdet oder weil der durch die Schiffe verursachte Wellenschlag für die überschwemmten Flächen nicht zumutbar wäre. Während trockener Perioden können die Pegelstände unter ein kritisches Niveau sinken, so dass die Abladetiefen der Frachtschiffe nicht mehr gewährleistet werden können. Von klimabedingten Pegelschwankungen sind vor allem die freifließenden Flüsse (z.B. Elbe, Rhein, Weser) betroffen. In regulierten Flüssen können Pegelschwankungen durch Stauhaltung in gewissem Rahmen abgepuffert werden. Weiterhin können Seehäfen und die Schifffahrt in Küstengewässern vom Meeresspiegelanstieg betroffen sein.

4.7.3 Ausgangssituation: Verkehr in Deutschland

Der Personenverkehr in Deutschland wird vom motorisierten Individualverkehr dominiert. 79,1% aller beförderten Personen nutzen den PKW (siehe Abb. 4.7-1a). Der Motorisierungs-

grad ist mit 45 Millionen Fahrzeugen sehr hoch (Statistisches Bundesamt, 2005). Darunter leidet v.a. der öffentliche Personen- und Schienenverkehr, der mit 8% nur einen geringen Anteil am Personenverkehr einnimmt. An Bedeutung gewinnt dagegen der Flugverkehr. Die Zahl der Passagiere steigt stetig, was unter anderem auf die zunehmende Anzahl an Billigfluglinien zurück geführt werden kann. Trotzdem ist der Anteil an der gesamten Verkehrsleistung mit 4,6% noch relativ gering.

Auch im Güterverkehr dominiert der Straßenverkehr (siehe Abb. 4.7-1b). Der Verkehrsträger Bahn hat hier in den letzten Jahrzehnten Marktanteile verloren und hält nur noch einen Anteil von 15%. Im Güterverkehr spielt der Transitverkehr eine große Rolle. Deutschland gilt als das größte Transitland Europas.

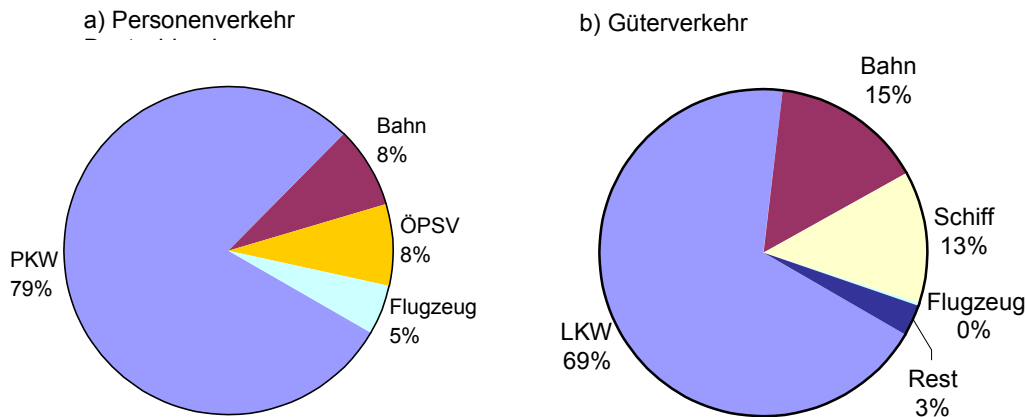


Abb. 4.7-1: Übersicht über den Anteil der Verkehrsmittel am a) Personenverkehr und b) Güterverkehr in Deutschland (Bundesregierung, 2000).

Der Verkehrssektor ist maßgeblicher Mitverursacher des Treibhauseffekts. In Deutschland stammten im Jahr 2000 ca. 22% der Emissionen aus dem Verkehr (UBA, 2001). Der CO₂-Ausstoß durch PKWs war mit 59% dabei am höchsten, gefolgt von LKWs mit 25% und Flugzeugen mit 8%.

Verkehr und Klima

Zu bisherigen Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehr in Deutschland liegen keine konkreten Studien oder Monitoring-Programme vor. Deutlich wird der Einfluss deshalb nur bei extremen Ereignissen, wie z.B. im Hitzesommer 2003. Hier führten Niedrigwasser zu Einschränkungen im Schiffverkehr bis hin zum Liegenbleiben von Schiffen (z.B. auf der Elbe). Unklar ist, ob – und wenn ja: wie viele – zusätzliche Todesfälle im Straßenverkehr durch die Hitze verursacht wurden.

4.7.4 Auswirkungen des Klimawandels – Literaturergebnisse

Auch die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehrsbereich in Deutschland sind bisher unerforscht. Szenarien und Prognosen beschränken sich auf die Entwicklung des Verkehrs und deren Auswirkungen auf den Klimaschutz. So geht das Bundesverkehrsministerium in seiner Verkehrsprognose vom Herbst 2000 davon aus, dass bis 2015 die Verkehrsleistung im Personenverkehr um insgesamt 20% gegenüber 1997 wächst, im Güterverkehr wird sogar ein Anstieg von 64% erwartet. Trotz der Fortschritte bei der Emissionsminderung der Fahrzeuge ist damit eine erhebliche Zunahme der Umweltbelastungen verbunden, besonders der klimaschädlichen CO₂-Emissionen (UBA, 2005).

Bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehr ist zu erwarten, dass in Zukunft die winterlichen Einschränkungen durch Frost und Eis abnehmen werden. Davon profitieren alle Verkehrssektoren gleichermaßen. Einschränkungen im Verkehr sind vor allem bei

einer Zunahme von Extremereignissen zu erwarten. Hohe Sommertemperaturen beeinträchtigen insbesondere den Straßenverkehr. Auf den nicht regulierten Flüssen wird die Schifffahrt voraussichtlich verstärkt von Hoch- und Niedrigwasser und stärkeren Schwankungen in den Wasserständen betroffen sein.

Darüber hinaus ist zu erwarten, dass sich die Verkehrsströme durch die Verschiebung landwirtschaftlicher Anbauggebiete und eines durch Klimaänderungen hervorgerufenen veränderten Freizeit- und Urlaubsverhalten ändern. Hierdurch können sowohl positive als auch negative Auswirkungen auftreten.

4.7.5 Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten

Wie in Kap. 2.6 konkret beschrieben, wurden in verschiedenen klimasensitiven Bereichen Deutschlands Befragungen mit Vertretern aus den jeweiligen Fachbehörden durchgeführt – auch im Verkehrsbereich. Bereichsspezifische Bewertungen der potenziellen Elemente und Auswirkungen des Klimawandels liegen für verschiedene Naturräume (siehe Kap. 2.6) aus den folgenden fünf Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Einschätzungen aus den süddeutschen Bundesländern mit höherer Exposition für Hochwasser und Frost bzw. Schnee als der Norden Deutschlands sind also nicht vorhanden. Negative Einschätzungen werden als Risikobewertungen, positive Einschätzungen als Chancenbewertungen interpretiert. Aufgrund des geringen Fragebogenrücklaufs sind die Ergebnisse der Befragung nicht grafisch dargestellt. Aus verschiedenen Gründen können die im Folgenden dargestellten Bewertungen nur als äußerst vorläufige Abschätzungen angesehen werden. Mit fünf Fragebögen gab es nur einen sehr geringen Rücklauf der Fragebögen aus den 16 Bundesländern, nur jeweils ein Experte pro Bundesland wurde befragt, und alle Befragten gaben an, dass ihre Einschätzungen auf keinen konkreten Studien oder Analysen basieren.

Gesamteinschätzung des Klimawandels

Die Bedeutung des Klimawandels für das Verkehrswesen bewerten die Befragten gemittelt über die Naturräume und Bundesländer in letzter Zeit (1990 bis heute) und auch kurzfristig (heute bis 2010) als „weder positiv noch negativ“, wobei auch einige Einschätzungen als „etwas positiv“ vorliegen. Mittelfristig (2010 bis 2020) und langfristig (2020 bis 2050) befindet sich die mittlere Bewertung zwischen neutral und „etwas negativ“. Insgesamt wird ein Trend von leicht positiven Bewertungen in der Vergangenheit zu leicht negativen Einschätzungen in der Zukunft erkennbar, wobei die Einschätzungsunterschiede zwischen den verschiedenen Bundesländern in der Zukunft immer weiter ansteigen.

Risikobewertungen

Von den potenziellen *Elementen des Klimawandels* schätzen die Befragten vermehrte Starkniederschläge am negativsten ein. Kurzfristig werden sie im Mittel „etwas negativ“, mittel- und langfristig fast einheitlich als „negativ“ bewertet. Steigende Temperaturen im Sommer, mehr heiße Tage und Hitzewellen und eine Zunahme der Jahressumme der Niederschläge²⁶ werden weniger negativ gesehen. Als fast unbedeutend, jedoch mit einer leichten Tendenz zur Negativbewertung, schätzen die Befragten stärkere Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr und eine Abnahme der Jahressumme der Niederschläge ein.

Fünf der sieben erfragten potenziellen *Auswirkungen des Klimawandels* auf das Verkehrswesen werden als Risiken eingeschätzt. Die negativsten Bewertungen (kurzfristig: „etwas negativ“, mittel- und langfristig: „negativ“) finden sich bei der höheren Gefahr durch Extremereignisse (z.B. Hochwasser, Sturm) im Straßenverkehr und den Gefahren von Niedrigwasser und Hochwasser in der Schifffahrt. In der näheren und weiteren Zukunft fast durchgängig „etwas negativ“ bewerten die Befragten eine höhere Gefahr durch Extremereignisse (z.B. Hochwasser, Sturm) im Schienenverkehr und große Schwankungen in den Wasserständen.

²⁶ Nach momentanem Wissenstand erscheinen je nach Region sowohl die Zu- als auch die Abnahme der Jahresniederschläge möglich. Daher wurden beide Optionen den Befragten zur Bewertung vorgelegt.

Chancenbewertungen

Die potenziellen *Elemente des Klimawandels*, welche die Befragten eher als Chancen denn als Risiken einschätzen, sind die steigende Jahresmitteltemperatur, die steigenden Temperaturen im Winter und weniger Frosttage. Konsistent mit diesen Bewertungen werden auch die geringeren Gefährdungen durch Frost / Schnee im Straßen- und Schienenverkehr zumeist als „etwas positive“ *Auswirkungen des Klimawandels* auf den Verkehrsbereich gesehen.

Weitere Auswirkungen

Außerdem wurde nach weiteren möglichen Auswirkungen des Klimawandels im Verkehrsbereich gefragt. Ein Befragter nannte hier die Gefahr häufigerer und schwererer Stürme für Schienen- bzw. Wasserwege, die spezielle Gefährdung von Brücken über Gewässern durch häufigere Starkwindereignisse (Stürme) und die Chance seltenerer Vereisung an Schiffen und von Wasserwegen.

4.7.6 Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels

Da die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehrsbereich weitgehend unerforscht sind, ist es verständlich, dass auch zu sinnvollen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Verkehrssektor nur sehr wenig Wissen vorliegt. Allgemein können hier technische Anpassungen an den Klimawandel genannt werden. Gegen extreme Hitze können z.B. im Bereich Verkehrsinfrastruktur neue hitzeresistente Materialien eingesetzt werden (z.B. andere Asphaltmischungen). Gegen hohe Fahrzeuginnentemperaturen schützt der Einbau von Klimaanlage. Auch gegen Extremereignisse sind technische Maßnahmen möglich, wie z.B. Murenschutz oder Trassenverlegung (in potenziellen Hochwassergebieten). Auf schwankende Wasserstände der Flüsse kann mit einem verbesserten Management der Wasserstände und mit dem Bau neuer Staustufen reagiert werden. Solche großtechnischen Maßnahmen sind allerdings zum einen teuer, zum anderen stehen sie im Konflikt mit andern Zielen, insbesondere den Zielen des Naturschutzes. In Gebieten, in denen eine Schiffbarkeit langfristig nur unter großem technischem Aufwand zu bewältigen ist, ist an eine Güterverlegung vom Schiff auf die Schiene zu denken. Zur Anpassung an die Abnahme von Frost- und Eis Tagen im Rahmen der Klimaerwärmung sollte auf größere langfristige Investitionen zum Schutz gegen Vereisung (z.B. Brückenheizungen im Straßenverkehr) verzichtet werden.

4.7.7 Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten

Zu Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Verkehrsbereich geeignet sind, liegen Ergebnisse von Expertenbefragungen (zur Methode siehe Kap. 2.6) aus den folgenden fünf Bundesländern vor: Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Aus den südlichen Bundesländern Deutschlands liegen demnach keine Angaben vor. Aufgrund des sehr geringen Rücklaufs der Fragebögen und der Befragung von nur jeweils einem Experten pro Bundesland können die im Folgenden dargestellten Befragungsergebnisse nur als sehr vorläufige Abschätzungen der Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Verkehrssektor in Deutschland geeignet sind, angesehen werden.

Innerhalb der Befragung wurden die Maßnahmen hinsichtlich verschiedener Dimensionen bewertet, u.a. hinsichtlich der Maßnahmen-Wirksamkeit zur Minderung der in Abschnitt 4.7.5 dargestellten potenziellen Risiken bzw. zur Nutzung der potenziellen Chancen des Klimawandels (siehe Tab. 4-7) und hinsichtlich der bisherigen Maßnahmen-Umsetzung (siehe Abb. 4.7-2).

Tab. 4-7: Einschätzungen der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Minderung von Risiken bzw. Nutzung von Chancen des Klimawandels im Verkehrsbereich. Dargestellt ist die Anzahl der Befragten, die den Maßnahmen eine Wirksamkeit zur Minderung bzw. Nutzung der Auswirkungen zuschreiben. Auswertungsgrundlage: 5 Fragebögen aus den Bundesländern Berlin, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein, Brandenburg

<i>Maßnahmen</i>	Auswirkungen				
	Geringere Gefahr durch Frost / Schnee (wärmere Winter)	Höhere Gefahr durch Extremereignisse	Gefahr von Niedrigwasser	Gefahr von Hochwasser	Große Schwankungen in den Wasserständen
Schutz von Straßen gegen Extremereignisse	2	2	-	3	1
Schutz von Schienenwegen gegen Extremereignisse	-	1	-	1	-
Technische Sicherung von Wasserständen	-	-	2	1	-
Bessere Koordination bei der Regelung der Wasserstände	-	-	1	1	1
Verlegung von Schifffahrtsgütern auf die Schiene	-	-	1	2	-

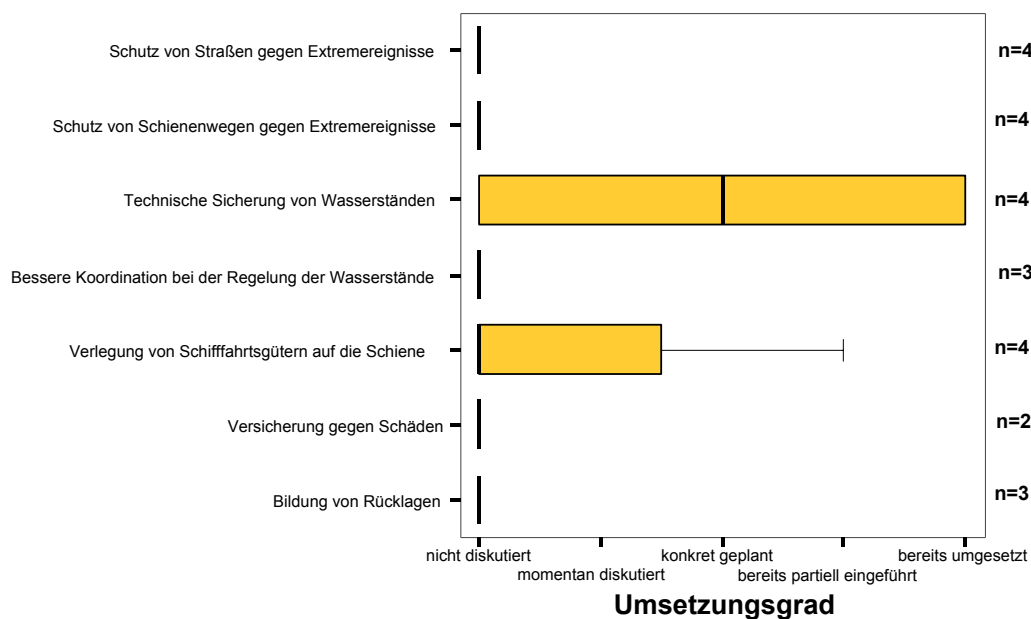


Abb. 4.7-2: Einschätzungen des Umsetzungsgrades zur Anpassung an den Klimawandel geeigneter Maßnahmen im Verkehrsbereich. Auswertungsgrundlage: 5 Fragebögen aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Hamburg, Berlin, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden Fragebögen.²⁷

²⁷ Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Einschätzungen für verschiedene Bundesländer als Box-Plot: Die Box umfasst die mittleren 50% der Verteilung und bezeichnet somit die Werte zwischen dem unteren und dem oberen Quartil. Je weiter links sich die gelbe Box befindet, desto negativer wird die Auswirkung des Klimawandels bewertet. Die Lage des Medians (Mittelwert) wird durch einen dicken senkrechten Strich verdeutlicht. Zwei Linien links und rechts der Box verdeutlichen die Spannweite der gegebenen Einschätzungen. Die n-Werte bezeichnen die Anzahl der den einzelnen Box-Plots zugrunde liegenden gültigen Antworten.

Straßenverkehr: Schutz von Straßen gegen Extremereignisse

Zwar wird der Schutz von Straßen gegen Extremereignisse von den Befragten als wirksam angesehen, um der höheren Gefahr von Extremereignissen und von Hochwasser zu begegnen²⁸ (siehe Tab. 4-7), jedoch wird nach Auskunft von vier der fünf Befragten diese Maßnahme in ihren jeweiligen Bundesländern bisher „nicht diskutiert“ (ein Befragter kann hierzu keine Angaben machen). Eine Person nennt als Grund für die fehlende Beschäftigung mit dem Schutz von Straßen gegen Extremereignisse, dass in ihrem Bundesland in dieser Hinsicht „kein Handlungsbedarf“ bestünde. Aufgrund der fehlenden Beschäftigung mit dem Thema werden von den Befragten auch keine Angaben zu Hindernissen und Aufwändigkeit der Maßnahmenumsetzung gemacht.

Schienenverkehr: Schutz von Schienenwegen gegen Extremereignisse

Nur ein Befragter sieht den Schutz von Schienenwegen als wirksam an, um der höheren Gefahr von Extremereignissen und von Hochwasser zu begegnen (siehe Tab. 4-7). Vier der fünf Befragten berichten, dass die Maßnahme in ihren jeweiligen Bundesländern bisher „nicht diskutiert“ wird (siehe Abb. 4.7-2) (ein Befragter macht keine Angaben). Als Begründung geben zwei Befragte an, dass für ihre Bundesländer die Schienenwege keiner Gefahr durch Extremereignisse ausgesetzt sind. Angaben zu Hindernissen und Aufwändigkeit der Umsetzung fehlen auch hier.

Schifffahrtsverkehr: Technische Sicherung und Regelung von Wasserständen, Verlegung von Schifffahrtsgütern auf die Schiene

Hinsichtlich der drei für den Schifffahrtsverkehr erhobenen Anpassungsmaßnahmen ähneln sich die Wirksamkeitseinschätzungen (siehe Tab. 4-7). Sie werden als wirksam hinsichtlich der Gefahr von Hoch- und Niedrigwasser angesehen.

Hinsichtlich des Umsetzungsgrades der drei Maßnahmen ergibt sich ein differenzierteres Bild (siehe Abb. 4.7-2): Die technische Sicherung von Wasserständen wird in zwei Bundesländern (Hamburg und Mecklenburg-Vorpommern) „nicht diskutiert“, in zwei anderen Bundesländern (Berlin und Brandenburg) „bereits umgesetzt“ (mit dem Ergebnis des missverständlichen Mittelwertes „konkret geplant“, siehe Abb. 4.7-2) und für ein Bundesland kann wiederum keine Angabe zum Umsetzungsgrad gemacht werden. Als Grund für die fehlende Diskussion über die technische Wasserstandssicherung wird vom Vertreter Hamburgs die fehlende Notwendigkeit der Maßnahmen genannt. Die Maßnahmenumsetzung in Berlin wird mit der Sicherstellung der Schiffbarkeit der Wasserstraßen, die Umsetzung in Brandenburg mit den Erfahrungen aus dem Oder- und Elbehochwasser begründet. Die Auswirkungen des Klimawandels hätten auf die Maßnahmeneinführung jedoch keinen Einfluss gehabt.

Zur Umsetzung einer besseren Koordination bei der Regelung der Wasserstände machen nur drei Befragte (Berlin, Hamburg und Mecklenburg-Vorpommern) Angaben, stimmen jedoch darin überein, dass diese Maßnahme „nicht diskutiert“ wird – vom Vertreter Hamburgs wiederum mit der fehlenden Notwendigkeit begründet.

Die Verlegung von Schifffahrtsgütern auf die Schiene wird in Hamburg nach Aussage des Befragten „bereits partiell eingeführt“ (aufgrund von Mengenproblemen beim Gütertransport), während die Maßnahme in den Bundesländern Brandenburg, Berlin und Schleswig-Holstein „nicht diskutiert“ wird (keine Angabe für Mecklenburg-Vorpommern).

Da die drei erfragten Maßnahmen im Schifffahrtsverkehr in den meisten Fällen „nicht diskutiert“ werden, ist verständlich, dass die Befragten keine Angaben zu Hindernissen und Aufwändigkeit der Maßnahmen machen.

²⁸ Schwer nachvollziehbar ist die Einschätzung von zwei Befragten, dass der Schutz von Straßen gegen Extremereignisse eine wirksame Maßnahme ist, um der aufgrund der Klimaerwärmung geringeren Gefahr durch Frost oder Schnee zu begegnen.

Gefahrenübergreifende Maßnahmen: Versicherung und Rücklagenbildung

Hinsichtlich der gefahrenübergreifenden Maßnahmen Versicherung und Rücklagenbildung, die auch in allen anderen klimasensitiven Bereichen (z.B. Forstwirtschaft, Landwirtschaft) erhoben wurden, geben die Befragten an, dass sie in ihren Bundesländern „nicht diskutiert“ würden (siehe Abb. 4.7-2). Aus den Befragungen in den anderen klimasensitiven Bereichen ist jedoch bekannt, dass sich die Befragten – Vertreter aus Fachverwaltungen der Länder – bei der Beantwortung der Fragen zu den gefahrenübergreifenden Maßnahmen mehrheitlich auf die Umsetzung dieser Maßnahmen durch staatliche Stellen bezogen, die klassischerweise gering ist. Daher ist es sehr gut möglich, dass sich höhere Umsetzungsgrade dieser Maßnahmen ergäben, würde man auch das Vorhandensein von Versicherungen und Rücklagen bei Verkehrsunternehmen einbeziehen.

Weitere Maßnahmen

In der Befragung wurde auch nach weiteren Maßnahmen im Verkehrssektor gefragt, die geeignet sind, den Risiken des Klimawandels vorzubeugen bzw. dessen Chancen zu nutzen. Nur ein Befragter hat hier Angaben gemacht. Er nennt bessere Prognosen von Stürmen (Häufigkeit und Stärke) für eine bessere Schiffs- und Schienensicherheit.

Anpassung an den Klimawandel in den befragten Fachressorts

Nur zwei der fünf Befragten, die aus den Verkehrsressorts der Bundesländer stammen, geben an, dass innerhalb ihrer Verwaltungen eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel stattfindet. Jedoch können in diesen beiden Bundesländern – Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern – keine praktischen Programme zur Anpassung an den Klimawandel im Verkehrsbereich benannt werden. Auf die Frage nach der aktuellen Relevanz der Anpassungsthematik in ihrer Verwaltung im Vergleich zu anderen Themen antworten diese beiden Befragten mit „etwas wichtig“, die anderen drei Befragten mit „unwichtig“. Kein Befragter wählt „wichtig“ oder „sehr wichtig“. Auch vor dem Hintergrund des sehr geringen Fragebogenrücklaufs scheint daher die Anpassung an den Klimawandel in den Verkehrsressorts der meisten Bundesländer momentan so gut wie keine Bedeutung zu haben.

Anpassung im Verkehrsbereich: Zusammenfassung und Resümee

Insgesamt ergibt sich für den Verkehrssektor in Deutschland das Bild eines bisher sehr geringen Anpassungsgrades an den Klimawandel. In nur sehr wenigen Verkehrsressorts der Bundesländer findet bisher eine Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel statt, das Wissen über potenzielle Auswirkungen des Klimawandels und auch der Umsetzungsgrad von Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, ist insgesamt recht gering. Von den klimasensitiven Bereichen, in denen Befragungen zum Klimawandel durchgeführt wurden, ist der Verkehrssektor derjenige Bereich, für den am wenigsten Fragebögen zurückgesandt wurden. Auch dieser Umstand kann als Hinweis auf eine bisher geringe Auseinandersetzung mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel und auf einen geringen Anpassungsstand im Verkehrssektor (zumindest im staatlichen Bereich) in Deutschland gewertet werden.

Allgemein sollte der Verkehrssektor jedoch die Fähigkeit haben, sich in Zukunft an die Auswirkungen des Klimawandel anzupassen; denn ihm steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung. Andererseits wird die Anpassung voraussichtlich sehr aufwändig sein; denn man kann kaum auf vorhandenes Wissen noch auf vorhandene Maßnahmen aufbauen. Gleichzeitig sieht sich der Verkehrssektor anderen Herausforderungen (z.B. Toll Collect, Feinstaubverordnung) gegenüber.

4.7.8 Literatur

Arminger, G., Bommert, K., Bonne, T. (1995): Einfluß der Witterung auf das Unfallgeschehen. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.

Bundesregierung (2000): Third Report by the Government of the Federal Republic of Germany in accordance with the Framework Convention of the United Nations, Berlin.

Hauf, T., Leykauf, H., Schumann, U. (2004): Luftverkehr und Wetter – Statuspapier. Arbeitskreis Luftverkehr und Wetter.

Parry, M. (2000) Assessment of potential effects and adaptation for climate change in Europe – the Europe ACACIA Project. University of East Anglia, Norwich.

Statistisches Bundesamt (2005): Datenbank GENESIS. www-genesis.destatis.de.

UBA – Umweltbundesamt (2001): Daten zur Umwelt 2000, Berlin.

UBA – Umweltbundesamt (2005): Umwelt-Barometer: Mobilität. www.uba.de/dux/mo-inf.htm.

5 Ergebnisse des Stakeholder-Workshops

Die im Kapitel 4 dargestellten Ergebnisse zu den potenziellen Auswirkungen des Klimawandels und den möglichen Anpassungsmaßnahmen in Deutschland wurden in der Endphase des Projektes im Rahmen eines Stakeholder-Workshops zur Diskussion gestellt. Die Teilnehmer dieses Workshops waren neben Vertretern aus Wissenschaft, Politik und Verwaltung vor allem Vertreter aus Unternehmen und Interessensverbänden aus den beforschten klimasensitiven Bereichen Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Naturschutz/Biodiversität, Gesundheit und Verkehr. Ein Vertreter aus dem ebenfalls beforschten Landwirtschaftsbereich musste kurzfristig absagen.

Neben den Präsentationen aus dem hier vorgestellten Projekt trugen noch zwei weitere Wissenschaftler zu den Themen „Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von klimatologischen Extremereignissen in Deutschland“ und „Entscheiden, Kommunikation und Umgang mit Unsicherheiten“ vor. Das Programm und die Ziele des Workshops finden sich in Kap. 2.7.

5.1 Ergebnisse der Teilnehmervorbefragung

Vor dem Workshop wurde eine schriftliche Befragung der eingeladenen Workshop-Teilnehmer durchgeführt. Diese diente insbesondere der Erhebung der Erwartungen an den Workshop. Die Antworten gliederten sich in die Erwartungsbereiche (1) Information und Diskussion und (2) Vernetzung.

Erwartungen an Information und Diskussion

Erwartungen hinsichtlich bestimmter Fachinformationen nahmen den größten Anteil der genannten Erwartungen ein. Informations- und Diskussionsbedarf wurde hinsichtlich der folgenden Bereiche bekundet: Klimaentwicklung (u. hier bestehende Kenntnisdefizite), Klimafolgen (möglichst konkret u. regional), Wahrscheinlichkeiten von Klimafolgen, Risiko- und Vulnerabilitätsabschätzung, monetäre / volkswirtschaftliche und ideelle Kosten mit und ohne Anpassung, Überblick über die Situation in Deutschland und besonders betroffene Bereiche, Gruppen und Regionen, Umgang mit Unsicherheiten, Kommunikation von Unsicherheiten, „Übersetzungshilfen“ für Politikberatung und Ausbildung, Anpassungsmaßnahmen (gegenwärtig, zukünftig), Kriterien zur Prioritätensetzung von Anpassungsmaßnahmen, Überblick über Erwartungen verschiedener Akteure, Arbeit und Ziele des UBA bezüglich Klimafolgen, Vorhaben der Bundesregierung und sonstige Aktivitäten in Deutschland.

Fast alle genannten Themen konnten mit den Vorträgen auf dem Workshop abgedeckt werden. Nur dem Informationsbedarf hinsichtlich der monetären / volkswirtschaftlichen und ideellen Kosten mit und ohne Anpassung konnte nicht entsprochen werden. Eine ungefähre qualitative Abschätzung der Kosten findet sich jedoch in dem Vergleich der in diesem Bericht dargestellten Vulnerabilitäten mit und ohne weitere Maßnahmen (siehe Kap. 4).

Erwartungen zur Vernetzung

Neben den Erwartungen hinsichtlich Information und Diskussion wurden auch Vernetzungsbedarfe geäußert. Diese bezogen sich auf die Vernetzung mit anderen Unternehmen aus dem eigenen Sektor, mit anderen Akteuren über den eigenen Sektor hinaus, zwischen öffentlichen und privaten Stakeholdern, von Forschungseinrichtungen und Bundesländern und generell auf die Vernetzung zwischen Wirtschaft, Verwaltung, Politik und Wissenschaft.

Von diesen Vernetzungen versprechen sich die Stakeholder sowohl den Austausch von Information als auch Möglichkeiten zur abgestimmten Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. In diesem Zusammenhang wurde auch eine abgestimmte Kommunikationsoffensive zu Klimafolgen und Anpassung von Wirtschaft, Verwaltung, Politik und Wissenschaft angeregt.

Außerdem wurde von einem Teilnehmer die Vernetzung des Themengebiets der Klimaanpassung mit anderen Herausforderungen, insbesondere der Hochwasservorsorge und dem Klimaschutz genannt.

Zur Erfüllung dieser zum Teil bereits sehr umsetzungsorientierten Vernetzungserwartungen konnte im Rahmen des Workshops ein erster Schritt getan werden. Der Workshop stellt für das Umweltbundesamt die Startveranstaltung für einen längerfristigen Dialog über die Anpassung an den Klimawandel in Deutschland zwischen Akteuren aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Nichtregierungsorganisationen dar. Der Aufbau eines solchen Akteurs-Netzwerks steht im Rahmen der Absicht des Umweltbundesamtes, ab 2006 ein *Kompetenzzentrum Klimafolgen* einzurichten, welches als Informationsplattform für Klimafolgen und Anpassung in Deutschland fungieren soll. In diesem Zusammenhang wird eine Kooperation mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung angestrebt.

Gesamteinschätzung des Klimawandels

Neben den Workshop-erwartungen wurden die Teilnehmer in der Vorbefragung auch um eine Gesamteinschätzung des Klimawandels gebeten. Diese Frage wurde auch in den Befragungen regionaler Experten gestellt, deren Ergebnisse in Kap. 4 diskutiert werden.

Der genaue Wortlaut der Frage lautete: Wenn Sie den Klimawandel als Ganzes betrachten, wie bewerten Sie die Wirkung des Klimawandels in dem Bereich, für den Sie beruflich zuständig sind? Die durchschnittlichen Bewertungen aus den Bereichen, für die Einschätzungen abgegeben wurden (siehe Tab. 5-1) zeigen eine durchweg negative Bewertung, wobei sich die Negativeinschätzungen über die Zeit verstärken.

Tab. 5-1: Gesamteinschätzung des Klimawandels durch die Workshop-Teilnehmer. Dargestellt sind die Mittelwerte der Bewertungen auf der folgenden Antwortskala: -3 (sehr negativ), -2 (negativ), -1 (etwas negativ), 0 (weder pos. noch neg.), +1 (etwas positiv), +2 (positiv), +3 (sehr positiv).

	Biodiversität	Forstwirtschaft	Wasserwirtschaft	Gesundheit	Ländervertreter
in letzter Zeit	-0,3	-1	-0,4	-1	-0,5
kurzfristig	-0,3	-2	-0,8	-1	-1
mittelfristig	-1	-2	-1,6		-1,33
langfristig	-1,3		-2,33		-2,25

Aktuelle Wichtigkeit der Anpassung an den Klimawandel

Außerdem wurde die Frage nach der aktuellen Wichtigkeit der Klimaanpassung in den Organisationen bzw. Verwaltungen der Workshop-Teilnehmer gestellt. Der genaue Wortlaut der Frage lautete: Welchen Stellenwert nimmt die Anpassung an den Klimawandel aktuell in Ihrer Organisation bzw. Verwaltung ein – auch vor dem Hintergrund anderer Probleme und Herausforderungen, mit der Ihre Organisation bzw. Verwaltung momentan zu tun hat?

Auch diese Frage war in den Befragungen regionaler Experten (siehe Kap. 4) gestellt worden und ergab im Vergleich zu diesen in den Organisationen und Verwaltungen der Workshop-Teilnehmer einen relativ hohen aktuellen Stellenwert der Klimaanpassung (siehe Abb. 5-1).

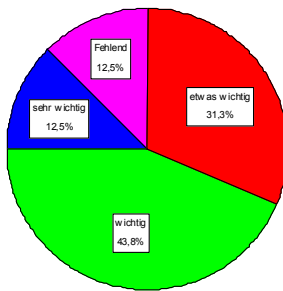


Abb. 5-1: Aktuelle Wichtigkeit der Anpassung an den Klimawandel in den Organisationen der Workshop-teilnehmer. Antwortskala: unwichtig – etwas wichtig – wichtig – sehr wichtig.

5.2 Ergebnisse des Workshops

Zwar zeigte sich in der Vorbefragung der Teilnehmer eine relativ hohe aktuelle Wichtigkeit des Themas Klimaanpassung in den Organisationen und Verwaltungen der Teilnehmer, jedoch bedeutete diese Einschätzung nicht, dass bei ihnen schon ein großes Wissen über den Klimawandel und seine Auswirkungen in Deutschland besteht. Das große Informationsbedürfnis, welches sich bereits in der Vorbefragung gezeigt hatte, bewies sich auch während des Workshops. Der große Informations- und Unterstützungsbedarf von Entscheidungsträgern in der Frage der Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland kann vielleicht sogar als das Hauptergebnis des Workshops gelten.

Vertrauen in wissenschaftliche Ergebnisse über den Klimawandel

Um den Klimawandel und seine Auswirkungen zu verdeutlichen, wurden innerhalb des Workshops zwei Vorträge gehalten. Prof. Schönwiese (Institut für Atmosphäre und Umwelt, Universität Frankfurt) stützte sich in seinen Aussagen zu den „Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von klimatologischen Extremereignissen in Deutschland“ auf statistische Analysen des Klima- und Wettergeschehens in der *Vergangenheit* und betonte, dass es schon immer einen Wandel des Klimas gegeben habe. Jedoch etablieren sich bei der Temperatur etwa seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts neue positive Trends, die sich besonders in den letzten Jahrzehnten verstärkt haben. Diese aktuelle Trendentwicklung ist anthropogen dominiert. Dr. Zebisch (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam), Mitautor des vorliegenden Berichts, hielt im Anschluss daran einen Vortrag über die „Möglichen Auswirkungen von Klimaänderungen auf Land-, Forst-, und Wasserwirtschaft, Naturschutz, Tourismus, Verkehr und Gesundheit in Deutschland“. Hier stützte er sich v.a. auf Computer-Modelle des Globalen Wandels, die das Klimageschehen in der Zukunft auf Basis wissenschaftlicher Annahmen modellieren (siehe auch Kap. 2). Die Inhalte beider Vorträge sind in die Kapitel 3 und 4 dieses Berichts eingegangen.

Im Rahmen der Diskussion am Nachmittag kam man auf diese beiden Vorträge und ihre Relevanz für Entscheidungsträger zurück. Es ging um die Frage, ob sich Entscheidungsträger eher an zukunftsgerichteten Szenarien und Prognosen oder eher an Zeitreihen und Trends der Vergangenheit orientieren. Einige Teilnehmer berichteten, dass Letzteres eher der Fall ist. Andere Teilnehmer widersprachen, bei ihnen werden eher Klimaszenarien als Planungsgrundlage genommen.

In dieser Diskussion zeigte sich auch die große Bedeutung des Themas Vertrauen in wissenschaftliche Ergebnisse und die bei einigen Entscheidungsträgern vorhandene Skepsis insbesondere gegenüber Klimamodellen der Zukunft, welche sie im Gegensatz zu Analysen von Trends in der Vergangenheit nicht mit ihrer persönlichen Erfahrung vergleichen können. Die Wichtigkeit des Vertrauens in die Ergebnisse von Klimamodellen und Möglichkeiten zur Förderung dieses Vertrauens sind daher auch Thema von Kap. 6.2.2. Dass zur Vertrauensbildung aber nicht gehören muss, bestehende Unsicherheiten in Zukunftsszenarien zu verschweigen, zeigt der folgende Abschnitt.

Thema Unsicherheit

Die Einschätzungen zum zukünftigen Klimawandel und seinen wahrscheinlichen Folgen sind immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Auch bei weiterer Verfeinerung der wissenschaftlichen Methoden werden ihre Ergebnisse unsicher bleiben, denn zum einen sind die den Klimawandel mit verursachenden Treibhausgasemissionen der Zukunft, zum anderen aber auch die Reaktion des Klimasystems auf diese Emissionen nur bis zu einem gewissen Grade einschätzbar.

Da die Unsicherheit von Risikoinformationen oft zum Hindernis der Risikovorsorge wird, fand der konstruktive Umgang mit Unsicherheit und einem unspezifischen Gefahrenpotenzial im Rahmen des Stakeholder-Workshops durch einen Vortrag von Prof. Gigerenzer (Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin) mit dem Titel „Entscheiden, Kommunikation und Umgang mit Unsicherheiten“ explizit Berücksichtigung.

Allgemein wird angenommen, dass die Kommunikation bestehender Unsicherheiten in wissenschaftlichen Ergebnissen die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse schmälert. Prof. Gigerenzer machte am Beispiel der Bank of England deutlich, dass genau das Umgekehrte der Fall ist. Diese ist für die transparente Kommunikation bestehender Unsicherheiten in ihren Prognosen der Wirtschafts- und Währungsentwicklung bekannt und ist gleichzeitig die Organisation mit der höchsten Glaubwürdigkeit in England. Auf die Kommunikation bestehender Unsicherheiten in Vorhersagen zu verzichten, bedeutet nämlich letztlich, dass bei ihrem Nichteintreffen die sie kommunizierende Institution unglaublich wird (siehe auch Kap. 6.2.2).

In Anschluss an die Präsentation von Prof. Gigerenzer kam eine Diskussion über das Leitbild des „informierten Bürgers“ auf. Dieses Leitbild wird derzeit besonders auf europäischer Ebene verwendet. Um das alte Ideal der „beschützenden Verwaltung“ zum „informierten Bürger“ zu transformieren, ist ein Mentalitätswandel nötig. Als Voraussetzung für aufgeklärtes Handeln müssen den Bürgern viele Informationen bereitgestellt werden. Die richtige Kommunikation von Risiken wird dabei eine starke Rolle spielen. Ziel dieser Entwicklung sollte nach Prof. Gigerenzer jedoch nicht nur der informierte, sondern auch der gelassene Bürger sein, der sowohl über die bestehenden Risiken Bescheid, als auch mit ihnen gelassen umzugehen weiß.

Der Umgang mit Unsicherheit betrifft jedoch nicht nur eine gelassene Grundhaltung, sondern auch konkrete Entscheidungen. Wie mit der Unsicherheitsproblematik des Klimawandels im Entscheidungsprozess systematisch umgegangen werden kann, zeigt das in Kap. 6.2.4 dargestellte Entscheidungsunterstützungssystem (siehe auch Kap. 6.2.3).

Thema Anpassung

Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels waren Thema des Vortrags „Anpassungsmaßnahmen in Deutschland – Nutzung von Chancen und Minderung von Risiken“ von Herrn Grothmann (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam), Mitautor dieses Berichtes. Hier ging es vor allem um Ergebnisse aus Befragungen von Experten aus den Fachressorts der Bundesländer für die Bereiche Land-, Forst-, und Wasserwirtschaft, Naturschutz, Tourismus, Verkehr und Gesundheit. Diese wurden nach der Wirksamkeit, dem Umsetzungsgrad, den Hindernissen und der Aufwändigkeit von Maßnahmen gefragt, die grundsätzlich zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind (z.B. Umbau zu Mischwäldern in der Forstwirtschaft), auch wenn sie aus anderen Gründen eingeführt wurden (siehe auch Kap. 2.6). Dieses Vorgehen war notwendig, um einen Eindruck von dem bisherigen Anpassungsgrad in Deutschland und der Vulnerabilität für die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels ohne weitere Maßnahmen (siehe Kap. 2.8) zu gewinnen. Ergebnis der Befragungen ist, dass in vielen Bereichen Maßnahmen, die grundsätzlich auch zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind (z.B. Hochwasserschutzmaßnahmen), jedoch noch auf diesen abgestimmt werden müssen (!), bereits partiell eingeführt sind. Bisher scheint jedoch keiner der untersuchten Bereiche an den Klimawandel vollständig angepasst zu sein. Auch weil auf bereits vorhandene Maßnahmen aufgebaut werden kann und in vielen Bereichen die Hindernisse der Anpassung an den Klimawandel nicht unüberwindbar scheinen, kam Herr Grothmann zu dem Schluss, dass in den allen Bereichen eine Anpassungsfähigkeit besteht, um sich in Zukunft an die Folgen des Klimawandels anzupassen.

In der anschließenden Diskussion zeigte sich, dass die Darstellung von Maßnahmen, die zwar grundsätzlich zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, aber nicht durch diesen motiviert waren, missverständlich ist. Insbesondere die auf diese Weise diagnostizierte partielle Einführung vieler dieser Maßnahmen, ist missverständlich und erzeugte bei einigen Workshopteilnehmern den Eindruck von der Schlussfolgerung, dass hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel kaum noch Handlungsbedarf bestünde. Zudem wurden Zweifel an der Verlässlichkeit der Auskünfte gesehen. Insbesondere der bisherige Umsetzungsgrad von Maßnahmen könnte systematisch überschätzt werden. Vor diesem Hintergrund wird in der Darstellung der Ergebnisse im vorliegenden Bericht (insb. in Kap. 4) stark betont, dass die Befragteinschätzungen nur vorläufige Abschätzungen darstellen und Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel grundsätzlich geeignet sind, zum einen in den meisten Bereichen noch nicht vollständig umgesetzt sind und zum anderen noch nicht auf die Erfordernisse des Klimawandels abgestimmt sind. Daher wird in allen untersuchten Bereichen geschlossen, dass diese bisher nicht an den Klimawandel angepasst sind.

Im Zusammenhang mit dem entstandenen Eindruck, dass die Schlussfolgerung aus den Befragungen sei, hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel kaum noch handeln zu müssen, stand auch der Einwand eines Teilnehmers, dass zwischen einer Gesamtstrategie der Anpassung an den Klimawandel und einzelnen Maßnahmen unterschieden werden müsse, deren Einführung außerdem durch andere Motive als den Klimawandel bedingt sind. In den Befragungen wurde auch nach dem Vorhandensein von derartigen Strategien und Programmen gefragt. Die ernüchternden Ergebnisse sind ebenfalls in Kap. 4 dargestellt.

Um in Zukunft verlässlichere Einschätzungen zu Anpassungsmaßnahmen zu erhalten, wurde die Befragung von Fachexperten auch außerhalb staatlicher Verwaltungen (z.B. aus der Wirtschaft und Umweltorganisationen) und Telefoninterviews anstatt schriftlicher Befragungen angeregt. Beides war im Rahmen der hier vorgestellten Befragungsstudie aufgrund finanzieller Beschränkungen nicht möglich.

Weitere Vernetzung

So wie für weitere Befragungen die Einbeziehung anderer Akteure angeregt wurde, so scheint auch die Erweiterung des mit dem Stakeholder-Workshops initiierten Akteurs-Netzwerks sinnvoll. Auf die Frage nach Institutionen und Organisationen, die als Akteure der Anpassung an den Klimawandel eingebunden werden sollten, nannten die Workshopteilnehmer neben dem BMU weitere Bundesministerien (z.B. BM f. Bildung und Forschung, BM f. Wirtschaft und Arbeit etc.), das Deutsche Komitee für Katastrophenvorsorge, nationale Beratungsgremien (WBGU, Nachhaltigkeitsrat u.a.), den deutschen Städte- und Gemeindetag und Wirtschaftsverbände. Für den Naturschutzbereich wurden z.B. die Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung (LANA), für die Landwirtschaft der Bauernverband, in der Forstwirtschaft der Deutsche Forstwirtschaftsrat, in der Wasserwirtschaft die LAWA, im Verkehrsbereich das Deutsche Verkehrsforum und im Gesundheitsbereich das Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit genannt. Als wichtiger weiterer Bereich wurde die Einbindung des Finanzsektors (Banken, Rückversicherungen) gefordert. Von Seiten der Forschung sollten neben der Klimaforschung auch Wirtschaftsforschungsinstitute beteiligt werden. Auch eine Vernetzung mit Aktivitäten in anderen Nationen (z.B. in der EU) wurde angeregt.

Erwartungen hinsichtlich weiterer Unterstützung

Wie sich sowohl in der Teilnehmervorbefragung als auch während des Workshops herausstellte, besteht ein hoher Informations- und Unterstützungsbedarf bei Entscheidungsträgern hinsichtlich der Fragen, welche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland drohen und welche Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung stehen.

Neben dem von Seiten der Ländervertreter formulierten Bedarf nach einer abgestimmten Datengrundlage innerhalb Deutschlands und standardisierten Klimaszenarien wurden während des Workshops in den verschiedenen Bereichen zum Teil unterschiedliche, oft aber auch ähnliche Informationsbedarfe geäußert:

- Wasserwirtschaft: Homogenisierung der Anpassungsforschung; Statusbericht
- Landwirtschaft: regionale Klimaszenarien; nachhaltige Anpassungsstrategien

- Forstwirtschaft: zukünftige potenzielle natürliche Vegetation; Forschung zur ökologischen Stabilität; Vulnerabilität unterschiedlicher Waldgesellschaften; Förderungsmöglichkeiten für Anpassungsmaßnahmen
- Naturschutz: regionale Klimaszenarien; Informationen über andere Bereiche
- Gesundheit: systematische Beobachtung der Verbreitung von Vektoren
- Tourismus: nachhaltige touristische Anpassungsstrategien
- Verkehr: Informationen zu Wetterextremen (Starkregenereignisse; Sturmgefahr) u. Entwicklung der Grasbrandgefahr / Grasbrandindex

Das Kompetenzzentrum Klimafolgen am Umweltbundesamt

Wie bereits dargestellt, bildete der Workshop für das Umweltbundesamt die Startveranstaltung für den Aufbau eines Akteursnetzwerks zur Anpassung an den Klimawandel in Deutschland. Der Aufbau dieses Akteursnetzwerk steht seinerseits im Rahmen der Absicht des Umweltbundesamtes, ab 2006 ein Kompetenzzentrum Klimafolgen einzurichten, welches als zentrale Informationsplattform für Klimafolgen und Anpassung in Deutschland fungieren soll. Dabei wird eine Kooperation mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung angestrebt.

In ihrer Präsentation „Aufgaben und Struktur des Kompetenzzentrums Klimafolgen am Umweltbundesamt“ stellte Frau Mahrenholz (Umweltbundesamt, Dessau) die anvisierten Ziele, Aufgaben und Produkte des Kompetenzzentrums vor. In der anschließenden Diskussion behandelten mehrere Fragen die konkrete Ausrichtung des geplanten Kompetenzzentrums. Wie Frau Mahrenholz betonte, soll hier keine Wissenschaft betrieben werden, sondern vielmehr ein pragmatischer, bedarfsorientierter Austausch von Informationen im Mittelpunkt stehen. Ähnlich wie bei dem „United Kingdom Climate Impact Programme (UKCIP)“ besteht die Zielsetzung in der praxisnahen Beratung und Unterstützung von Akteuren, deren Handlungsfelder von möglichen Klimafolgen betroffen sind.

Von den Teilnehmern des Workshops wurde die Initiative des UBA für ein solches Kompetenzzentrum im Sinne einer zentralen deutschen Informations- und Vernetzungsstelle für die Anpassung an den Klimawandel begrüßt. Kompetenzen und Aufgaben müssten klar definiert werden, um die Aufgabenteilung zwischen Bund und Ländern klarzustellen.

Frau Harnisch (BMU, Berlin) erläuterte, dass in der derzeitigen Evaluationsphase des „Nationalen Klimaschutzprogramms 2000“ auch die Frage nach einer angemessenen Verankerung der Notwendigkeit einer Nationalen Strategie zur Anpassung an Klimaänderungen auf der Tagesordnung steht.

Der Dialog zwischen den Akteuren der Anpassung soll im Rahmen des Kompetenzzentrums einen hohen Stellenwert einnehmen. In diesem Zusammenhang wurde die Frage diskutiert, ob zukünftige Treffen besser bereichsspezifisch oder -übergreifend durchgeführt werden. Ein Vorschlag sieht Veranstaltungen vor, in denen sowohl bereichsübergreifende als auch -spezifische Einheiten angeboten werden.

Der nächste Stakeholder-Workshop ist für Anfang 2006 geplant und fällt damit mit dem geplanten Start des Kompetenzzentrums zusammen.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

6.1 Vulnerable Regionen und Bereiche in Deutschland

In den Untersuchungen zur Vulnerabilität der einzelnen Bereiche (Kap. 4) hat sich immer wieder gezeigt, dass die Vulnerabilität gegenüber dem aktuellen und zukünftigen Klimawandel stark von der Ausgangssituation abhängig ist. Oft steht eine Region bzw. ein Bereich schon heute unter Druck. So können 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 negativen Auswirkungen des Klimawandels und sind in hohem Maße mitverantwortlich für die regionale Differenzierung von Vulnerabilität.

Wie vulnerabel eine Region bzw. ein Bereich gegenüber dem Klimawandel bewertet wird, hängt neben der Prädisposition im Wesentlichen von drei Faktoren ab (siehe Kap. 1.3.3):

- 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?
- 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 Schaden mindern oder günstige Gelegenheiten nutzen.

Wird der momentane Anpassungsgrad in die Zukunft projiziert, ergibt sich eine Vulnerabilität *ohne* weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario). Diese Vulnerabilität wird auch als aktuelle Vulnerabilität bezeichnet. Bei der Bestimmung dieser Vulnerabilität wird angenommen, dass über die bereits bestehenden Maßnahmen (z.B. im Hochwasserschutz) in Zukunft keine weiteren Maßnahmen umgesetzt werden. Unter dieser Annahme werden die zukünftigen Schadensrisiken aufgrund des Globalen Wandels auf einer dreistufigen qualitativen Skala (geringe – mäßige – hohe Vulnerabilität) abgeschätzt. Hier wird also ein Eindruck davon vermittelt, welche Schäden in Deutschland zu erwarten sind, wenn keine weitere Anpassung an den Klimawandel erfolgt.

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 qualitativer Eindruck der Schäden aufgrund des Globalen Wandels (v.a. des Klimawandels) mit und ohne weitere Anpassungsmaßnahmen.

Fasst man die Ergebnisse zur Vulnerabilität ohne weitere Maßnahmen (Ohne-Maßnahmen-Szenario) der einzelnen Bereiche (Kap. 4) zusammen und gliedert sie nach Regionen (Naturräume, Abb. 6-1), 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. 6-1). Die geringste Vulnerabilität zeigen die deutschen Mittelgebirge und Nordwestdeutschland. Von den Bereichen erweisen sich vor allem die Bereiche Wasser, Gesundheit und Wintersporttourismus als hoch vulnerabel.

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). Allerdings sind in den meisten Bereichen und Regionen solche Anpassungs-

sungsmaßnahmen an den Klimawandel weder in Planung noch umgesetzt. Hier besteht demnach großer Handlungsbedarf.

6.1.1 Regionen

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.

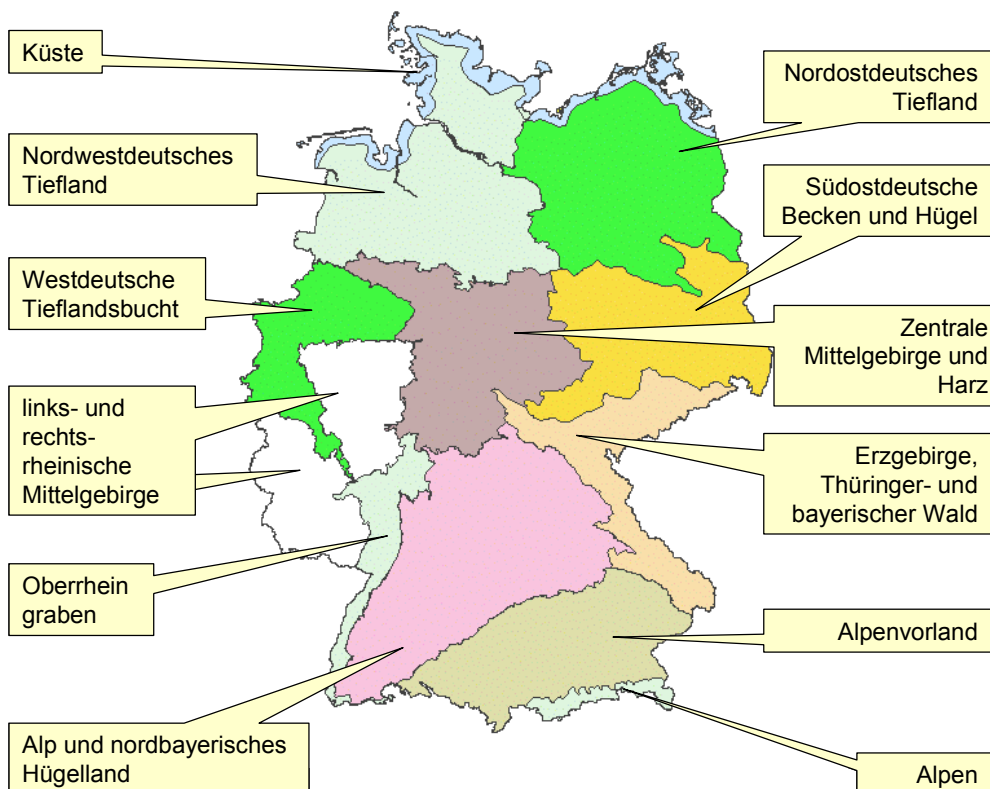


Abb. 6-1: Gliederung Deutschlands in Naturräume (aggregiert aus BFN, 2005).

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.

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. 6-1 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.

6.1.2 Bereiche

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“.

Tab. 6-1: 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, 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⁾	-	--?	--	-	-	-
Ober rheingraben	--	-	-	--	-/- -? ⁽²⁾	--	--?	k.A.	-	-	--
Alp und nordbayerisches Hügelland	--	-	-	-	-/- -? ⁽²⁾	-	--?	--	-	-	-
Alpenvorland	--	-	-	--	-/- -? ⁽²⁾	-	--?	k.A.	-	-	-
Alpen	--	~	~	-	--	~	-?	--	-	-	--
Deutschland gesamt	--	-	-	-	-/- -? ⁽²⁾	-	--?	--	-	-	-

Bewertung:
-- hohe Vulnerabilität
- mäßige Vulnerabilität
~ geringe Vulnerabilität
? Hohe Unsicherheit bzw. Schwierigkeit bei der Einschätzung
k.A. keine Angaben

Bewertung „alle Bereiche“:
hohe Vulnerabilität, wenn mehr als 2 Bereiche hoch
mäßige Vulnerabilität, wenn 1-2 Bereiche hoch
geringe Vulnerabilität, wenn kein Bereich hoch
(„halbe“ Bereiche zählen nur halb)
Bewertung „Deutschland gesamt“: Mittelwert

(1) Sturmfluten und Meeresspiegelanstieg
(2) Vulnerabilität abhängig von Schutzziel.
- Schutz des Status Quo: hohe Vulnerabilität
- Prozessschutz: mäßige Vulnerabilität

Die *Landwirtschaft* ist vor allem von Trockenheit im Sommer betroffen. Indirekt steigt durch den Klimawandel auch die Gefahr von Schädlingsbefall und Krankheiten. Allerdings kann sich die Landwirtschaft aufgrund der umfangreichen Auswahl an Fruchtarten und Sorten und der kurzen Umtriebszeiten relativ kurzfristig an veränderte Klima- und Wetterbedingungen anpassen und hat dies in der Vergangenheit auch immer wieder getan. 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 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 Frostage). 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). Anschließend 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.

6.2 Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland

6.2.1 Anpassung und Emissionsminderungen

Rate und Ausmaß des Klimawandels im 20. Jahrhundert sind einzigartig, und in der Wissenschaft herrscht mittlerweile große Einigkeit, dass der größte Teil des Klimawandels auf menschliche Aktivitäten, insbesondere die Emission von Treibhausgasen zurückzuführen ist (siehe Kap. 1). Langjährige Reihen der Wetteraufzeichnung belegen, dass auch Deutschland bereits heute vom Klimawandel betroffen ist (siehe Kap. 3), und es ist wahrscheinlich, dass sich in Zukunft noch deutlichere Auswirkungen des Klimawandels zeigen werden, auf die Deutschland bisher kaum vorbereitet ist (siehe Kap. 4 und 6.1).

Um die Vulnerabilität für die Auswirkungen des Klimawandels zu reduzieren, müssen daher sowohl Anpassungsmaßnahmen an die Auswirkungen des Klimawandels als auch Emissionsminderungen zur Beseitigung der Ursachen des Klimawandels 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 ist zur langfristigen Minderung der Vulnerabilität die Verringerung der Treibhausgasemissionen unabdingbar; denn nur so kann einer weiteren Aufheizung des Weltklimas entgegenge wirkt werden, die letztlich die Anpassungsfähigkeit Deutschlands und der Welt übersteigen würde. Anpassungsmaßnahmen und Emissionsminderungen stellen also keine Alternativen dar, sondern müssen parallel durchgeführt werden.

6.2.2 Anpassung als Aufgabe für die Risikokommunikation

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 auch Kap. 4 und 5).

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 – eine Aufgabe für die Kommunikation.

Bestehendes Bewusstsein des Klimawandels nutzen

Obwohl in Deutschland momentan vor allem Emissionsminderungen als notwendige Reaktion auf den Klimawandel wahrgenommen wird, kann die dieser Wahrnehmung zugrunde liegende Überzeugung von der Existenz eines Klimawandels als Grundlage für Kommunikationsmaßnahmen zur Förderung der Klimaanpassung genutzt werden. Gerade im internationalen Vergleich zeigt sich in Deutschland ein hohes gesellschaftliches Bewusstsein eines Klimawandels. Dieses Bewusstsein beschränkt sich nicht auf einen *globalen* Klimawandel, sondern beinhaltet bereits die Überzeugung von *lokalen* Auswirkungen in Deutschland, was sich v.a. bei der Elbeflut 2002 und der Hitzewelle 2003 zeigte. Dieses bestehende Bewusstsein muss jedoch ergänzt werden um die Aussage, dass nicht nur Emissionsminderungen, sondern auch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel notwendig sind. Das Argument, dass Emissionsminderungen nur langfristig wirksam sind, und daher kurz- und mittelfristig Anpassungsmaßnahmen hinzukommen müssen, ist hier sehr hilfreich.

Dabei sollte jedoch immer betont werden, dass es um ein Sowohl-Als-Auch und nicht um ein Entweder-Oder von Emissionsminderungen und Klimaanpassung geht. Wo Synergien zwischen beiden Bereichen bestehen, sollten diese herausgestellt werden, wie z.B. im Bereich

der Gebäudeisolation, die sowohl den Energieverbrauch senkt als auch vor Hitzewellen schützt.

Extreme Wetterereignisse als Aufmerksamkeitsfenster nutzen

Anpassung an ein Risiko kann als Prozess gesehen werden, an dessen Anfang ein Risikobewusstsein steht. Oft kann dieses Risikobewusstsein nicht durch Kommunikationsmaßnahmen ausgelöst werden, die ausschließlich von potenziellen Risiken in der Zukunft künden. Ein entscheidender Auslöser für die Entstehung eines Risikobewusstseins sind extreme Ereignisse, die das Risiko sozusagen beispielhaft veranschaulichen.

Derartige extreme Ereignisse, die sich mit dem Klimawandel in Verbindung lassen, waren in Deutschland bisher vor allem die bereits erwähnte Elbeflut im Sommer 2002, die Hitzewelle im Sommer 2003 und sogar der fiktive Kollaps des nordatlantischen Golfstroms in dem Film „The Day after Tomorrow“. Diese Ereignisse wurden in den Medien stark mit dem Klimawandel und der Notwendigkeit zur Minderung der Treibhausgasemissionen in Verbindung gebracht.

Extreme Wetterereignisse stellen aber auch Aufmerksamkeitsfenster dar, um für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu werben. Außer im Zusammenhang mit extremen Wetterereignissen sind Aufmerksamkeitsfenster für das Thema Klimawandel aufgrund der derzeitigen wirtschaftlichen und sozialen Probleme in Deutschland kaum vorhanden.

Voraussetzung für die Nutzung von extremen Wetterereignissen als „Aufhänger“ für Kommunikationsmaßnahmen zur Förderung der Klimaanpassung ist aber, dass die dafür notwendigen Kommunikationskonzepte bereits vorbereitet „in der Schublade“ liegen. Die Konzeptentwicklung erst nach dem Ereignis würde zu viel Zeit in Anspruch nehmen, so dass die Kommunikationsmaßnahmen erst dann realisiert werden könnten, wenn sich das Aufmerksamkeitsfenster bereits wieder geschlossen hat.

Konzepte sollten jedoch nicht nur für Kommunikationsmaßnahmen vorgehalten werden. Da sich im Anschluss an extreme Wetterereignisse auch oft ein Aktionismus zeigt, in dem Entscheidungsträger nach notwendigen Maßnahmen suchen, sollten auch möglichst schnell umsetzbare Konzepte für konkrete Anpassungsmaßnahmen vorgehalten werden. So können die Aufmerksamkeitsfenster auch zu Gelegenheitsfenstern für Entscheidungen werden, die im Alltagsgeschäft, in dem andere Probleme weit höhere Priorität haben, sehr viel mehr Zeit in Anspruch nehmen würden.

Vertrauen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft fördern

Aber Anpassung an den Klimawandel sollte nicht nur die Anpassung an vergangene Ereignisse sein. Da der Klimawandel weiter voranschreitet, würde die ausschließliche Anpassung an bereits eingetretene Ereignisse immer hinter den Klimaveränderungen und ihren Auswirkungen zurückbleiben. So sollte beispielsweise die Vorbereitung auf Hitzewellen nicht ausschließlich in den von der Hitzewelle 2003 betroffenen Gebieten stattfinden. Vor dem Hintergrund wissenschaftlicher Klimaszenarien sind solche Hitzewellen auch in anderen Regionen Deutschlands möglich. Nur wenn die reaktive zu einer proaktiven Maßnahmenplanung und -umsetzung (!), die auch Ergebnisse von Zukunftsszenarien berücksichtigt, verändert wird, lassen sich größere Schäden durch den Klimawandel in Zukunft verhindern.

Zwar ist das Vertrauen gegenüber Analysen vergangener Entwicklungen oft größer als gegenüber Szenarien der Zukunft, jedoch kann dieses Vertrauen durch die Förderung des Vertrauens in die Wissenschaftler, die diese Szenarien berechnen, gestärkt werden. Dazu sind persönliche Kontakte zu den Wissenschaftlern oft hilfreich. Da in den Medien bereits einige Wissenschaftler immer wieder zu Rate gezogen, sollten diese dafür gewonnen werden, als notwendige Reaktionen auf den Klimawandel nicht nur die Reduzierung der Treibhausgasemissionen sondern gleichzeitig auch Anpassungsmaßnahmen zu fordern.

Zusammenhang des Klimawandels mit aktuellen gesellschaftlichen Problemen betonen

Bereits im Zusammenhang mit der Empfehlung, Wetterextreme als Aufmerksamkeitsfenster für Kommunikationsmaßnahmen zur Förderung der Klimaanpassung zu nutzen, wurde betont, dass andere Probleme in Deutschland (Arbeitslosigkeit, demographische Entwicklung, Umbau des Sozialstaates, Wirtschaftswachstum etc.) die öffentliche und politische Diskussion bestimmen.

Viele potenzielle Auswirkungen des Klimawandels haben einen direkten Bezug zu diesen Problemen. Im Anschluss an die Elbeflut 2002 musste eine wirtschafts- und arbeitsmarktfördernde Steuerreform um ein Jahr verschoben werden, um die staatlichen Schadensausgleichszahlungen gegenzufinanzieren. In Zeiten hoher Temperaturen sinkt die Arbeitsproduktivität und steigt die Sterblichkeit von Alten und Kranken in Gebäuden, in denen keine temperatursenkenden baulichen Vorkehrungen getroffen wurden. Durch die potenzielle Zunahme vektorbasierter Krankheiten (z.B. Borreliose) entstehen Arbeitsausfälle und Behandlungskosten, die das Gesundheitssystem weiter belasten (siehe Kap. 4.5).

Aber auch Chancen ergeben sich. So kann die Produktivität in Land- und Forstwirtschaft eventuell gesteigert werden (siehe Kap. 4.2 u. 4.3). Wachstum erscheint auch im Tourismusbereich vor allem an den Küsten von Nord- und Ostsee möglich, wenn die Badetourismusströme von der im Sommer zu heißen Mittelmeerregion nach Alternativen suchen (siehe Kap. 4.6).

Wenn diese Zusammenhänge zwischen der Anpassung an den Klimawandel und den Problemen und Herausforderungen, die aktuell höhere gesellschaftliche Aufmerksamkeit genießen, deutlich aufgezeigt werden, erscheint die Schaffung eines Bewusstseins von der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel auch außerhalb des Kontextes von Wetterextremen möglich.

Synergien der Anpassung an den Klimawandel mit anderen Problemfeldern nutzen

In engem Bezug zum vorherigen Punkt steht die Empfehlung, Synergien mit anderen Problemfeldern zu nutzen. Dies können zum einen die Problemfelder sein, die aktuell hohe Aufmerksamkeit in Deutschland genießen (Arbeitslosigkeit etc.), zum anderen gibt es insbesondere im Vorsorgebereich viele Problemfelder, die aktuell geringe Aufmerksamkeit genießen, diese Aufmerksamkeit aber angesichts der Bedrohungen eigentlich notwendig wäre. Manche dieser Probleme werden durch den Klimawandel weiter verschärft. Als Beispiele sind die Hochwasservorsorge (siehe Kap. 4.1) und die Vorsorge gegen Borreliose (siehe Kap. 4.5) zu nennen. In diesen Bereichen bestünde auch ohne den Klimawandel hoher Handlungsbedarf, durch den Klimawandel wird er weiter vergrößert.

Konflikte mit diesen Vorsorgefeldern um Geld und Aufmerksamkeit sollten vermieden und die bestehenden Synergien genutzt werden. Ebenso sollten Konflikte mit Institutionen, die vor allem die Reduzierung der Treibhausgasemissionen unterstützen, vermieden und die Synergien zwischen Emissionsreduzierungen und Klimaanpassung (z.B. im Bereich der Gebäudeisolation s.o.) betont werden.

Risikokommunikation mit Kommunikation von Anpassungsmöglichkeiten koppeln

Ziel von Kommunikationsmaßnahmen von Risiken und Chancen des Klimawandels ist die Förderung von Anpassungsmaßnahmen. Eine Zunahme des Risikobewusstseins schlägt sich aber nur dann positiv in einer verstärkten Absicht zur Risikovorsorge bzw. Anpassung nieder, wenn auch Anpassungsmöglichkeiten gesehen werden. Wer keine Möglichkeiten der Anpassung wahrnimmt, wird auch durch noch so starke Risikoinformationen nicht zum Anpassungshandeln gebracht. Stattdessen zeigt sich Verdrängung („Es wird schon nichts passieren.“), Fatalismus („Was passieren wird, passiert – ich kann nichts dagegen tun.“) oder das Abschieben der Verantwortung auf Andere („Der Staat muss sich darum kümmern.“) (Grothmann & Patt, 2005).

Daher sollte die Kommunikation von Risiken des Klimawandels immer mit der Kommunikation konkreter und möglichst wenig aufwändiger Anpassungsmöglichkeiten gekoppelt sein. Will man beispielsweise die Eigenvorsorge von Bewohnern hochwassergefährdeter Gebiete stärken, werden die nach der Elbeflut häufig geforderten flächendeckenden Hochwasserrisikokarten kaum ausreichen; denn von dem Risiko zu wissen und dieses wahrzunehmen, heißt für die Betroffenen nicht zwangsläufig, auch vorbeugende Maßnahmen gegen Hochwasserschäden zu ergreifen.

Katastrophismus vermeiden

Eng mit dem eben behandelten Punkt zusammenhängend: Die Darstellung der Folgen des Klimawandels sollte nicht im Sinne eines „Katastrophismus“ erfolgen, da eine zu hohe Risikowahrnehmung die Schadensvorsorge hemmen und wiederum problemabgewandte Reaktionen wie Verdrängung, Fatalismus und das Abschieben von Verantwortung fördern kann; denn auch hier werden keine Anpassungsmöglichkeiten gesehen. Im Falle der Befürchtung von Folgen katastrophalen Ausmaßes ist die fehlende Wahrnehmung von Anpassungsmöglichkeiten sogar oft berechtigt. Drastische Fallbeispiele einer möglichen Katastrophe erzeugen eher Gefühle der Angst, Hilflosigkeit und Überforderung, in anderen Fällen auch Abwehr, wirken also handlungslähmend, anstatt die Anpassung zu stimulieren. Filme wie der ‚Klimaschocker‘ „The Day after Tomorrow“, der das Versinken der Nordhalbkugel in einer neuen Eiszeit in Folge des Kollapses des nordatlantischen Golfstromes beschreibt, sind zur Förderung von Anpassungsmaßnahmen daher eher kontraproduktiv, zur Unterstützung von Emissionsminderungen evtl. dienlich. Und auch im Zusammenhang mit extremen Wetterereignissen, die – wie oben beschrieben – als Aufmerksamkeitsfenster für das Thema Anpassung an den Klimawandel genutzt werden können, sollten Kommunikationsinhalte vermieden werden, die eine weitere Verschlimmerung von Wetterextremen betonen, ohne dabei mögliche Vorsorgemaßnahmen zu nennen.

Vorbilder schaffen

Kommunikation von Risiken und Anpassungsmöglichkeiten muss nicht nur als reine Informationsvermittlung erfolgen. Eine oft sehr viel wirksamere Form der Kommunikation sind Vorbilder. Insbesondere zur Kommunikation möglicher und umsetzbarer Anpassungsmaßnahmen sind Vorbilder ein sehr gutes Mittel. So wie Wetterextreme zur Veranschaulichung von Risiken des Klimawandels dienen können, sind Vorbilder vollzogener Anpassung an den Klimawandel zur Veranschaulichung möglicher Anpassungsmaßnahmen geeignet.

Derartige Vorbilder bestehen in Ansätzen bereits in Deutschland in verschiedenen Bundesländern und Bereichen (siehe Kap. 4), außerhalb Deutschlands sind Anpassungsmaßnahmen schon weiter vorangeschritten (z.B. in Großbritannien). Auf diese Vorbilder in Kommunikationsmaßnahmen besonders aufmerksam zu machen, vermittelt neben dem Eindruck möglicher Anpassungsmaßnahmen und einer Anpassungsnotwendigkeit auch einen gewissen Konkurrenzdruck.

Unsicherheit offen kommunizieren

Im gesamten vorliegenden Bericht wird die Unsicherheit der Auswirkungen des Klimawandels immer wieder mit Begriffen wie „potenzielle“ Auswirkungen oder „Szenarien“ (nicht Prognosen!) deutlich gemacht. In den nächsten Abschnitten wird das Thema Unsicherheit ausführlich behandelt: die Quellen der Unsicherheit und die damit zusammenhängende Tatsache, dass Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels immer mit Unsicherheit behaftet sein werden, auch bei weiterer Verfeinerung der wissenschaftlichen Methoden (siehe 6.2.3), und es werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie man trotz der Unsicherheit zu begründeten Anpassungsentscheidungen kommen kann (siehe 6.2.4). An dieser Stelle soll es zunächst nur um die besondere Herausforderung gehen, welche die Unsicherheit der Auswirkungen des Klimawandels an Kommunikationsmaßnahmen zur Förderung von Anpassungsmaßnahmen stellt.

Zwar existiert bei vielen Bürgern und Entscheidungsträgern das Bedürfnis nach sicheren Aussagen und klaren Diagnosen mit ebenso klaren Therapieempfehlungen. Offenbar scheint diese Erwartung insbesondere an die Gruppe der Naturwissenschaftler gestellt zu werden, zu denen auch die Klimaforscher zählen. Andererseits wird die Unsicherheit der Zukunft in ande-

ren Lebensbereichen wie selbstverständlich akzeptiert und entsprechende Vorsorgemaßnahmen (z.B. in Form von Versicherungen) getroffen. Mitunter findet sich sogar ein recht entspannter und bewusster Umgang mit Unsicherheit.

An diesen normalen Umgang mit Unsicherheit sollte die Kommunikation der unsicheren Auswirkungen des Klimawandels und trotzdem notwendiger Anpassungsmaßnahmen appellieren. Unsicher sind die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels ebenso wie eine zukünftige Krankheit. So wie man im Sinne des Vorsorgeprinzips das Krankwerden zu vermeiden sucht, sollte auch eine Vorsorge für die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels getroffen werden. Es sollte dabei auch betont werden, dass die Auswirkungen nicht vollkommen unsicher, sondern nur innerhalb gewisser Spannen unsicher sind.

Auf die Kommunikation der Unsicherheiten des Klimawandels zu verzichten, stellt keine Alternative dar; denn dies führt langfristig zur Unglaubwürdigkeit, wenn konkrete Vorhersagen nicht eintreffen. Dass ein transparenter Umgang mit Unsicherheit die Glaubwürdigkeit einer Institution sogar erhöhen kann, zeigt das Beispiel der Bank of England. Diese ist für die transparente Kommunikation bestehender Unsicherheiten in ihren Prognosen der Wirtschafts- und Währungsentwicklung bekannt und ist gleichzeitig die Organisation mit der höchsten Glaubwürdigkeit in England.

6.2.3 Anpassung als Entscheiden unter Unsicherheit

Die Schaffung eines Bewusstseins möglicher Auswirkungen des Klimawandels, um das es im vorherigen Abschnitt vor allem ging, kann 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, wiederum zur Herausforderung.

Zwar bedeutet diese Unsicherheit nur eine Erweiterung der ohnehin schon großen Gruppe unsicherer Randbedingungen (z.B. ökonomische und politische Entwicklung), mit denen Entscheidungsträger in ihren Entscheidungen in der Regel umgehen müssen. Entscheidungen unter Unsicherheit sind für die meisten Entscheidungsträger also keine Neuheit, sondern der Normalfall. Dennoch stellt der Klimawandel aufgrund seiner zum Teil sehr großen Unsicherheitsspannen, die bisweilen von äußerst negativen bis zu positiven Auswirkungen reichen können, eine besondere Herausforderung dar.

Unglücklicherweise steigen die Unsicherheiten mit der Bedeutsamkeit der Auswirkungen an (siehe Abb. 6-2). So sind z.B. die Spannen der Ausprägungen möglicher Niederschlagsveränderungen, die für die Wasser-, Land- und Forstwirtschaft extrem bedeutsam sind, unsicherer als die zu erwartenden Temperaturerhöhungen.



Abb. 6-2: Zunahme der Unsicherheiten mit der Bedeutsamkeit der Auswirkungen des Klimawandels.

Jedoch auf weniger unsichere Ergebnisse zu warten, bevor man Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel vornimmt, wäre zum einen im Sinne des Vorsorgeprinzips eine unverantwortliche Strategie, denn der Klimawandel und seine Auswirkungen warten mit ihrem Eintreten nicht bis zu dem Zeitpunkt, an dem sie genau verstanden werden. Zum anderen wäre das Warten auf weniger unsichere Ergebnisse eine trügerische Hoffnung; denn auch bei weiterer Verfeinerung der wissenschaftlichen Methoden, werden die Ergebnisse in Zukunft unsicher bleiben. Die den Klimawandel entscheidend verursachenden zukünftigen Treibhausgasemissionen und die nur zum Teil bekannten Reaktionen des Klimasystems auf diese Emissionen werden Quellen der Unsicherheit bleiben, wobei die durch die unsicheren Treibhausgasemissionen verursachte Unsicherheit durch langfristige (!) international bindende Verträge und die Unsicherheiten in den Reaktionen des Klimasystems durch verbesserte regionale Modellierungsansätze reduzierbar wären.

Auch der von einigen politischen Akteuren in Deutschland vorgeschlagene alternative Weg, sich auf ein einziges Emissionsszenario und ein Klimamodell zu einigen und dadurch die Unsicherheitsspannen in den Ergebnissen zu den Auswirkungen des Klimawandels zu reduzieren, ist im Sinne des Vorsorgeprinzips eine sehr gefährliche Strategie; denn letztlich fehlt das Wissen für eine derartige Auswahl, die zum Ausblenden bestimmter möglicher Worst-Case-Entwicklungen führen kann. Um sowohl den bestehenden Unsicherheiten in den zukünftigen Treibhausgasemissionen als auch im wissenschaftlichen Wissen über das Klimasystem Rechnung zu tragen, wurden beide Quellen der Unsicherheit in der vorliegenden Studie durch Verwendung verschiedener Emissionsszenarien und Klimamodelle explizit berücksichtigt (siehe Kap. 2), so dass sich für die verschiedenen berechneten Indikatoren jeweils Spannen von Werten ergeben.

Dass die Unsicherheit der Auswirkungen des Klimawandels oft zu einem entscheidenden Hindernis von Anpassungsmaßnahmen wird, wurde auch in den Befragungen mit Experten aus Fachressorts der Bundesländer (siehe Kap. 4), in den vom Umweltbundesamt durchgeführten Klimafachgesprächen und in dem Stakeholder-Workshop im Rahmen dieser Studie (siehe Kap. 5) deutlich. Dabei stellte sich heraus, dass Wissen über systematische und bewusste Strategien zum Entscheiden unter Unsicherheit vielerorts fehlt und daher die bereits beschriebenen Strategie des Wartens auf weniger unsichere Studien oder automatische psychologische Mechanismen (Wunschdenken, Verdrängung des Risikos, „die Wahrheit liegt irgendwo in der Mitte“ etc.) zum Tragen kommen.

So scheint ein Unterstützungsbedarf hinsichtlich der Frage zu bestehen, wie man trotz der bestehenden Unsicherheiten zu fundierten Anpassungsentscheidungen gelangen kann. Diesem Bedarf wird im folgenden Abschnitt entsprochen. Hier wird ein konkret für die Unsicherheitsproblematik des Klimawandels entwickeltes Entscheidungsunterstützungssystem vorgestellt, welches darüber hinaus den gesamten Prozess von der Klärung eigener Ziele und Interessen über die Wahl von Anpassungsmaßnahmen bis hin zu deren Umsetzung und Überwachung beschreibt.

6.2.4 Stufenkonzept zur Anpassung an den Klimawandel

Die vorliegende Studie kann nur einen groben Überblick über die Risiken und Chancen des Klimawandels und sinnvolle Anpassungsmaßnahmen liefern. Für Anpassungsentscheidungen in einer spezifischen Region Deutschlands oder einem bestimmten betroffenen Unternehmen stellt sie zwar hilfreiches, aber nicht hinreichendes Wissen zur Verfügung.

Zudem hängen Entscheidungen immer auch von den Zielen, Interessen und Wertvorstellungen der Entscheidungsträger ab. Vor allem die Auswirkungen des Klimawandels, aber auch die Anpassungsmaßnahmen können sehr unterschiedlich bewertet werden. So fiel in dieser Studie beispielsweise eine Einschätzung der Vulnerabilität des Bereichs Biodiversität und Naturschutz schwer, da sie im hohen Maße von Zielen des Schutzes der Biodiversität abhängt. Wenn man den Erhalt der Arten und der Artenvielfalt auf heutigem Niveau als Maßstab ansetzt, ist die Vulnerabilität als sehr hoch einzustufen; denn dieses Ziel wird sich aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels (insb. wegen der Verschiebung der Artenareale) und der fehlenden Gegenmaßnahmen nicht erreichen lassen. Wenn man bereit ist, eine Veränderung der Artenzusammensetzung zu akzeptieren, fällt die Bewertung der Vulnerabilität geringer aus.

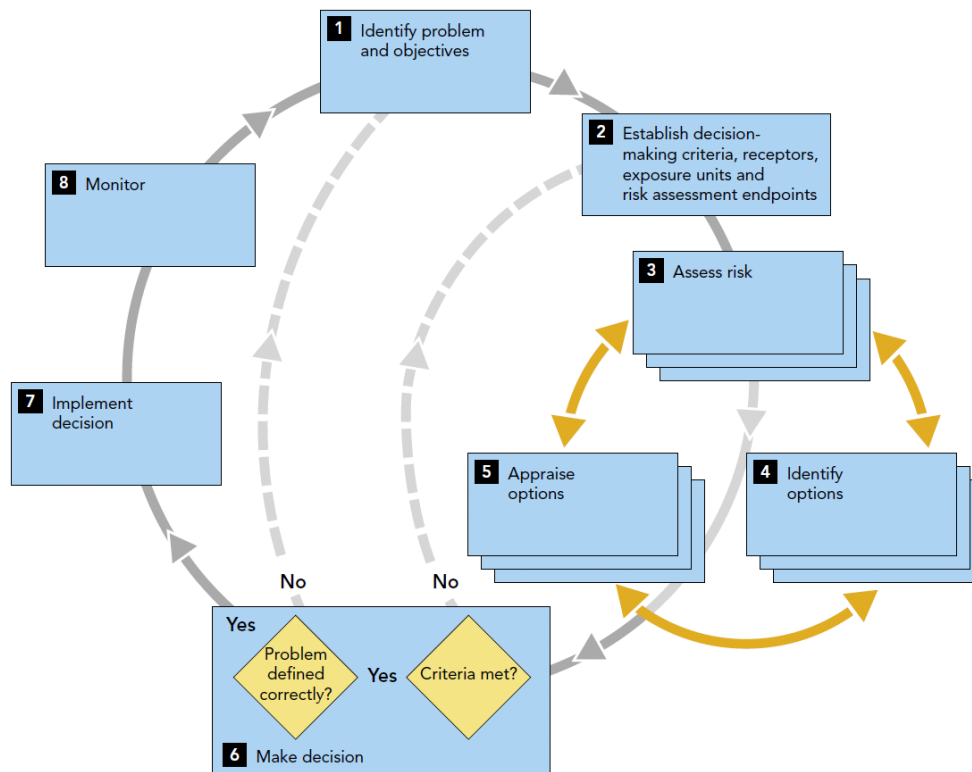


Abb. 6-3: Stufenkonzept für Entscheidungen zur Anpassung an den Klimawandel (aus Willows & Connell, 2003, S. 7).

So muss jeder Entscheider letztendlich für seinen spezifischen inhaltlichen und regionalen Aufgabenbereich den gleichen Prozess der Bewertung von Auswirkungen des Klimawandels und sinnvollen Anpassungsmaßnahmen nochmals durchlaufen, der in dieser Studie von Wissenschaftlern für verschiedene klimasensitive Bereiche in ganz Deutschland beschrieben wurde.

Und ein Entscheidungsträger muss noch darüber hinaus gehen; denn er muss trotz der bestehenden Unsicherheiten in den konkreten Auswirkungen des Klimawandels zu Anpassungsentscheidungen kommen, diese umsetzen und ihren Erfolg bewerten.

Um diesen Entscheidungsprozess zu strukturieren – unter besonderer Berücksichtigung der Unsicherheiten in den Auswirkungen des Klimawandels –, hat das United Kingdom Climate Impact Programme (UKCIP) ein 8-stufiges Entscheidungsunterstützungssystem entwickeln lassen (siehe Abb. 6-3). Dieses Stufenkonzept soll im Folgenden überblicksartig dargestellt werden – mit konkreten Bezügen zu den Methoden und Ergebnissen der vorliegenden Studie, um die Möglichkeiten ihrer Integration in den Entscheidungsablauf deutlich zu machen. Eine detaillierte Darstellung, die für jeden Entscheidungsschritt konkrete Leitfragen, Methoden und Techniken benennt, findet sich in Willows und Connell (2003).

Allgemeine Merkmale des Entscheidungskonzeptes

Das Entscheidungskonzept, welches für Entscheidungen in Verwaltungen und Unternehmen ebenso geeignet ist wie für Entscheidungen in Nichtregierungsorganisationen oder Privathaushalten, stellt einen *flexiblen* Ansatz für Entscheidungen zur Anpassung an die unsicheren Folgen des Klimawandels dar:

- Es ist *kreisförmig*. Umsetzungen von Anpassungsentscheidungen sollten im Lichte neuer Erkenntnisse überprüft und ggf. neue Anpassungsentscheidungen getroffen werden.
- Es enthält *Feedback- und Wiederholungsschleifen*: Um auch während eines einmal begonnenen Entscheidungsprozesses neue Erkenntnisse berücksichtigen zu können, die vorherige Entscheidungsschritte betreffen, enthält das Entscheidungssystem an verschiedenen Stellen Feedback-Schleifen auf frühere Entscheidungsschritte. Diese Wiederholungen sind wichtig, um in dem unbekannten Entscheidungsgebiet der Anpassung an den Klimawandel zu robusten Entscheidungen zu kommen.
- Einzelne Entscheidungsschritte (3, 4 und 5) sind *abgestuft*: Vor detaillierten Analysen von Risiken, Chancen und Anpassungsmaßnahmen hat der Entscheidungsträger die Möglichkeit, diese oberflächlich einzuschätzen und erst bei Bewertungen als wichtig oder geeignet mit genaueren Analysen fortzufahren.

Das Entscheidungskonzept betont die Wichtigkeit der Berücksichtigung der Interessen von *Stakeholdern und betroffenen Gruppen*. Wo es möglich ist, sollten diese aktiv am Entscheidungsprozess beteiligt werden. Neben anderen Vorteilen verringert die Beteiligung von Stakeholdern und Betroffenen die Gefahr, wichtige Auswirkungen des Klimawandels und Umsetzungs Hindernisse von Anpassungsmaßnahmen zu übersehen. Außerdem lassen sich so Differenzen in Wertvorstellungen und Interessen identifizieren und nachhaltige Lösungen finden, die als Kompromisslösungen von einer großen Gruppe mitgetragen werden. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass Betroffene auch unliebsame Entscheidungen mittragen, wenn sie an der Entscheidungsbildung beteiligt waren.

Schritt 1: Problem- und Zielbestimmung

In dem ersten Schritt des Entscheidungsverfahrens werden die Art des Entscheidungsproblems, die Ziele der Entscheidung und der weitere Entscheidungskontext bestimmt. Der Entstehungszusammenhang eines Problems bestimmt oftmals den Weg der Entscheidung mit. Anlässe für Entscheidungen können z.B. Entwicklungen eines neuen Produktes oder Projektes, Veränderungen in Gesetzen oder Verordnungen, reguläre Überprüfungen vorhandener Maßnahmen, Druck von Interessengruppen oder auch Informationen zu den Folgen des Klimawandels sein.

So kann der Klimawandel der entscheidende Auslöser des Entscheidungsprozesses sein. Ebenso kann der hauptsächliche Auslöser ein anderer sein, und der Klimawandel spielt nur eine untergeordnete Rolle.

Die Entscheidungsziele können die Form von Schutzzielen haben. Die Bedeutung von Schutzzielen für die Bewertung des Klimawandels im Bereich Biodiversität und Naturschutz wurde bereits zur Genüge deutlich gemacht. Dieselbe Problematik stellt sich jedoch auch in anderen Bereichen, z.B. in der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft und im Tourismus. Wenn das Schutzziel der Erhalt der heutigen Kulturlandschaften mit ihren gegenwärtigen Arten- und Sortenspektren ist, so ergibt sich eine weit negativere Bewertung des Klimawandels, als wenn das Ziel der Erhalt oder die Schaffung vielfältiger Landschaften ist.

Auch und gerade bei der Festlegung von Entscheidungszielen sollten die Interessen von Stakeholdern und betroffenen Gruppen mitberücksichtigt, wo möglich, sollten sie aktiv am Entscheidungsprozess beteiligt werden.

Sofern Unsicherheit besteht, sollte das Entscheidungsproblem so offen wie möglich definiert werden, so dass Entscheidungsoptionen nicht bereits an früher Stelle des Entscheidungsprozesses ausgeblendet werden.

Schritt 2: Festlegung von Entscheidungskriterien, der betroffenen Systeme und von Endpunkten der Risikobewertung

Die breit formulierten Entscheidungsziele aus Schritt 1 (z.B. Reduzierung der Auswirkungen von Hitzewellen) werden im zweiten Schritt des Entscheidungsverfahrens in operationelle Entscheidungskriterien (z.B. Reduzierung der Todesfälle aufgrund von Hitzewellen um 50% ggü. 2003 bis zum Jahr 2010) überführt, die als Maßstäbe der Risiko- und Maßnahmenbeurteilung geeignet sind.

Weiterhin sollte der Entscheidungsträger – ggf. zusammen mit einem Risiko-Analysten, der in vielen Fällen die Risiko- und Maßnahmenbewertung in den Schritten 3 bis 5 übernehmen wird – als Vorbereitung auf diese Bewertung Folgendes festlegen:

- betroffene Systeme, um die es in der Risiko- und Maßnahmenbewertung gehen soll (engl.: Exposure units; z.B. eine Region, ein Unternehmen)
- repräsentative Einheiten dieser Systeme (engl.: Receptors; z.B. eine bestimmte sensitive Spezies, eine bestimmte Bevölkerungsgruppe)
- Endpunkte der Risiko- und Maßnahmenbewertung (engl.: assessment endpoints; z.B. 90%ige Wahrscheinlichkeit für die Reduzierung der Todesfälle aufgrund von Hitzewellen um 50% ggü. 2003 bis zum Jahr 2010)

Schritt 3: Risiken- und Chancenabschätzung

Die Risiken und Chancen, die sich durch den Klimawandel und andere Entwicklungen ergeben, werden im dritten Schritt des Entscheidungsablaufs geklärt. Im Unterschied zu dem Stufenkonzept von Willows und Connell (2003) wird hier vorgeschlagen, dass neben Risiken auch potenzielle Chancen berücksichtigt werden; denn auch für diese müssen Entscheidungen über Anpassungsmaßnahmen gefällt werden, damit die Chancen genutzt werden können (Beispiel: Chance zahlreicherer Sommertouristen an Nord- und Ostsee aufgrund zu hoher Temperaturen am Mittelmeer).

Die Risiken- und Chancenabschätzung hat mehrere Stufen. Vor der detaillierten Analyse wird empfohlen, Risiken und Chancen oberflächlich einzuschätzen und erst bei Bewertungen als wichtig mit genaueren quantitativen Analysen fortzufahren.

Szenarien potenzieller Auswirkungen des Klimawandels, wie sie in dieser Studie vorgestellt wurden (siehe Kap. 3, 4 und 6.1), sind eine entscheidende Informationsquelle für die Risiken- und Chancenabschätzungen. Zur qualitativen Identifizierung besonders wichtiger Risiken und Chancen, aber auch zur Aufdeckung unterschiedlicher Wertungen innerhalb eines Entscheidungsgremiums, kann die gleiche qualitative Bewertungsskala herangezogen werden, die auch in den innerhalb dieser Studie durchgeführten Befragungen zur Risiken- und Chanceneinschätzung Verwendung gefunden hat (sehr negativ – negativ – etwas negativ – weder pos. noch neg. – etwas positiv – positiv – sehr positiv; siehe Kap. 2.6). Beispiele für derartige Bewertungen in verschiedenen klimasensitiven Bereichen und Naturräumen Deutschlands finden sich in den Unterkapiteln von Kap. 4 jeweils in den Abschnitten „Auswirkungen des Klimawandels – Einschätzungen regionaler Experten“.

Schritt 4: Identifikation möglicher Anpassungsmaßnahmen

Im vierten Schritt des Entscheidungsverfahrens werden mögliche Anpassungsmaßnahmen identifiziert, um die in Schritt 3 identifizierten Risiken zu mindern und Chancen zu nutzen und die in Schritt 2 formulierten Entscheidungskriterien zu erfüllen.

Insbesondere sollte der Entscheider nach „no-regret“- und „low-regret“-Optionen suchen. Bei diesen Optionen existiert keine oder nur eine geringe Unsicherheit. Sie haben Vorteile unabhängig davon, welcher der vor dem Hintergrund des Klimawandels und anderer Entwicklungen möglich erscheinenden Zukunftszustände eintritt. In vielen Fällen werden solche Handlungsoptionen nicht zur Verfügung stehen und andere Entscheidungsregeln zur Anwendung kommen müssen.

Schritt 5: Bewertung der Anpassungsmaßnahmen

Die in Schritt 4 identifizierten Handlungsoptionen werden in Schritt 5 konkret bewertet. Zur Identifizierung der am meisten zu favorisierenden Handlungsoptionen können die gleichen Bewertungsdimensionen herangezogen werden, die auch in den innerhalb dieser Studie durchgeführten Befragungen zur Einschätzung von Anpassungsmaßnahmen Verwendung gefunden haben (siehe Kap. 2.6):

- *Wirksamkeit* der verschiedenen Maßnahmen hinsichtlich der Minderung von Risiken und Nutzung von Chancen des Klimawandels und hinsichtlich weiterer ökonomischer, sozialer und ökologischer Zielbereiche. Regel: „Wähle die Maßnahmen mit möglichst breiten

Wirkspektren; denn diese sind angesichts der evtl. nur zum Teil tatsächlich eintretenden Auswirkungen des Klimawandels am sinnvollsten.“

- *Bisheriger Umsetzungsgrad* der Maßnahmen. Oft sind Maßnahmen, die auch zur Anpassung an den Klimawandel geeignet sind, bereits aus anderen Gründen eingeführt und müssen nur an die durch den Klimawandel veränderten Bedingungen angepasst werden. Regel: „Wähle die Maßnahmen, die bereits teilweise umgesetzt sind; denn die Kosten der Maßnahmenumsetzung sind hier oft geringer als bei neu einzuführenden Maßnahmen.“
- *Aufwändigkeit und Hindernisse* der Maßnahmenumsetzung (finanziell, organisatorisch, legislativ, fehlendes Wissen u./od. andere Hindernisse). Hier sollten wiederum auch Stakeholder und betroffene Gruppen beteiligt werden, um die Akzeptanz der verschiedenen Maßnahmen zu eruieren. Regel: „Wähle die Maßnahme mit der geringsten Aufwändigkeit und den geringsten Hindernissen.“

Beispiele für die Bewertungen von Anpassungsmaßnahmen in verschiedenen klimasensitiven Bereichen und Bundesländern Deutschlands finden sich in den Unterkapiteln von Kap. 4 jeweils in den Abschnitten „Wirksamkeit, Umsetzungsgrad und Hindernisse der Anpassung – Einschätzungen regionaler Experten“.

Vor allem im Schritt 5 des Entscheidungsablaufs wird dem Problem der Unsicherheit der Auswirkungen des Klimawandels entsprochen. Hier ist ein Rückgriff auf die ökonomische Entscheidungstheorie notwendig. Sie unterscheidet zwei Arten von Entscheidungen unter Unsicherheit:

1. *Entscheidung unter Risiko*: Die Wahrscheinlichkeit für die möglicherweise eintretenden Umweltsituationen ist bekannt (Stochastisches Entscheidungsmodell).
2. *Entscheidung unter Ungewissheit*: Man kennt zwar die möglicherweise eintretenden Umweltsituationen, allerdings nicht deren Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Letzterer Fall gilt für die meisten der möglichen Folgen des Klimawandels; denn hier ergeben sich auf Basis verschiedener Emissionsszenarien und Klimamodelle Spannen von Auswirkungsgraden, ohne dass sich innerhalb dieser Spannen bestimmten Ausprägungsgraden größere Wahrscheinlichkeiten als anderen zuschreiben lassen. Damit sind Entscheidungen zur Anpassung an den Klimawandel zumeist Entscheidungen unter Ungewissheit. Für Entscheidungen unter Ungewissheit benennt die ökonomische Entscheidungstheorie Entscheidungsregeln, welche trotz der bestehenden Ungewissheit einen systematischen und begründeten Entscheidungsprozess erlauben. Diese sind in Box 6-1 aufgeführt.

Schritt 6: Entscheidung über Anpassungsmaßnahmen

Die Entscheidung darüber, welche Anpassungsmaßnahmen wann in welcher Form und Ausprägung umgesetzt werden sollen, wird in Schritt 6 getroffen.

Unter Umständen stellt sich als Ergebnis der Schritte 3 bis 5 heraus, dass die in Schritt 2 formulierten Entscheidungskriterien nicht hinreichend oder sogar unpassend sind, um eine Entscheidung zu fällen (z.B. weil unerwartete Risiken aufgetaucht sind). Dann müssen die Entscheidungskriterien überarbeitet werden und die Schritte 3 bis 5 im Sinne der neuen Kriterien erneut durchlaufen werden.

Gegebenenfalls wird in den Schritten 3 bis 5 sogar deutlich, dass das Entscheidungsproblem als solches unzureichend definiert wurde, so dass zu Schritt 1 des Entscheidungsprozesses zurückgegangen werden muss, um das Problem angemessener zu umreißen.

Schritt 7: Umsetzung der Anpassungsentscheidung

Im siebten Schritt werden die in Schritt 6 getroffenen Entscheidungen praktisch umgesetzt. Schritt 7 und 8 werden in dem Entscheidungskonzept von Willows und Connell (2003) nicht detailliert beschrieben. Jedoch finden sich in der organisations- und politikwissenschaftlichen Literatur hierzu viele Studien und Empfehlungen.

Grundsätzlich sinnvoll ist, wenn die Umsetzung konkreter Maßnahmen von Kommunikationsmaßnahmen begleitet wird, die sich an die allgemeine Öffentlichkeit richten. Sofern Unsicherheit eine große Rolle im Entscheidungsprozess gespielt hat, sollte diese Unsicherheit

offensiv kommuniziert werden, um einer öffentlichen Schuldzuweisung vorzubeugen, die bei Fehlschlägen der umgesetzten Maßnahmen im Sinne einer Über- oder Unteranpassung an den Klimawandel und andere Entwicklungen wahrscheinlich ist.

Box 6-1 – Regeln für Entscheidungen unter Ungewissheit (v. Zwehl, 1993)

MaxiMin-Regel (Wahl der Alternative mit dem maximalen Minimum) / Pessimismus-Prinzip: Nur das jeweils ungünstigste Ereignis wird betrachtet, welches bei Wahl einer bestimmten Anpassungsalternative in den möglichen Umweltzuständen eintreten kann. Verschiedene Anpassungsalternativen werden nur anhand ihrer jeweils schlechtesten Ergebnisse verglichen.

MaxiMax-Regel (Wahl der Alternative mit dem maximalen Maximum) / Optimismus-Prinzip: Jede Anpassungsoption wird nur anhand des Ergebnisses beurteilt, das beim jeweils für diese Alternative günstigsten Umweltzustand eintreten kann.

Kritik: Beide Regeln berücksichtigen nicht alle möglichen Ergebnisse einer Anpassungsalternative, sondern greifen nur jeweils das beste (MaxiMax) oder das schlechteste (MaxiMin) Ergebnis einer Alternative heraus.

Hurwicz-Regel: erlaubt Kompromisse zwischen pessimistischen und optimistischen Entscheidungsregeln, weil der Entscheidungsträger dabei seine persönliche und subjektive Einstellung durch den sogenannten Optimismusparameter zum Ausdruck bringen kann.

Kritik: Auch die Hurwicz-Regel betrachtet nicht alle möglichen Ergebnisse, sondern bewertet die Alternativen anhand eines gewichteten Mittelwerts ihres besten und ihres schlechtesten Ergebnisses.

Laplace-Regel: Alle möglichen Ereigniseintritte erhalten die gleiche Wahrscheinlichkeit. Die Alternative, die dann das beste Ergebnis verspricht, wird ausgewählt.

Savage-Niehans-Regel / Minimax-Regret-Regel: Die Beurteilung der Alternativen basiert nicht auf der unmittelbaren Grundlage der Ergebnisse, sondern auf entsprechenden Bedauernswerten. Man wählt diejenige Alternative, welche das potenzielle Bedauern minimiert, das man durch Unkenntnis des wahren Zustands der Welt erleiden kann (Regel des kleinsten Bedauerns).

Schritt 8: Evaluation der Maßnahmenumsetzung und -wirksamkeit

Um zu überprüfen, ob die Maßnahmenumsetzung wie geplant gelingt und die erhofften Wirkungen eintreten, sollte sie systematisch evaluiert werden. Um nicht nur die Wirksamkeit der Maßnahmen nach ihrer Umsetzung bestimmen (Wirkevaluation), sondern auch unerwartete Hindernisse bei der Umsetzung entdecken zu können, sollte eine Prozessevaluation durchgeführt werden.

Zur Evaluation können erneut die Bewertungsdimensionen herangezogen werden, die bereits in Schritt 5 zum Einsatz kamen:

- *Wirksamkeit* der Maßnahmen hinsichtlich der Minderung von Risiken und Nutzung von Chancen des Klimawandels und hinsichtlich weiterer ökonomischer, sozialer und ökologischer Zielbereiche
- *Umsetzungsgrad* der Maßnahmen
- *Aufwändigkeit und Hindernisse* der Maßnahmenumsetzung (finanziell, organisatorisch, legislativ, fehlendes Wissen u./od. andere Hindernisse)

Sofern sich aufgrund der Evaluation oder anderer Informationen (z.B. neuer Klimaszenarien) ergibt, dass eine neue Problem- und Zielbestimmung notwendig ist, beginnt der Entscheidungsprozess mit Schritt 1 von Neuem.

6.2.5 Anpassung als Herausforderung für die gesamte Gesellschaft

Der im vorherigen Abschnitt beschriebene Entscheidungsprozess muss letztlich in jedem der verschiedenen vom Klimawandel betroffenen Bereiche, Regionen und Organisationen in Deutschland durchgeführt werden. Wie mehrfach betont, sollten am Entscheidungsprozess möglichst Stakeholder und betroffene Gruppen beteiligt werden.

Oft wird die Anpassung an die Folgen des Klimawandels nur im Sinne einer Verantwortungsteilung zwischen verschiedenen Akteuren zu bewerkstelligen sein. Daher wird es in vielen Fällen nicht nur um eine Beteiligung von Stakeholdern und betroffenen Gruppen an Entscheidungsprozessen, sondern auch an der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen gehen.

Die Anpassung an den Klimawandel ist wie auch die Reduktion der Treibhausgasemissionen als gesamtgesellschaftliche Aufgabe zu verstehen, zu der jeder einzelne Bürger ebenso wie Akteure aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung, Medien, Umweltverbänden, Bildung und Forschung beitragen können und sollten.

Dabei muss deutlich sein, dass sich diese Anpassung wahrscheinlich nicht nur im Sinne der Kooperation vollziehen wird, sondern auch Konkurrenz zwischen Anpassungsakteuren (z.B. zw. verschiedenen Unternehmen) und das Abschieben von Verantwortung an andere (z.B. an staatliche Stellen) eine Rolle spielen werden. Gerade das Abschieben der Verantwortung auf staatliche Stellen sollte vor dem Hintergrund der Haushaltslage in Kommunen, Ländern und im Bund vermieden und private Eigenverantwortung im Sinne einer gerechten und effizienten Verantwortungsteilung zwischen Staat und Gesellschaft gefordert und gefördert werden.

Wissenschaft und Bildung

Wissenschaft und Bildung kommt aufgrund der Komplexität der Klimaproblematik eine entscheidende Bedeutung in der Förderung der Anpassung an den Klimawandel zu. Wissenschaftler und Lehrer sollten möglichst nicht nur konkretes Wissen über potenzielle Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland vermitteln, sondern auch in gewissem Umfang mögliche Anpassungsmaßnahmen an diese Auswirkungen nennen können. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie in den Massenmedien auftreten und nicht zu erwarten ist, dass die Zuschauer, Zuhörer oder Leser mögliche Anpassungsmaßnahmen kennen, so dass sie Gefühle der Angst oder Hilflosigkeit entwickeln (siehe auch 6.2.2 Anpassung als Aufgabe für die Risikokommunikation).

Medien

Neben der Bildung kommt den Medien eine entscheidende Bedeutung in der Vermittlung möglicher Klimafolgen und notwendiger Anpassungsmaßnahmen zu. Die bisherige Betonung der Verringerung der Treibhausgasemissionen als notwendige Reaktion auf den Klimawandel muss ergänzt werden um die Klimaanpassung. Dabei sollte jedoch immer betont werden, dass es um ein Sowohl-Als-Auch und nicht um ein Entweder-Oder von Emissionsminderungen und Klimaanpassung geht. Die Unsicherheiten in den Auswirkungen des Klimawandels sollten benannt, ihre Ursachen erklärt (siehe 6.2.3) und Umgangsweisen mit der Unsicherheit deutlich gemacht werden (siehe 6.2.4).

Politik und Verwaltung

Zur Anpassung an den Klimawandel müssen durch Politik und Verwaltung die notwendigen finanziellen, gesetzlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Politik und Verwaltung sind aber auch selbst Akteure von Anpassungsmaßnahmen. Zu Wirksamkeit, Umsetzungsgrad, Hindernissen und Aufwändigkeit von Anpassungsmaßnahmen staatlicher Institutionen in den klimasensitiven Bereichen Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Naturschutz / Biodiversität, Gesundheit und Verkehr enthält dieser Bericht konkrete Angaben (siehe Kap. 4).

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 erhal-

ten. Regional oder sektoral gilt es, Anpassungsmaßnahmen durch Informationen über potenzielle regionale oder sektorale Folgen des Klimawandels und mögliche Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen (siehe dazu 6.2.2) und zu koordinieren. Zur Finanzierung einzelner Anpassungsprojekte stellen Public-Private-Partnerships eine sinnvolle Möglichkeit dar. Im Sinne einer zentralen Anlaufstelle für Informationen über Klimafolgen und Anpassungsmöglichkeiten in Deutschland ist das vom Umweltbundesamt geplante Kompetenzzentrum Klimafolgen sehr zu begrüßen.

Privatwirtschaft und Haushalte

Neben den in dieser Studie untersuchten klimasensitiven Bereichen Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Naturschutz / Biodiversität, Gesundheit und Verkehr sind auch weitere Wirtschaftsbereiche vom Klimawandel betroffen, z.B. der Bausektor und vor allem auch die Finanzwirtschaft (Banken und Versicherungen). Letzterer kommt eine zentrale Bedeutung in der Förderung von Anpassungsmaßnahmen in der gesamten Wirtschaft zu; denn über die Kredit- und Versicherungsvergabe verfügt sie über entscheidende Steuerungsinstrumente und schon heute spielt die Überprüfung von Klima- und Wetterrisiken insbesondere bei Großinvestitionen eine entscheidende Rolle.

Auch die Anpassung jedes einzelnen Bürgers in Deutschland ist gefragt, z.B. bei einer gesteigerten Vorsicht gegenüber Zeckenbissen (siehe Kap. 4.5), beim Hausbau in der Vorsorge für Hitzewellen (siehe Kap. 4.5) oder eine gestiegene Hochwassergefahr (siehe Kap. 4.1).

Umwelt- und Naturschutzverbände

Umweltorganisationen haben in der öffentlichen Bewusstseinsbildung für den Klimawandel in der Vergangenheit eine entscheidende Bedeutung gehabt. Als notwendige Reaktion auf das Problem des Klimawandels haben sie in der Vergangenheit vor allem die Reduktion der Treibhausgasemissionen gefordert. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels haben sie oftmals als nicht nachhaltige Strategie abgelehnt, da sie von Teilen der Wirtschaft und einigen Nationen als Alternative zu Emissionsminderungen propagiert wurde und wird.

Aufgrund des Voranschreitens des Klimawandels und der kurz- und mittelfristigen Notwendigkeit der Klimaanpassung zusätzlich zu Emissionsminderungen gilt es, die Umweltverbände verstärkt auch für das Thema der Klimaanpassung zu gewinnen. Da in ihnen großes Wissen über das Klimasystem vorhanden ist, könnte ihnen zusätzlich zu ihrer bisherigen Rolle in der Bewusstseinsbildung für den Klimawandel und die Notwendigkeit von Emissionsminderungen auch eine zentrale Rolle in der Kommunikation notwendiger Anpassungsmaßnahmen zukommen.

Im Biodiversitätsbereich, in dem sich aufgrund des Klimawandels große Veränderungen ergeben werden, haben Naturschutzorganisationen eine große Bedeutung. In der Förderung des vor dem Hintergrund dieser Umwälzungen notwendigen gesellschaftlichen Dialogs über Schutzziele im deutschen Naturschutz könnten sie eine zentrale Rolle einnehmen.

Bildung von Netzwerken

Da die Anpassung an den Klimawandel eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe ist, sollte der Dialog und die Abstimmung zwischen den verschiedenen Anpassungsakteuren aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung, Gesellschaft, Medien, Umweltverbänden, Bildung und Forschung gefördert werden.

Die Bildung von Netzwerken ist im Sinne eines Voneinander-Lernens und einer Verantwortungsteilung ein sehr geeignetes Mittel und wurde von den Teilnehmern des Stakeholder-Workshops im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsprojektes auch explizit gefordert (siehe Kap. 5). 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. Zu nennen sind hier nicht nur Großbritannien mit ihrem zentralen „United Kingdom Climate Impact Programme (UKCIP)“, sondern auch die sogenannten Entwicklungsländer, die insbesondere hinsichtlich der Förderung privater Schadensvorsorge gegen Wetterextreme einen großen Entwicklungsvorsprung haben.

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 auch Kap. 5). 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.

6.3 Literaturverzeichnis

BFN – Bundesamt für Naturschutz (2005): Naturräumliche Gliederung Deutschlands, Aufl. 1:1 Mio., in Teilbereichen der alten Bundesländer 1:200.000, nach Meynen, Schmithüsen et al., 1962. Informationssystem LANIS-Bund.

Grothmann, T. & Patt, A. (2005). Adaptive Capacity and Human Cognition: The Process of Individual Adaptation to Climate Change. Global Environmental Change, in press.

Willows, R.I. & Connell, R.K. (Eds.) (2003): Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UKCIP Technical Report. UKCIP, Oxford.
http://www.ukcip.org.uk/risk_uncert/risk_uncert.html.

v. Zwehl, W. (1993). Entscheidungsregeln. In W. Wittmann, W. Kern, R. Köhler, H.-U. Küpper & K. v. Wysocki (Hrsg.), Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Teilband 1, 5. Aufl. Schäffer-Poeschel.

7 Zusammenfassung & Summary

7.1 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht ist das 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.

Ziele

Die Ziele dieser Studie waren,

5. 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,
6. den momentanen Anpassungsgrad und die Anpassungskapazität der verschiedenen klimasensitiven Bereiche an den Globalen Wandel zu untersuchen,
7. 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,
8. 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.

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 Auswirkungen 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.

Methodische Umsetzung

Zur Erreichung der genannten Ziele standen Ergebnisse des vom PIK koordinierten europäischen Verbundprojektes ATEAM²⁹ 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). Neben dem Projekt ATEAM dienten zahlreiche andere Studien und Projekte auf nationaler und regionaler Ebene als Informationsquelle (siehe Kap. 2.5).

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).

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).

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).

²⁹ ATEAM – Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling (EU Project No. EVK2-2000-00075), www.pik-potsdam.de/ATEAM.

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 auch Kap. 1.2).

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 auch Kap. 1.2).

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 auch Kap. 3.1.1).

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 Sze-

narien 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 auch Kap. 3.1.2).

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. 7-1). Die geringste Vulnerabilität zeigen die deutschen Mittelgebirge und Nordwestdeutschland (siehe auch Kap. 6.1.1 und Kap. 4).

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.

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.

Tab. 7-1: 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		Land- wirt- schaft	Forst- wirt- schaft	Biodiver- sität und Natur- schutz	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⁾	-	--?	--	-	-	-
Ober rheingraben	--	-	-	--	-/- -? ⁽²⁾	--	--?	k.A.	-	-	--
Alp und nordbayerisches Hügelland	--	-	-	-	-/- -? ⁽²⁾	-	--?	--	-	-	-
Alpenvorland	--	-	-	--	-/- -? ⁽²⁾	-	--?	k.A.	-	-	-
Alpen	--	~	~	-	--	~	-?	--	-	-	--
Deutschland gesamt	--	-	-	-	-/- -? ⁽²⁾	-	--?	--	-	-	-

Bewertung:

-- hohe Vulnerabilität

- mäßige Vulnerabilität

~ geringe Vulnerabilität

? Hohe Unsicherheit bzw. Schwierigkeit bei der Einschätzung

k.A. keine Angaben

Bewertung „alle Bereiche“:

hohe Vulnerabilität, wenn mehr als 2 Bereiche hoch

mäßige Vulnerabilität, wenn 1-2 Bereiche hoch

geringe Vulnerabilität, wenn kein Bereich hoch

(„halbe“ Bereiche zählen nur halb)

Bewertung „Deutschland gesamt“: Mittelwert

(1) Sturmfluten und Meeresspiegelanstieg

(2) Vulnerabilität abhängig von Schutzziel.

- Schutz des Status Quo: hohe Vulnerabilität

- Prozessschutz: mäßige Vulnerabilität

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. 7-1 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.

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 auch Kap. 6.1.2 u. Kap. 4).

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.

Anpassungsempfehlungen

Neben den spezifischen Anpassungsnotwendigkeiten in den verschiedenen Bereichen und Regionen (siehe Kap. 4) ergeben sich für die Anpassung in Deutschland einige übergreifenden Herausforderungen (siehe Kap. 6.2). 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 Entscheidungsträ-

gern in Wirtschaft, Politik und Verwaltung noch weit unterrepräsentiert (siehe auch Kap. 4 und 5). 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) 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 auch Kap. 5). 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.

7.2 Summary

This report is the result of a study conducted by the Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), commissioned and financed by the Federal Environmental Agency, Germany (Umweltbundesamt, UBA), and carried out between March 1st, 2003 and June 30th, 2005.

Objectives

The objectives of this study were

1. to document existing knowledge on global change (and particularly climate change) in Germany and analyse its current and potential future impacts on seven climate-sensitive sectors (water management, agriculture, forestry, biodiversity/nature conservation, health, tourism and transport),
2. to evaluate the present degree of adaptation and the adaptive capacity of these climate-sensitive sectors to global change,
3. to draw conclusions on the vulnerability to global change of sectors and regions in Germany by considering potential global change impacts, degrees of adaptation and adaptive capacity,
4. to discuss the results of the study with decision-makers from government, administration, economy, and society, in order to develop a basis for the development of strategies of adaptation to global change in Germany.

The concepts of vulnerability and adaptive capacity

The term vulnerability refers to the risks of damage to human-environment systems. This study is concerned with the vulnerability to global change, with special attention to climate change. There are direct effects of global change on human beings (e.g., by floods or heat waves), and indirect effects through impacts of global change on climate-sensitive sectors (e.g., water management or agriculture).

Vulnerability to present and future global change is highly dependent on the initial situation. Often a region or sector is under pressure already today. Current climatic or local environmental conditions can impose restrictions (e.g., low precipitation or poor soils limit agriculture and forestry). Many sectors are affected by changes in socio-economic circumstances (e.g., agriculture, forestry, health, tourism, transport). Such circumstances determine to a large extent the predisposition of a region or sector to impacts of global change and are largely responsible for the regional differentiation of vulnerability.

In addition to this predisposition, the vulnerability of a human-environment system, a region or sector to global change depends mainly on three factors:

- What is the degree of climate change and other elements of global change in the specific region?
- What are the potential impacts of global change in the region on the different sectors?
- What is the degree of adaptation of the specific sectors within the region to these potential impacts?

The degree of adaptation is determined by the presence of adaptation measures which can prevent damage or make use of favourable opportunities.

The assumption of an unchanged state of adaptation in the future results in a vulnerability *without* further adaptation (business-as-usual scenario). This vulnerability is also described as the *current vulnerability*. In determining this vulnerability it is assumed that in addition to the existing measures (e.g., in flood protection) no further measures will be taken in the future. The current vulnerability gives an idea of the damage that has to be expected if no further adaptation measures to global change (particularly climate change) are taken. In this study the current vulnerability is presented on a three-stage qualitative scale (small – medium – high vulnerability). A quantitative vulnerability index is deliberately avoided, since

such an index would pretend a precision that does not exist – neither with regard to potential impacts of global change nor concerning the adaptation to such impacts.

The assumption of a fully used existing adaptive capacity in order to improve the future degree of adaptation results in a vulnerability *with* further adaptation (improved-business scenario). As before, the vulnerability with further adaptation is assessed on a three-stage qualitative scale (small – medium – high vulnerability). Comparison of the vulnerability *without* further adaptation (business-as-usual scenario) and the vulnerability *with* further adaptation (improved-business scenario) renders an idea of the damage from global change (particularly from climate change) with and without further adaptation.

Therefore, vulnerability of a human-environment system exists only if this system is not adapted to the potential impacts of global change. The degree of adaptation is determined by the adaptive capacity of the human-environment system. The adaptive capacity is small if the necessary resources (financial, organisational, legislative, knowledge, etc.) to implement a sufficient degree of adaptation are lacking. In this case the human-environment system will not be able to adapt to the impacts of global change.

Methods

In order to reach the objectives stated above we relied on the results of a European research project (ATEAM³⁰), which was coordinated by PIK. These results are based on a set of consistent, spatially explicit scenarios of global change, a range of ecosystem models and indicators for ecosystem services, as well as a continuous dialogue with stakeholders. The bulk of scientific information on global change and its potential impacts in this report is drawn from analyses of the results of the ATEAM project (a detailed description of scientific methodology can be found in chapters 2.1-2.4). In addition to the ATEAM results, numerous studies and projects on national and regional scale were consulted (see chapter 2.5).

To gain estimations of the regional and sector-specific significance of potential impacts of climate change, of the existing degree of adaptation and of suitable adaptation measures, surveys of climate-sensitive sectors (forestry, agriculture, water management, tourism, biodiversity/nature conservation, health, and transport) were carried out in various regions of Germany (see chapter 2.6).

To assess vulnerability, the scenarios of potential impacts of global change in Germany (from the ATEAM and other projects) were integrated with results from the surveys (see chapter 2.8).

The results were discussed during several "Expert Talks on Climate" (Klimafachgespräche) which were organised by the Federal Environment Agency (UBA) and during a stakeholder workshop with representatives from government, administrative bodies, the economy, and the wider public (see chapter 2.7).

Global climate change – historical development

The rate and degree of climate change which took place during the 20th century are unprecedented – for example the current temperatures on the Northern Hemisphere are probably the warmest for at least 2000 years. The 1990s were the warmest decade, and the years 1998, 2002 and 2003 were the three warmest years in the last thousand years in the Northern Hemisphere. Since 1990 the global mean temperature has risen by 0.7 ± 0.2 °C. Precipitation over the middle and high latitudes of the Northern Hemisphere increased by 0.5 to 1% per decade in the 20th century, while it decreased over the subtropical latitudes. Furthermore, climate extremes were observed more frequently, such as for example an accumulation of temperature anomalies in the Pacific Ocean since 1970 (so called "El Niño events"). Since 1950, there has been a pronounced increase in the damage caused by natural disasters and flooding.

³⁰ ATEAM – Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling (EU Project No. EVK2-2000-00075), www.pik-potsdam.de/ATEAM.

Only a small fraction of this climate change can be explained by natural factors such as eruptions of volcanoes, changes in solar activity or deviations in the Earth's orbit around the sun. In the scientific community there is overwhelming consensus that the main cause of climate change is human activity, in particular the emission of greenhouse gases. In a few generations we are using up fossil fuels that took hundreds of millions of years to form, in order to meet our energy demands. Burning of fossil fuels produces greenhouse gases, e.g. carbon dioxide. Greenhouse gases such as water vapour, carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) reflect part of Earth's heat radiation (infrared radiation) and thereby cause a "greenhouse effect" that is warming the atmosphere and the Earth's surface.

Since the beginning of industrialisation the atmospheric concentration of the most important greenhouse gas CO₂ has risen by 34% from 280 to 375 ppm, due to burning of fossil fuels and land-use change, and has probably reached its highest level in 400'000 years. Over the same time the concentration of methane, the second most important greenhouse gas, has even risen by more than 150%. In the absence of drastic measures to reduce emissions, the atmospheric carbon dioxide concentration is expected to double even within the next few decades (to almost 600 ppm, relative to pre-industrial level, see also chapter 1.2).

Global climate change – projections of future development

The European Union is committed to keeping global warming below 2°C, relative to pre-industrial temperatures, in order to prevent "dangerous climate change" (see Article 2 of the UNFCCC). Climate sensitivity, that is the rise in temperature following a doubling of the CO₂ concentration, is assumed to lie between 1.5 and 4.5°C globally. The probability of overshooting the 2-degree target in the long term rises rapidly under concentrations that lie much higher than today's values. To reach the 2-degree target, today's global emissions need to be lowered from 7 Gt carbon per year to 2 Gt per year. This is a formidable challenge, in view of the emissions of the United States of America and of densely populated countries such as India and China that also exhibit rapid economic growth. The projection of emission trajectories is very uncertain. In this study we use the SRES scenarios published by the IPCC. They do not consider any explicit climate policy, but nevertheless embrace a range of emissions that are possible in the light of today's climate policy strategies.

The IPCC acts on the assumption of the continued increase of all greenhouse gas concentrations to values of between 650 and 1215 ppm CO₂ equivalents. The carbon dioxide concentration alone will therefore rise to values of between 607 and 958 ppm, ranging between a doubling and a tripling of pre-industrial levels. In consequence, a continued, accelerated rise in global mean temperature by 1.4-5.8°C is expected by the year 2100. Global average precipitation is expected to rise slightly, with a very heterogeneous distribution over space and time.

The exact prediction of extreme climate events is currently impossible. However, extreme weather and climate events, such as hot summer days, summer drought and extreme rainfall will probably or very probably occur more frequently during the 21st century. Moreover an increase in cyclone activity in the tropics is likely. A decrease in cold extremes is very likely (see also chapter 1.2).

Global change in Germany – historical trends in the climate

Long-term weather recording shows that Germany is already affected by climate change. Regarding *temperature* development, the 1990s were observed to be the warmest decade in Germany during the 20th century, in accordance to the global observation. The annual average temperature increased by ca. 0.8 to 1°C between 1900 and 2000. However, this warming did not occur linearly. A strong warming up to 1911 was followed by a heterogeneous period. The 1940s were exceptionally warm. After a cooling trend up to the 1970s we now observe a continuous and rapid temperature increase that still continues today. There is strong regional variation. In the last decade (1990s), the temperature rise in southern and south-western Germany was exceptionally strong. Observations on seasonal trends in the warming depend on period in time and method. During the last twenty years a trend toward stronger temperature increase in winter than in summer has been observed. For example, the temperature increase in the winter months in Germany during the period between 1981 and 2000 was 2.3°C, while in the summer months it was merely 0.7°C.

Precipitation in Germany is characterised by strong regional and seasonal variations. In the long term, neither the average values nor the seasonal or regional distribution show significant trends. During the last 100 years there has been a small trend towards increased winter precipitation, but this trend is not significant. In the last 30 years, however, there was indeed a definite increase in winter precipitation. Summer precipitation in contrast showed little change.

Changes in the *duration of snow cover* are also relevant. Since 1950, a decrease by 30-40% in the duration of snow cover has been observed in altitudes below 300m in Bavaria and Baden-Wuerttemberg. In the medium altitudes (300-800m) the decrease was 10-20%. In higher altitudes over 800m only small decreases and in places even increases were observed, due to increased winter precipitation and sufficiently low temperatures for snowfall.

There is only partial evidence for an increase in *climate extremes*, such as heat waves, extreme rainfalls and storms. *Extreme heat events*, such as heat days ($T > 30^{\circ}\text{C}$) or heat waves (intervals of more than three days during which the maximum daily temperature lies above a certain high threshold, relative to the specific temperature standard of the weather station) exhibit a definite trend. For example, the probability of occurrence of heat days in the months of July and August has risen over the last one hundred, and especially markedly during the last twenty years at almost all weather stations in Germany. The intensity and frequency of occurrence of *extreme rainfall events* have increased especially during the last forty years of the 20th century. In general, this trend is more pronounced in the winter than in the summer. The intensity and frequency of occurrence of *squalls* have also been investigated. However, at present no statistically significant trend can be found. There is a tendency of increased probability of occurrence of extremely high daily wind speed maxima (Bft > 8) during winter (with the exception of coastal regions), and decreased occurrence of such maxima in summer (with the exception of southern Germany, see also chapter 3.1.1).

Global change in Germany – scenarios of future climate change

With regard to future *temperature* development, all ATEAM scenarios that were analysed in this study exhibit a definite warming trend for Germany. The range of warming of the long-term annual average temperatures up to the year 2080 within the seven climate scenarios considered was +1.6 to +3.8°C. Many scenarios show a particularly strong warming in the south-west, in some cases also in the far east of Germany. The scenarios exhibit heterogeneous seasonal changes. The trend of stronger warming during winter, observed in the past, cannot be found in the future scenarios.

All climate scenarios show very small changes in annual *precipitation*, which lie mostly below 10% up to the year 2080. Stronger trends can be found in winter and summer precipitation. All seven climate scenarios show an increase in winter precipitation, while most scenarios show a decrease in summer precipitation. This is in accordance with the observed trend of a shift of precipitation into the winter half year. An especially pronounced increase in winter precipitation was projected for Southern Germany, at least in the scenarios that are based on the climate model HadCM3. In these scenarios, the decrease of summer precipitation is concentrated on Southwest Germany (Rhineland) and central parts of Eastern Germany. However, the projections of the other climate models partly produce regionally contradicting trends (see also chapter 3.1.2).

Vulnerable Regions in Germany

In summary of the results on vulnerability *without* further adaptation (business-as-usual scenario) on the different sectors, separated by region (environmental zone), the highest vulnerability to climate change within the selected climate-sensitive sectors is exhibited by Southwest Germany (upper Rhine rift), the central parts of Eastern Germany (North-Eastern lowland, South-Eastern basin and hills), and the Alps (see Tab. 7-2). The lowest vulnerability is assessed for the German low mountain ranges and Northwest Germany (see also chapter 6.1.1 and chapter 4).

In *Eastern Germany* (North-Eastern lowland, South-Eastern basin and hills), low water availability and the risk of summer droughts account for the high current vulnerability in many sectors. The present unfavourable climatic water balance will be exacerbated by the already observed and further expected decrease in summer precipitation, as well as by increased evaporation due to increased temperatures. This will affect in particular agriculture and forestry, as well as the transport sector (shipping). Additionally, there is a high vulnerability with respect to flooding in the large river basins of the Elbe and Oder. In the Lausitz, where particularly high summer temperatures are expected, the current vulnerability with respect to health due to heat stress is high.

In *Southwest Germany* (upper Rhine rift) especially the high temperatures will cause problems. This region, where the highest temperatures are measured today, is expected to show the strongest warming in Germany in the future. This causes high vulnerability *without* further adaptation in the health sector. Furthermore, agriculture and forestry are highly vulnerable to rapid warming. Moreover, the risk of flooding in the early spring increases, due to a shift of precipitation from summer to winter, as well as an increase in extreme rainfall events.

The sensitivity of many sectors is the main reason for the high vulnerability *without* further adaptation in the *Alps*, in addition to expected climate change, which is slightly above average in the Alpine region. Especially in the biodiversity sector, the Alps are very vulnerable, because they are characterised by many endemic plant and animal species, which lack migratory alternatives during climate change. Furthermore, the abundance of microclimatically unusual sites and azonal biotopes increases vulnerability. In the Alps the risk of flooding is particularly high, due to the lack of retention areas. Finally, the winter tourism sector is highly sensitive and not very adaptive to a decrease in certainty of snowfall.

In comparison, the German *low mountain ranges* show medium vulnerability. The climate here at present is cool and moist, so that a change to a warmer climate can actually pose an opportunity for some sectors (e.g. agriculture). There is high vulnerability against flooding, especially for local high water events, caused by convective extreme rainfall events. Winter tourism, if present, shows high current vulnerability.

Similar to the low mountain ranges, the *coastal regions* exhibit only medium vulnerability. However, there is high current vulnerability caused by possibly more intensive storm surges. Moreover, the immediate coastal areas are threatened by the rising sea level. But the implementation of adaptation measures has already advanced relatively far. In other sectors coastal regions may well profit from climate change. This concerns the sectors agriculture and forestry, as well as tourism, which will profit from rising summer temperatures and decreasing summer precipitation.

The lowest current vulnerability was assessed for Northwest Germany. Climate change will probably be least pronounced in this region, because it is attenuated by oceanic effects. Due to the presently very moderate climate, most sectors exhibit a wide range of tolerance. Again, the sectors agriculture and tourism, and with some limitations also forestry, may potentially profit from climate change.

Besides these portrayed regions and environmental zones (see Tab. 7-2), *wetlands* and *congested urban areas* show high vulnerability without further adaptation. In wetlands, especially the sectors water and biodiversity are highly vulnerable. In congested urban areas, especially the sectors health (heat stress) and transport will be affected.

The vulnerabilities in most regions could probably be lessened to a low level, if all available potential adaptation measures were implemented in the specific regions and environmental zones (improved-business scenario). However, in most regions adaptation measures to climate change are neither planned nor implemented. In the Alpine region, vulnerability can probably only be reduced to a medium level, since the adaptive capacity to the potential impacts of climate change on winter tourism, biodiversity and flood risk is limited.

Vulnerable Sectors in Germany

Looking at the vulnerability of different climate-sensitive sectors, especially the sectors water, health and winter tourism appear highly vulnerable (see also chapters 6.1.2 and chapter 4).

In all parts of Germany the current vulnerability is high in the *water* sector, due to increasing flood risk and high potential for damage. Further regional differentiation of the expected impacts is currently not possible due to the uncertainties related to the modelling of regional precipitation patterns. In addition, the risk of droughts is increasing, particularly in Eastern Germany. Currently, few adequate adaptation measures to this stress are locally available, resulting in locally raised current vulnerability. However, for the entire country there appears to be only moderate current vulnerability to droughts in Germany.

The *agricultural sector* is primarily impacted by aridity in summer. Climate change also impacts indirectly through increased risk of diseases and pest outbreaks. However, the agricultural sector can adapt to changed climate and weather condition on a short-term basis due to its large choice of crop species and varieties, as well as short rotation times. Therefore, the agricultural sector seems to be only moderately vulnerable to climate change without further adaptation specifically to climate change. Vulnerability is rated to be high merely in the drought-prone areas of Eastern Germany with poor soils.

Similarly, the *forestry sector* is impacted by aridity and increased risk of pests. In addition, there is increased risk of forest fires and extreme events. The forestry sector has limited adaptive capacity due to long rotation times and high costs. Drought-prone areas (Eastern Germany), as well as regions with a high proportion of non-adapted spruce stands (lower regions in Western and South-Western Germany) are rated as highly vulnerable. In general, the forestry sector is classified as moderately vulnerable to climate change.

To rate vulnerability in the sector *biodiversity and nature conservation* is especially difficult. Definite impacts of climate change are expected (shifts in species ranges, changes in species communities etc.), however, there is no consensus on the relevance of these impacts. The current vulnerability is rated as moderate to high, depending on the conservation goal. Adaptation measures (e.g. improved connections within the conservation network) can only support natural processes (e.g. migration), but clearly cannot conserve the current community of species.

Without further adaptation, the *health sector* is rated as regionally highly vulnerable to impacts of heat-waves, generally in Germany as moderately vulnerable. High uncertainty exists with regard to climate change impacts on vector-borne diseases. Nevertheless, due to the high potential risk and the current lack of adaptation the vulnerability to vector-borne diseases seems to be high.

In the *tourism sector*, winter sports particularly are classified as highly vulnerable. Decreasing snow must be expected, in combination with no adequate long-term adaptation measures. Other forms of tourism are moderately vulnerable. Leisure-oriented summer tourism will probably profit from climate change. To date, there has been little debate on vulnerability to climate change in the German tourism sector.

The *transport sector* is primarily at risk due to a potential rise in the frequency of extreme events (storms and extreme rainfall events), as well as due to extreme heat in summer. This impacts both the flow of traffic and the infrastructure. In winter, the transport sector is likely to profit from climate change (less frost days). In general, the vulnerability of the transport sector is rated as moderate. Shipping is likely to be the area of highest impact, due to strongly fluctuating water levels of rivers. As with tourism, to date, there has been little debate on vulnerability to climate change in the German transport sector.

The vulnerabilities in most sectors could probably be lessened to a low level, if all in the specific sectors available potential adaptation measures were implemented (improved-business scenario). In the biodiversity sector alone, vulnerability can probably be reduced only to a moderate degree due to limited adaptation opportunities.

However, in most sectors – as well as in most German regions – adaptation measures to climate change are neither planned nor implemented. Consequently there is an urgent need for action.

Recommendations for adaptation strategies

In addition to specific adaptation needs in different sectors and regions (see chapter 4) we identify several general challenges for adaptation in Germany (see chapter 6.2). To reduce our vulnerability to climate change both adaptation measures to impacts of climate change, as well as measures to reduce greenhouse gas emissions, which are decisively responsible for climate change, have to be implemented. Adaptation measures to reduce negative impacts and to take advantage of positive impacts are necessary, because climate change is already taking place, and will continue to happen. Due to the inertia of the climate system, climate change would continue for several centuries even after a highly unlikely immediate reduction of greenhouse gases. Emission reductions are nevertheless indispensable for a long-term reduction of vulnerability. Further warming of our global climate beyond the adaptive capacity of Germany and the world can only be counteracted by emission reductions. Adaptation measures and emission reduction are therefore not alternative strategies, but have to be carried out in parallel.

In Germany to date, outside the scientific community climate change is discussed only in the context of the need for emission reductions. Adaptation to the impacts of climate change has only recently received more attention, but is still highly under-represented in public awareness and in the consciousness of decision-makers within the economy, policy and administration (see also chapter 4 and 5). The first step to a Germany that is adapted to climate change therefore must be to create awareness of the risks and opportunities. To do so, the existing public awareness of the existence of climate change should be used, as well as extreme weather events (extreme rainfall events, heat waves etc.) that provide “windows of consciousness” for the climate problem. The existing link between risks and opportunities of climate change and the dominating political themes in Germany (unemployment, economic growth etc) should be stressed, in order to secure public attention to the debate beyond the context of weather extremes. When communicating the potential impacts of climate change, the inherent uncertainties of the scenarios need to be made transparent; failure to do so will result in dented credibility, when exact predictions are not met. The risks of climate change can trigger mechanisms of repression or even fatalistic reactions (“I cannot do anything anyway.”). To prevent such reactions from the start, “catastrophism” – i.e. stressing potential climate impacts of catastrophic extent – should be avoided. The communication of risks should always be linked to the communication of possible adaptation measures. Role models are particularly suited to communicate adaptation measures by providing a living example.

Creating awareness of potential impacts can only be a first step to a Germany that is adapted to climate change. As when communicating risks and opportunities, the uncertainty in the assessment of potential impacts of climate change is a special challenge when concrete decisions about adaptation measures have to be made, e.g. the raising of dykes to face increasing flood risk. With regard to the precautionary principle, it is an irresponsible strategy to wait for less uncertain assessments before implementing adaptation measures, since climate change and its impacts are already taking place. Furthermore, waiting for less uncertain scenarios is a treacherous hope; the results will remain uncertain in future even with increased refinement of scientific methods. Decision-makers often lack awareness of systematic and conscious strategies to make decisions in the face of uncertainty. Therefore support is needed. In this respect the 8-step system to support decision making about adaptation to climate change which is introduced in this report is a first stimulus (see chapter 6.2.4).

Often adaptation to the impacts of climate change will only be possible if responsibilities are shared between different actors. Ultimately, climate change adaptation – just like the reduction of greenhouse gas emissions – is a task for society as a whole, to which every single citizen, as well as actors from the economy, the political sphere, administration, the media, nature conservation organisations, education and research can and should contribute. Science and education are of special importance in this, due to the complexity of the climate problem. The media will be of significant relevance in communicating potential climate impacts and necessary adaptation measures to the public. Nature conservation organisations also play a major role in this communication. Politicians and administrators must create the

necessary financial, legal and organisational conditions. Administrative bodies have the additional function of informing and coordinating adaptation measures in private industry and households; this is an especially significant function in view of the current budgetary position in many communities, federal states and in the federal government. In addition to the climate-sensitive sectors that were analysed in this study (forestry, agriculture, water, tourism, biodiversity/nature-conservation, health and transport), further adaptation measures are necessary in other sectors (e.g., the construction sector). Finance (banks and insurances) is of central importance; it possesses decisive instruments for the regulation of adaptation through the granting of loans and insurance. Finally, every German citizen needs to adapt, e.g. through taking increased precaution against tick bites or through building structures that are adapted to higher flood risk.

Dialogue and coordination between different actors in the process of adaptation should be facilitated, since climate adaptation is a task for society as a whole. Networking is an efficient instrument for this. These networks should be organised not only within Germany, but also seek contacts outside the country: some countries have far more experience with climate change adaptation than Germany. A network of adaptation actors has already started to form through the efforts of the Federal Environment Agency (UBA) to initiate and build a "Centre of Competence for Climate Impacts", in cooperation with the Federal Ministry of Education and Research (see also chapter 5). Furthermore, such initiatives already exist in several federal states. Further organisational and financial support of such networks of actors through public and increasingly also through private sources is desirable, since such networks provide necessary information for vulnerability assessment, as well as communication platforms for coordinated adaptation measures.