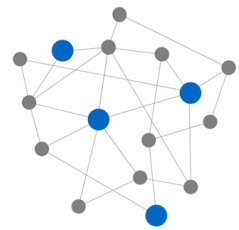


Netzwerk Vulnerabilität



Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel

Sektorenübergreifende Analyse des Netzwerks Vulnerabilität

Fachkonferenz am 1. Juni 2015 in Berlin

Autor/innen: Mareike Buth, Walter Kahlenborn, Jonas Savelsberg, Nina Becker | adelphi
Prof. Dr. Stefan Greiving, Dr. Mark Fleischhauer | plan + risk consult
Dr. Marc Zebisch, Dr. Stefan Schneiderbauer | Europäische Akademie Bozen
Dr. Inke Schauer | Umweltbundesamt

Inhaltsverzeichnis

1	Politischer Hintergrund.....	1
2	Methodik	2
3	Ergebnisse.....	5
3.1	Handlungsfeld Boden	5
3.2	Handlungsfeld Biologische Vielfalt	5
3.3	Handlungsfeld Landwirtschaft	6
3.4	Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft.....	7
3.5	Handlungsfeld Fischerei.....	7
3.6	Handlungsfeld Küsten- und Meeresschutz	8
3.7	Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft.....	9
3.8	Handlungsfeld Verkehr, Verkehrsinfrastruktur	10
3.9	Handlungsfeld Bauwesen	10
3.10	Handlungsfeld Industrie und Gewerbe	11
3.11	Handlungsfeld Energiewirtschaft	12
3.12	Handlungsfeld Tourismuswirtschaft	13
3.13	Handlungsfeld Finanzwirtschaft	13
3.14	Handlungsfeld Menschliche Gesundheit	14
3.15	Querschnittsthemen „Bevölkerungsschutz“ und „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“	15
3.16	Generische Anpassungskapazität	15
3.17	Vom Klimawandel ähnlich betroffene Räume Deutschlands	16
3.18	Sektorenübergreifende Auswertung	18
3.19	Handlungsfeldübergreifende und räumliche Schwerpunkte	19
4	Forschungsbedarf	21
5	Methodische Empfehlungen für zukünftige Analysen.....	22
5.1	Empfehlungen für Konzeption und Methodik einer Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsstudie	22
5.2	Umsetzung einer Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsstudie	30
5.3	Darstellung der Analyseergebnisse, Zusammenführung mit dem aktuellem Stand der Forschung und Review	32

1 Politischer Hintergrund

Im Zuge des fortschreitenden Klimawandels und der damit auch für Deutschland immer deutlicheren Folgen, hat die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen in den letzten Jahren stetig an Bedeutung gewonnen. Vulnerabilitätsbewertungen sind ein wichtiger Schritt der Anpassungsplanung, um Anpassungsbedarfe zu identifizieren, eine Strategie zur Anpassung an den Klimawandel oder einen Aktionsplan mit konkreten Maßnahmen zu entwickeln. Sie beantworten die Frage, wo ein Land oder eine Region besonders verwundbar gegenüber dem Klimawandel ist – sowohl räumlich als auch thematisch.

Das Bundeskabinett hat bereits 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) verabschiedet, um die Vulnerabilität Deutschlands gegenüber den Folgen des Klimawandels zu mindern. Daher sollen die Fähigkeiten von natürlichen, ökonomischen und gesellschaftlichen Systemen, sich an Klimaveränderungen und deren Folgen anzupassen, erhalten oder gesteigert werden. Im Aktionsplan Anpassung 2011 (APA) wurde festgestellt, dass „eine aktuelle, sektorenübergreifende und nach einheitlichen Maßstäben erstellte Vulnerabilitätsbewertung für Deutschland erforderlich ist. Für den Fortschrittsbericht zur DAS und die Weiterentwicklung der deutschen Anpassungspolitik wurde daher von 2011 bis 2015 eine solche sektorenübergreifende und konsistente Vulnerabilitätsanalyse für Deutschland erarbeitet.

Eine Analyse der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel ist eine wissenschaftliche Querschnittsaufgabe und verlangt die Kooperation verschiedener Fachdisziplinen und Behörden sowie die Integration regionaler und handlungsfeldspezifischer Expertise. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und das Umweltbundesamt haben daher 2011 die Aufgabe übernommen, das „Netzwerk Vulnerabilität“ aufzubauen.

Das Netzwerk Vulnerabilität besteht aus 16 Bundesoberbehörden und -institutionen aus neun Ressorts und wird durch ein vom BMUB finanziertes und durch das UBA geleitetes wissenschaftliches Vorhaben unterstützt. Das daran beteiligte wissenschaftliche Konsortium umfasst adelphi consult, plan + risk consult, EURAC und IKU. Grundlegend für die erfolgreiche Arbeit des Netzwerks sind die Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit und die sektorale Expertise der teilnehmenden Behörden. Netzwerkpartner sind das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, das Bundesamt für Naturschutz, das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, die Bundesanstalt für Gewässerkunde, die Bundesanstalt für Straßenwesen, die Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, der Deutsche Wetterdienst, das Johann Heinrich von Thünen-Institut, die KfW, der Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, das Robert Koch-Institut und das Umweltbundesamt. Das Netzwerk steht grundsätzlich allen Bundesoberbehörden und -institutionen offen.

Ziel des Netzwerks war es, den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu Vulnerabilitätsanalysen sowie das Wissen der Fachbehörden zu den Folgen des Klimawandels in Deutschland zusammenzuführen und darauf aufbauend, die Vulnerabilität Deutschlands handlungsfeldübergreifend zu analysieren. Mittels der Vulnerabilitätsanalyse wurden in einem Screeningverfahren deutschlandweit und handlungsfeldübergreifend die Regionen und Systeme identifiziert, die besonders durch den Klimawandel gefährdet, das heißt vulnerabel, sind.

Neben seinen inhaltlichen Ergebnissen liegt der Mehrwert des Netzwerks Vulnerabilität vor allem in der Vernetzung der beteiligten Bundesoberbehörden und -institutionen. Es befördert die transdisziplinäre, inhaltliche Arbeit mit Blick auf die Vulnerabilitätsanalyse und bietet den Behörden über das Netzwerk hinaus Anknüpfungspunkte für behördenübergreifende Kooperationen, zum Beispiel hinsichtlich der Integration von Daten und Modellen. Bereits heute haben die Arbeiten

des Netzwerks neue Vorhaben einzelner Netzwerkpartner sowie Weiterentwicklungen initiiert. Damit ist das Netzwerk Vulnerabilität ein zentraler Bestandteil des Prozesses zur Anpassung an den Klimawandel in Deutschland.

Im Folgenden wird die Vulnerabilitätsanalyse kurz skizziert. Empfehlungen und weiterführende Diskussionsfragen, die sich aus der methodischen Arbeit des Netzwerks ergeben haben, finden sich in Kapitel 5. Der Schlussbericht wird im Spätsommer unter dem Link

„<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vulnerabilitaet-deutschlands-gegenueber-dem>“ veröffentlicht.

2 Methodik

Mittels einer gemeinsam entwickelten, konsistenten und transparenten Methode basierend auf dem Vulnerabilitätskonzept des IPCC 2007 (Parry et al. 2007) wurde bestehendes, regionales und sektorales Wissen zusammengeführt. Danach ist Vulnerabilität das Maß der Anfälligkeit eines Systems gegenüber dem Klimawandel, sowie die Unfähigkeit damit umzugehen. Die Vulnerabilität wird beeinflusst durch das Klima (Klimasignale), durch die Empfindlichkeit der betroffenen Systeme (Sensitivität) sowie durch deren Möglichkeiten, sich an den Wandel anzupassen (Anpassungskapazität). Dieses Konzept wurde für die vorliegende Vulnerabilitätsanalyse so umgesetzt, dass die Sensitivität eines Systems zu einer definierten Zeit bestimmt, welche Auswirkung das dann wirksame Klimasignal hat. Der Begriff „Klimawirkung“ beschreibt daher in dieser Analyse für die Gegenwart die Wirkung des heutigen Klimas auf das heutige System und für die Zukunft die Wirkung des zukünftigen Klimas auf ein zukünftiges System. Die Anpassungskapazität kann nur dann die Auswirkungen des Klimawandels zukünftig verringern, wenn sie zu konkreten Anpassungsmaßnahmen genutzt wurde.

Für die konsistente Vulnerabilitätsanalyse des Netzwerks wurde auf eine klare zeitliche Zuordnung der klimatischen und sozioökonomischen Daten für die drei betrachteten Zeiträume Gegenwart, nahe und ferne Zukunft geachtet. Der Unsicherheit in den Projektionsergebnissen für die nahe Zukunft (2021-2050) wurde Rechnung getragen, indem das 15. und das 85. Perzentil eines Ensembles von Klimaprojektionsdaten¹ und zwei sozioökonomischen Szenarien² zu einem Szenario „starker Wandel“ und einem Szenario „schwacher Wandel“ kombiniert wurden. Da für den Zeitraum „ferne Zukunft“ (2071-2100) keine belastbaren sozioökonomischen Szenarien vorliegen, werden hierfür nur Klimaprojektionsdaten in Karten dargestellt und die Klimawirkungen selbst narrativ beschrieben.

Als räumliche Bezugsebene wurden Landkreise ausgewählt. Die befragten Expert/innen bezogen sich auf unterschiedliche räumliche Einheiten, sodass diese Ergebnisse nicht in Kartenform dargestellt werden. Dies erschwert die Zusammenführung der quantitativen und qualitativen Ergebnisse. Endergebnisse des Netzwerks sind daher sowohl räumlich explizite Karten für einzelne Klimawirkungen – getrieben durch Klima- und sozio-ökonomische Veränderungen – als auch grafisch unterstützte narrative Aussagen. Darauf aufbauend wurden die Ergebnisse sowohl sektoral getrennt als auch sektorenübergreifend ausgewertet, um räumliche und thematische Schwerpunkte der Vulnerabilität Deutschlands zu identifizieren.

Die Operationalisierung (z.B. Berechnung) der ausgewählten 72 Klimawirkungen basiert soweit möglich auf quantitativen, modell- oder indikatorgestützten, Daten. Wenn keine quantitativen Daten zur Verfügung standen, wurde auf Expert/innenschätzungen zurückgegriffen. Es zeigte sich, dass zu mehr als der Hälfte der Klimawirkungen Expert/innengespräche geführt werden mussten. Die Anpassungskapazität wurde pro Sektor mit Hilfe von Expert/innengesprächen und

¹ bereitgestellt vom Deutschen Wetterdienst

² bereitgestellt vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

zusätzlich allgemein mittels Indikatoren geschätzt. In die allgemeine Anpassungskapazität flossen Auswertungen zu dem Querschnittsthema „Räumliche Planung“ ein. Aussagen zum Querschnittsthema „Bevölkerungsschutz“ wurden aufgrund fehlender Daten nicht aufgenommen. Aussagen zur Vulnerabilität der anderen 14 Handlungsfelder der DAS wurden durch eine textliche Auswertung von Klimawirkungen und Anpassungskapazität erzeugt. Die Aussage zur Vulnerabilität eines Handlungsfeldes beruht auf einer sehr starken Zusammenfassung von Bewertungen und Erkenntnissen unterschiedlicher Qualität und ist daher eine eher grobe Abschätzung. Zusätzlich wurde pro Klimawirkung der Grad der Gewissheit eingeschätzt. Quellen von Unsicherheit können bei berechneten Klimawirkungen auf Ebene des Systemverständnisses, des gewählten Indikators oder Modells und der verwendeten Daten liegen. Bei den erfragten Klimawirkungen wurde die Gewissheit über die Einigkeit der Expert/innen und ihre Einschätzung, wie sicher sie sich in ihren Aussagen sind, abgebildet.

Die in der Struktur und Arbeitsweise des Netzwerks angelegte „Koproduktion von Wissen“ durch Wissenschaftler/innen und Praktiker/innen, in diesem Fall Behördenvertreter/innen, ist ein wichtiger Erfolgsfaktor für integrierte Vulnerabilitätsanalysen, da es bisher keine allgemein anerkannten Methoden gibt. Die Erarbeitung eines Konsensus ist unter Expert/innen ein wichtiges methodisches Konzept zum Umgang mit Unsicherheit. Die sektorenspezifische Expertise der Netzwerkpartner sowie die Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit stellen daher wichtige Ressourcen des Netzwerks dar. Zudem werden Forschungsergebnisse, die in Kooperation von Wissenschaftler/innen und verantwortlichen Behörden entwickelt werden, besser verstanden, akzeptiert und umgesetzt als reine Forschungsergebnisse.

Für dieses gemeinsame Vorgehen wurden Analyseschritte vom Konsortium vorbereitet und im Rahmen von regelmäßigen Netzwerktreffen mit den Netzwerkpartnern abgestimmt. Die beteiligten Behörden lieferten Daten, Modellergebnisse und Expert/innenwissen für die Entwicklung der Methodik und Analyse und fällten die normativen Entscheidungen, z.B. die Auswahl der einbezogenen Expert/innen und der verwendeten Indikatoren, Modelle, und Daten. Darauf aufbauend erarbeitete das Konsortium die Ergebnisse. Gemeinsame normative Entscheidungen aller Netzwerkpartner wurden an drei Stellen im Prozess durchgeführt:

1. Auswahl der für die Bearbeitung im Netzwerk als relevant erachteten Klimawirkungen
2. Einschätzung des Grads der Gewissheit bei den quantitativen operationalisierten Klimawirkungen (gering, mittel, hoch)
3. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich der Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland (gering, mittel, hoch)

In Abwesenheit von Schwellenwerten für die einzelnen Klimawirkungen und eines einheitlichen Bewertungsmaßstabs haben die Behördenvertreter bei der Auswahl und Bewertung der Klimawirkungen die soziale, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle oder flächenhafte Bedeutung der jeweiligen Klimawirkung für Deutschland berücksichtigt.

Die im Netzwerk entwickelte und geprüfte Methode kann als Gute-Praxis-Beispiel für Vulnerabilitätsanalysen dienen. Sie ist leicht anpassbar und kann als Grundlage für sektorale Analysen der Netzwerkpartner oder auch für Vulnerabilitätsanalysen der Bundesländer und anderer Staaten genutzt werden.

Klimaprojektionen und sozioökonomische Szenarien

Der Fokus der Untersuchung lag auf der Gegenwart und der nahen Zukunft, da der Handlungsbedarf der nächsten Jahre im Vordergrund stand. **Um die Bandbreite der zukünftigen klimatischen und sozioökonomischen Entwicklungen abzubilden, wurden zwei Szenariokombinationen für die nahe Zukunft untersucht:**

- ▶ **Starker Wandel:** Für die Klimaprojektionen wurde grundsätzlich das 85. Perzentil der Ergebnisse des Klimamodellensembles des DWD verwendet. Weiterer Ausgangspunkt ist eine relativ starke sozioökonomische Entwicklung, unter anderem mit einem durchschnittlichen jährlichen Wirtschaftswachstum von 1,1 Prozent, einer mittleren täglichen Flächenneuanspruchnahme von 59 Hektar und einem Bevölkerungsrückgang auf 78,68 Millionen Einwohner im Jahr 2030.
- ▶ **Schwacher Wandel:** Für die Klimaprojektionen wurde grundsätzlich das 15. Perzentil der Ergebnisse des DWD-Klimamodellensembles verwendet. Das verwendete sozioökonomische Szenario beruht – im Vergleich zum Szenario starker Wandel – auf einem geringeren jährlichen Wirtschaftswachstum (durchschnittlich 0,58 Prozent), einer geringeren täglichen Flächenneuanspruchnahme (49,3 Hektar) sowie einer stärker abnehmenden Bevölkerung auf 75,67 Millionen Einwohner im Jahr 2030.

Das Klimamodellensemble des DWD umfasst 19 regionale Klimaprojektionen bis Ende des Jahrhunderts auf der Grundlage des Emissionsszenarios A1B (weitere Erläuterungen siehe www.dwd.de/klimaatlas). Die Quantile können grundsätzlich wie folgt interpretiert werden (Bundesregierung 2011):

- ▶ 15-Prozent-Quantil: Mit einer 85-prozentigen Wahrscheinlichkeit werden die dargestellten Änderungssignale im Ensemble überschritten; das heißt 85 Prozent der Projektionen prognostizieren höhere und 15 Prozent die dargestellten oder niedrigeren Änderungsraten.
- ▶ 85-Prozent-Quantil: Mit einer 85-prozentigen Wahrscheinlichkeit werden die dargestellten Änderungssignale im Ensemble nicht überschritten, das heißt 85 Prozent des Ensembles prognostizieren die dargestellten oder niedrigere Änderungsraten und 15 Prozent prognostizieren höhere Änderungsraten.

Der Bereich zwischen den gewählten unteren und oberen Schranken umfasst somit eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 70 Prozent bezüglich des betrachteten Ensembles. Die hier benutzten Begriffe Wahrscheinlichkeit und Quantil basieren lediglich auf dem verwendeten Klimaprojektionsensemble. Dieses Ensemble repräsentiert nur einen Ausschnitt möglicher zukünftiger Klimaentwicklungen, sodass es sich bei den hier präsentierten Ergebnissen nicht um statistische Eintrittswahrscheinlichkeiten im engeren Sinn handelt.

Stellenweise wurden Klimadaten des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) verwendet. Hier wurde für den starken Wandel das 95. Perzentil und für den schwachen Wandel das 5. Perzentil verwendet. Wo bestehende Modellergebnisse verwendet wurden, sind ebenfalls abweichende Klimaprojektionen eingeflossen. Hier wurde darauf geachtet, dass die Annahmen der Modellberechnungen denen des Vorhabens ähnlich sind. Für niederschlagsgetriebene Modelle wurden in der Regel ein feuchtes und ein trockenes Szenario berechnet.

Die zwei verwendeten sozioökonomischen Landnutzungsszenarien (Wachstum und Stagnation) wurden mit dem Modellverbund PANTA RHEI REGIO der Gesellschaft für Wirtschaftliche Struktur-forschung mbH (GWS) und dem Land Use Scanner des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raum-forschung (BBSR) für 2030 auf Landkreisebene berechnet. Eingeflossen sind als Indikatoren die relative Veränderung der Einwohnerzahl, der Bevölkerung über 60 Jahren, der Arbeitnehmerzahl, des Bruttoinlandsprodukts, des verfügbaren Einkommens der privaten Haushalte, der Erwerbstätigenzahl sowie der Anzahl der Haushalte.

3 Ergebnisse

3.1 Handlungsfeld Boden

Das Klima beeinflusst viele Prozesse im Boden und damit dessen Bildung, Entwicklung, Eigenschaften und Funktionen. Art und Bedeckung des Bodens beeinflussen, wie stark der Klimawandel auf den Bodenwasser- und Temperaturhaushalt wirkt und Erosionen fördert. Zentral für die biologische Aktivität sind zudem die Art und Intensität der Nutzung.

Für das Handlungsfeld Boden wurden die Indikatoren der Klimawirkungen „Bodenwassergehalt, Sickerwasser“ sowie „Bodenerosion durch Wind und Wasser, Hangrutschung“ meist mit Hilfe von Wirkungsmodellen bewertet. Die Einschätzung der Klimawirkungen „Boden-Biodiversität, mikrobielle Aktivität“, „Organische Bodensubstanz, Stickstoff- und Phosphor-Haushalt, Stoffausträge“ sowie „Produktionsfunktionen (Standortstabilität / Bodenfruchtbarkeit)“ erfolgte auf der Basis von Expert/inneninterviews.

Deutschlandweit wurden im Handlungsfeld Boden alle klimatischen Auswirkungen für einen starken Wandel in naher Zukunft (2021-2050) als bedeutsam bewertet. Auswirkungen auf den „Bodenwasserhaushalt“ sind bereits heute in einigen Regionen Deutschlands deutlich feststellbar. Beim Szenario „starker Wandel“ kann es in naher Zukunft zu signifikanten Trockenheitseffekten kommen (mittlere bis hohe Gewissheit). Für die „Boden-Biodiversität, mikrobielle Aktivität“ (geringe Gewissheit) sowie die „Organische Bodensubstanz, N(P) Haushalt, Stoffausträge“ (geringe Gewissheit) werden deutliche Beeinflussungen durch den Klimawandel bereits in der Gegenwart und in der nahen Zukunft auch bei einem schwachen Wandel gesehen. Durch einen weiteren Temperaturanstieg und damit verbundene vermehrte Trockenheit bis zum Ende des Jahrhunderts können alle Bodenprozesse verstärkt verändert werden.

Im Allgemeinen stehen im und für den Sektor „Boden“ eine große Anzahl von Anpassungsoptionen wie Bewässerung, Düngung oder Fruchtartenwahl zur Verfügung. Das technische Potenzial zur Anpassung wird daher als hoch bis sehr hoch eingeschätzt. Die Zahl der Anpassungsmaßnahmen, die unter der Bedingung durchgeführt werden können, dass kein weiterer Ressourcenverbrauch entsteht und die bisherigen Erträge beibehalten werden, ist jedoch deutlich geringer. Insgesamt wird die sektorale Anpassungskapazität daher trotz einiger Differenzen im Detail als mittel eingestuft. Dabei ist zu beachten, dass es kleinräumig größere Unterschiede gibt. Unter Berücksichtigung der mittleren bis hohen Betroffenheit ergibt sich für das Handlungsfeld Boden somit eine mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

3.2 Handlungsfeld Biologische Vielfalt

Änderungen bei Temperatur und Niederschlag sowie die Veränderung der Wachstumsperiode wirken direkt auf die abiotischen Lebensbedingungen von Flora und Fauna. Sie beeinflussen grundlegende Prozesse, wie etwa Phänologie (Flora), Verhalten (Fauna), Habitatansprüche, Fortpflanzung, Konkurrenzfähigkeit sowie Nahrungsbeziehungen. Bereits heute ist die Biologische Vielfalt in Deutschland bedroht. Hauptursachen sind bisher vor allem die verschiedenen Landnutzungen (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Flächenverbrauch durch Siedlung und Verkehr) sowie deren Intensivierung. Entsprechend ist seit Jahrzehnten ein Rückgang der Artenvielfalt insbesondere heimischer Arten im Agrarland, in Siedlungen, an den Küsten und im Bereich der Meere sowie den Alpen festzustellen.

Im Vorhaben wurden insgesamt vier ausgewählte Klimawirkungen untersucht: die Wirkung auf die „Verbreitung invasiver Arten“, auf die „Areale von Arten“, auf „Biotope und Habitate“ sowie auf die „Ökosystemleistungen“. Die Operationalisierung erfolgte durch Modelldaten und Expert/inneninterviews.

Insgesamt wurde der Verbreitung invasiver Arten die höchste Bedeutung zugemessen. In naher Zukunft ist bei einem starken Wandel mit einer verstärkten Ausbreitung invasiver Arten ausgehend von den Metropolenregionen (Rhein-Ruhr, Frankfurt, München), des oberen Rheintals sowie den mitteldeutschen Trockengebiete und dem Erzgebirgsvorland zu rechnen (mittlere bis hohe Gewissheit). Lokal kann es durch den Klimawandel zu einer Verschiebung des Artenspektrums kommen. In Süddeutschland könnten dabei die möglichen Artenverluste durch mögliche neu auftretende Arten zahlenmäßig kompensiert werden, während es in Ostdeutschland in der Bilanz eher zu einem Rückgang der Artenzahl kommen könnte (mittlere bis hohe Gewissheit). Bei den Biotopen und Habitaten erweisen sich wassergebundene Biotope mit geringer Pufferkapazität (Moore, Quellen, kleinere Fließgewässer, Tümpel) und die an kühle Temperaturen angepassten Biotope und Habitate der Gebirge als besonders sensibel (mittlere bis hohe Gewissheit). Die meisten Ökosystemleistungen sind im Falle eines schwachen Wandels nur gering betroffen, da die Ökosystemleistungen direkte Änderungen in den Ökosystemen zu einem gewissen Grad puffern können. Bei einem starken Wandel bis zur Mitte des Jahrhunderts sowie in ferner Zukunft kann die Veränderung von Ökosystemleistungen insgesamt an Bedeutung zunehmen (geringe Gewissheit).

Die Anpassungskapazität gegenüber den direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt ist eher gering. Zwar gibt es eine Reihe von Maßnahmen, die Arten unter Berücksichtigung des Klimawandels Rückzugsmöglichkeiten bieten sowie die notwendigen Wanderungen ermöglichen, aufhalten können diese Maßnahmen den Artenwandel aber nicht. Insgesamt scheint mittelfristig vor allem eine Vulnerabilität gegenüber der durch den Klimawandel begünstigten Verbreitung invasiver Arten zu bestehen. Hier ist die Vulnerabilität hoch, da die Bedeutung der Klimawirkung als hoch eingeschätzt wird und die Anpassungsmöglichkeiten gering sind. Für die anderen Klimawirkungen ist die Vulnerabilität in naher Zukunft noch moderat, könnte sich aber in ferner Zukunft erhöhen.

3.3 Handlungsfeld Landwirtschaft

Temperatur und Niederschlag sind klimatische Faktoren mit zentraler Bedeutung für die Landwirtschaft. Schon graduelle Veränderungen, aber auch extreme Wetterereignisse wie Hitzewellen oder Starkregen, können zu Veränderungen in der landwirtschaftlichen Produktion führen und die Menge und Qualität landwirtschaftlicher Erträge beeinflussen.

Im Vorhaben wurden fünf als prioritär ausgewählte Klimawirkungen untersucht: Die Klimawirkung auf die „agrarchänologischen Phasen und die Wachstumsperiode“, auf den „Ertrag“, auf „Trocken- und Frostschäden“, auf „Schädlinge und Pflanzengesundheit“ sowie infolge von „Schäden durch Extreme“. Die Operationalisierung erfolgte durch Proxyindikatoren und Expert/inneninterviews.

Die größte Bedeutung wurde der Verschiebung der agrarchänologischen Phasen beigemessen. Hier überwiegen die positiven Effekte einer längeren Wachstumsperiode die möglichen negativen Effekte wie die Gefahr von Spätfrösten (mittlere bis hohe Gewissheit). Die Erträge könnten in Regionen mit geringen Niederschlägen und armen Böden leicht zurückgehen, in heute noch kühlen Regionen und bei geeigneter Wasserversorgung aber auch leicht zunehmen (geringe Gewissheit). In Zukunft steigt allerdings die Gefahr von Trocken- und Hitzeschäden vor allem in Süddeutschland und Ostdeutschland an (mittlere bis hohe Gewissheit). Auch könnten sich, durch milde Winter begünstigt, Schadorganismen stärker ausbreiten und eine Verstärkung des Pflanzenschutzes erforderlich machen (mittlere bis hohe Gewissheit). Eine weitere Bedrohung geht von Hagel, Starkregen und Starkwind aus, wobei hier keine belastbaren Projektionen vorliegen (geringe Gewissheit). Der Agrarsektor in Deutschland ist insgesamt in der Lage, die künftigen klimabedingten Herausforderungen zu bewältigen.

Für einige Regionen Deutschlands ergeben sich aus den mittelfristig moderaten Veränderungen des Klimas auch Chancen für positive Effekte auf die Pflanzenproduktion. In Kombination mit einer insgesamt guten Fähigkeit zur Anpassung an klimatische Veränderungen und deren Folgen ist die Vulnerabilität der Landwirtschaft daher als eher gering anzusehen.

3.4 Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft

Die Wald- und Forstwirtschaft ist eng mit dem Wasser- und Nährstoffangebot der Böden verbunden. Die klimatischen und standörtlichen Bedingungen bestimmen das Spektrum möglicher Baumarten und deren Ertragspotenzial. Extremwetterereignisse wie Sturm können Wälder dauerhaft schädigen. Hitzewellen und Trockenheit können das Auftreten von Hitze- und Trockenstress sowie von Waldbränden beeinflussen.

Für das Vorhaben wurden sieben Klimawirkungen als prioritär ausgewählt: die Wirkung auf das „Waldbrandrisiko“, auf „Schäden durch Windwurf“, auf „Schäden durch Schadorganismen“, auf Schäden durch „Hitze und Trockenstress“, auf die Veränderung von „Nutzfunktion“ und der „Schutzfunktion“ sowie auf die Veränderung der „Baumartenzusammensetzung“. Die Operationalisierung erfolgte durch Modelldaten und Experten/inneninterviews.

Als besonders bedeutend bereits in naher Zukunft wurde die Klimawirkung auf die Nutzfunktion, sowie auf die Schäden durch Schadorganismen bewertet. Die Nutzfunktion ist vor allem durch einen Rückgang der Wasserverfügbarkeit in Folge eines potentiellen Rückgangs der Sommerniederschläge und einer Zunahme der Verluste durch Evapotranspiration beeinträchtigt. Hiervon besonders betroffen sind heute Fichtenstandorte außerhalb der Mittelgebirge und der Alpen sowie heute schon eher trockene Buchenstandorte (mittlere bis hohe Gewissheit).

Bei den Schadorganismen ist mit einer Verfrühung und Intensivierung des Borkenkäferbefalls von Fichten zu rechnen. Aber auch Schäden durch andere Schadorganismen (Wurzel- und Stammerkranke) könnten als Folge des Klimawandels zunehmen (geringe Gewissheit). Auch die weiteren Klimawirkungen sind überwiegend an einen Rückgang der Wasserversorgung gekoppelt. Regional sind vor allem die kontinentalen Bereiche Ostdeutschlands betroffen, aber auch ein Gürtel, der sich von Südwestdeutschland (Oberrheingraben) über Rheinland-Pfalz bis in den Osten Deutschlands zieht.

Es bestehen im Bereich Wald- und Forstwirtschaft vielfältige Anpassungsoptionen. Man spricht von passiver oder aktiver Anpassung, wobei Anpassungsoptionen entweder durch die Selbstregulation des Waldes oder durch menschliche Aktivitäten eröffnet werden. Abschließend betrachtet ergibt sich für die Wald- und Forstwirtschaft aufgrund der mittleren bis hohen Betroffenheit grundsätzlich eine mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft, die aufgrund der langen Anpassungszeiten in ferner Zukunft noch ansteigen kann.

3.5 Handlungsfeld Fischerei

Die Fischerei wird unterteilt in die Hochsee- und Küstenfischerei sowie die Binnenfischerei. Durch die Veränderung der Temperatur und des Kühlbedarfs wird sich in Zukunft das Artenspektrum verändern, auch wenn die Fischerei wesentlich von sozioökonomischen Rahmenbedingungen mitbestimmt wird. Des Weiteren haben die Klimasignale „Meeresspiegeländerung“, „extreme Wetterereignisse“, „Veränderung der Niederschläge“ sowie die „CO₂-Veränderung“ Einfluss auf die Fischerei. Auch –die Gewässerqualität wird sich in Zukunft verändern.

Von insgesamt sechs Klimawirkungen wurden vier näher betrachtet: „Gebietsfremde Arten, verändertes Artenspektrum“, „Wachstum, Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen“, „Aquakulturen (Schäden inklusive)“ sowie „Fangbedingungen“. Die Operationalisierung erfolgte durch Expert/inneninterviews.

Bereits in naher Zukunft kann die Fischerei hinsichtlich aller untersuchten Auswirkungen deutlich vom Klimawandel beeinträchtigt werden: Es kann bei einem stärkeren Wandel zu einer Verschiebung des Artenspektrums kommen, also einer Abwanderung heimischer und zu einer Zuwanderung südlicher Arten (geringe Gewissheit). Eine Erhöhung des Salz- und Säuregehalts des Meers kann dazu führen, dass das Artenspektrum dezimiert wird. So wird die Versauerung der Meere durch höhere CO₂-Gehalte, vermutlich bereits in den nächsten 20 Jahren, weltweit die Bestände vieler mariner Arten beeinflussen. Hinzu kommt, dass die Temperatur auch das Wachstum, die Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen steuert. Dadurch können auch die Bestände heimischer Fischarten in ferner Zukunft reduziert werden (geringe Gewissheit). Die Temperatur ist eine wesentliche klimatische Einflussgröße auf potenzielle Schäden an Aquakulturen. Steigende Wassertemperaturen können sich insbesondere in Gewässern, die durch Eutrophierung bereits vorbelastet sind, negativ auf Arten und Lebensräume auswirken (geringe Gewissheit).

Klimatische Faktoren spielen bei den Fangbedingungen derzeit eine noch eher untergeordnete Rolle, deren Bedeutung kann aber in naher Zukunft zunehmen (geringe Gewissheit).

Die Anpassungskapazität der Fischerei gegenüber dem Klimawandel hängt vor allem vom zukünftigen Fischereimanagement ab. Sie ist auch abhängig von Betriebsgröße und regionalem Bezug. So sind Fischereibetriebe an der Ostsee stärker von klimarelevanten Faktoren abhängig als Betriebe an der Nordsee, da bestimmte Fischbestände hier nicht durch andere ersetzt werden können. Generell ist die Anpassungskapazität der Küstenfischerei deutlich geringer als die der Aquakulturen im Binnenland, da sie in besonderer Weise den klimatischen Veränderungen der Meere ausgesetzt sind, ein Beispiel ist die Temperatursensibilität bei der Laichablage. Eine höhere Anpassungskapazität besteht bei den dem Fischfang nachgelagerten Verarbeitungsprozessen. Da der wesentliche Anteil der Fische jedoch nach Deutschland importiert wird, ist die Fischereiwirtschaft strukturell von globalen klimabedingten Veränderungen betroffen und abhängig. Damit lässt sich eine mittlere bis hohe Vulnerabilität der Fischerei gegenüber dem Klimawandel bei einer geringen bis mittleren Anpassungskapazität feststellen.

3.6 Handlungsfeld Küsten- und Meeresschutz

Küsten- und Meeresregionen sind in zunehmendem Maße von den Folgen des Klimawandels betroffen. Die Artenzusammensetzung von Flora und Fauna in Nord- und Ostsee ist abhängig vom Nahrungsangebot im Meer. Wind, Temperatur und Salzgehalt sind die wesentlichen Faktoren für eine Durchmischung der Wasserschichten und die damit verbundene Nähr- und Sauerstoffsituation. Der Meeresspiegelanstieg und die erwartete Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Sturmfluten führen für die Küstenregionen zu einem erhöhten Risiko durch Überflutungen. Die Entwicklung der Küstenregionen in Deutschland unterliegt sehr vielen, Teil sehr hohen Nutzungsansprüchen, denn sie sind Lebens-, Wirtschafts-, Energie-, Naturschutz- und Tourismusräume.

Von insgesamt neun Klimawirkungen wurden drei näher betrachtet, von denen „Hochwasser durch Sturmfluten“ über einen Proxyindikator abgeschätzt wurde und die Klimawirkungen „Belastung von Bauwerken und Infrastrukturen“ sowie „Schäden an Küsten (naturräumliche Veränderungen)“ über Expert/inneninterviews.

In der nahen Zukunft betreffen potenzielle Überflutungen durch Sturmfluten bei einem schwachen Wandel vorrangig die Ostseeküste sowie die nicht deichgeschützten Vorländer und die nordfriesischen Halligen an der Nordseeküste. Unter der Annahme eines starken Klimawandels käme es zu einer gravierenden Vergrößerung der potenziellen Überflutungsgebiete. Die Marschflächen an der Nordseeküste in Niedersachsen und Schleswig-Holstein sowie die Städte Bremen und Hamburg müssten beim starken Wandel bei Deichversagen als sturmflutgefährdet gelten (geringe Gewissheit). Aufgrund von Küstenschutzmaßnahmen kann davon ausgegangen werden, dass alle Bauwerke in naher Zukunft ausreichend geschützt wären (geringe Gewissheit). Durch die zunehmenden Schwierigkeiten der Entwässerung der Marschgebiete durch einen erhöhten Meeresspie-

gel hätte dies beim starken Wandel eine Belastung von Bauwerken und Infrastrukturen zur Folge. An der Nordseeküste wären für die naturräumlichen Veränderungen beim schwachen Wandel eher geringe Auswirkungen zu erwarten. Bei einem starken Wandel wäre das Festland durch die Inseln und das Watt im Falle von Sturmflut, Dünung und Meeresspiegelanstieg geschützt als die Inseln, die mit erheblicher Dünenerosion umzugehen hätten. Verstärkte Niederschläge und Starkregenereignisse würden zusätzlich die Küstenerosion, insbesondere an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns erhöhen (geringe Gewissheit).

Die Möglichkeiten, sich an den Klimawandel anzupassen, werden als hoch eingestuft. Der Küstenschutz gilt in Deutschland als gut ausgebaut. Es wird somit angenommen, dass er auch künftige, erhöhte Belastungen auffangen kann. Zudem trägt ein kontinuierliches Monitoring dazu bei, klimabedingte Veränderungen frühzeitig zu erkennen. Somit ergibt sich aufgrund des bis zur Mitte des Jahrhunderts erwarteten moderaten Meeresspiegelanstiegs und der ausreichend dimensionierten Küstenschutzbauwerke bis mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

3.7 Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft

Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft werden umfassend durch den Klimawandel verändert, natürliche Wasserkreisläufe genauso wie vom Menschen geschaffene Kreisläufe und Eingriffe wie die Wasserver- und -entsorgung oder Talsperrenbewirtschaftung. So haben beispielsweise in Deutschland die Winterniederschläge in den vergangenen Jahrzehnten stetig zugenommen, im Osten kam es zu einer Verringerung der Niederschläge im Sommer. Solche Veränderungen haben Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung und Abflussbildung und können beispielsweise zu Wasserknappheit führen, was wiederum negative Auswirkungen auf die Flora und Fauna, aber auch auf die Trinkwasserversorgung haben kann. Die Hochwassergefahr wird sich vor allem im Winter erhöhen, da durch steigende Temperaturen Niederschläge in Form von Schnee seltener vorkommen und damit schneller und ungleichmäßiger abfließen. Starkregenereignisse werden mit hoher Wahrscheinlichkeit zunehmen, was unter anderem in urbanen Gebieten zu Sturzfluten mit hohen Schäden führen und Abwassersysteme stark belasten kann.

Insgesamt wurden acht Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft genauer analysiert: „Jährlicher Durchfluss“, „Hochwasser (alle Typen)“, „Wasserverfügbarkeit aus Grundwasser“, „Wasserverfügbarkeit aus Oberflächengewässern“, „Trinkwasserverfügbarkeit“, „Auswirkungen auf Kanalnetz, Kläranlagen und Vorfluter“, „Talsperrenbewirtschaftung“ sowie „Gewässerzustand“. Die Operationalisierung erfolgte durch Modelldaten, Proxyindikatoren und Expert/inneninterviews.

In naher Zukunft sind erhebliche Veränderungen des Durchflusses (Zunahmen sowie Abnahmen) möglich (mittlere bis hohe Gewissheit). Flusshochwasser stellen bereits heute vielerorts eine Gefahr dar, die je nach optimistischem oder pessimistischem Klimaszenario noch ansteigen oder sinken kann. Generell sind die Auswirkungen räumlich sehr unterschiedlich (mittlere bis hohe Gewissheit). Die jährliche Grundwasserneubildung wird lediglich bei der Annahme eines „trockenen Szenarios“ regional abnehmen (mittlere bis hohe Gewissheit). Gleiches gilt für die generelle Verfügbarkeit von Oberflächengewässern für die Wasserentnahme, wobei es auch hier im Sommer bei länger anhaltenden Trockenperioden zu Nutzungskonflikten oder Wasserknappheit kommen kann (mittlere bis hohe Gewissheit). Die Bewirtschaftung der Talsperren hat sich durch die klimabedingt veränderten Wassermengen geändert und wird dies auch in Zukunft tun. Kleinere Talsperren, die sowohl dem Hochwasserschutz als auch der Trinkwasserversorgung dienen, sind dabei prinzipiell anfälliger als größere und spezialisierte Talsperren, die Schwankungen besser ausgleichen können (mittlere bis hohe Gewissheit). Die Gewässergüte wird sich durch den Klimawandel nur gering verändern, deutlich größeren Einfluss darauf haben anthropogene Einflüsse wie eine intensive Landnutzung (geringe Gewissheit).

Die Anpassungskapazität ist als mittel bis hoch einzustufen. Grund dafür sind unter anderem hohe technische und administrative Kompetenzen und ein hohes Wasserdargebot. Maßnahmen und Instrumente, wie beispielsweise Wasserbewirtschaftungspläne, stehen für zahlreiche klimawandelbedingte Auswirkungen zur Verfügung. Abschließend lässt sich für das Handlungsfeld „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft“ damit eine mittlere Vulnerabilität konstatieren.

3.8 Handlungsfeld Verkehr, Verkehrsinfrastruktur

Verkehr und Klimawandel ist ambivalent. Der ordnungsgemäße Ablauf des Verkehrs ist für den Wirtschaftsstandort Deutschland enorm wichtig und kann durch die Folgen des Klimawandels erheblich gestört werden. Doch es ist auch der Verkehr selbst, der den Klimawandel durch CO₂-Emissionen in besonderer Weise vorantreibt. Hitze, Frost, Orkane oder die sich ändernden Wasserstände der Flüsse wirken auf unterschiedliche Weise auf die verschiedenen Verkehrsträger ein. Wesentliche Einflussgröße ist dabei die Temperatur. Von insgesamt 18 Klimawirkungen wurden fünf genauer analysiert. Diese sind „Hitze und Frostschäden an Straßen, Schieneninfrastruktur, Startbahnen“, „Überschwemmungen und Unterspülungen von Straßen und Schieneninfrastruktur“, „Vereisung von Binnenwasserstraßen“, Vereisung von Flugzeugen“, sowie „Schiffbarkeit der Binnenwasserstraßen“. Zur Operationalisierung wurden Proxyindikatoren, Modelldaten und Expert/inneninterviews herangezogen.

Frostschäden werden den Verkehr bereits in naher Zukunft weniger beeinträchtigen, während hitzebedingte Schäden, wenn auch regional unterschiedlich, zunehmen werden (mittlere bis hohe Gewissheit). Vom Hochwasser sind Verkehr und Verkehrsinfrastruktur heute vor allem in Hamburg, Bremen, in der Region Rhein/Main, Leipzig sowie in Landkreisen entlang der Elbe, Weser, Ems und des Niederrheins betroffen. Von Sturzfluten sind insbesondere München, Rosenheim, Stuttgart, sowie Randbereiche von Mittelgebirgen wie Hagen oder das bergische Städtedreieck betroffen. In naher Zukunft werden sich sowohl bei den Flusshochwassern als auch bei den Sturzfluten die Schwerpunkte beim Szenario „starker Wandel“ weiter ausdehnen (mittlere bis hohe Gewissheit). Der Flugverkehr wird heute in Süddeutschland stärker durch Vereisungen von Flugzeugen gestört als der im Norden Deutschlands. In naher Zukunft werden sich die Auswirkungen der Frost- bzw. Frostwechseltage jedoch verringern (mittlere bis hohe Gewissheit). Die im Rahmen von KLIWAS³ erarbeiteten Abflussprojektionen deuten darauf hin, dass die Schiffbarkeit von Binnenwasserstraßen durch Niedrig- und Hochwasser in naher Zukunft nur bedingt eingeschränkt wird. Vor allem staugeregelte Flussabschnitte werden kaum betroffen sein (geringe Gewissheit)).

Die Anpassungskapazität im Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ ist als mittel bis hoch einzustufen. Vor allem technische und infrastrukturelle Maßnahmen können hier zu einer verminderten Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel beitragen. Im Straßenwesen ist dies beispielsweise die Entwicklung neuer Asphaltmischungen, die gegenüber Hitze und Kälte robuster sind. Abschließend ergibt sich im Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ damit eine mittlere Vulnerabilität gegenüber klimatischen Veränderungen.

3.9 Handlungsfeld Bauwesen

Der Klimawandel wirkt sich auch auf die gebaute Umwelt aus. In Deutschland bestehen verhältnismäßig hohe Baustandards, aber Extremwetterereignisse wie Orkane führen immer wieder vor Augen, wie anfällig das Handlungsfeld „Bauwesen“ in all seinen Erscheinungsformen sein kann. Auch sich verändernde Niederschläge und Temperaturen sowie die Veränderung des Meeresspie-

³ BMVI- Forschungsprogramm „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt und Entwicklung von Anpassungsoptionen“, Laufzeit 2009 – 2013 (www.kliwas.de)

gels haben wesentlichen Einfluss. So können Gebäude und Infrastrukturen erheblichen Schaden nehmen und sich Veränderungen des Innenraum- und Stadtklimas einstellen.

Von insgesamt zwölf Auswirkungen in den abgebildeten Wirkungsketten wurden vier näher untersucht. Dies sind „Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Sturmfluten, Flusshochwasser und Sturzfluten“, „Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Starkwind“, „Stadtklima und Luftqualität“ sowie „Innenraumklima und Aufwand für Kühlung“. Die Operationalisierung erfolgte bei allen näher untersuchten Klimawirkungen durch Proxyindikatoren.

Die Auswirkungen von Sturmfluten auf Gebäude und Infrastruktur in der Gegenwart betreffen vorrangig die Ostseeküste sowie die nicht deichgeschützten Vorländer und nordfriesischen Halligen an der Nordseeküste (geringe Gewissheit). Potenziell hohe Auswirkungen im Bereich Flusshochwasser gibt es – insbesondere aufgrund des hohen Grades der Sensitivität – heute bereits in Städten wie Hamburg und München sowie in Landkreisen an Elbe, Weser, Ems, Donau und dem Niederrhein. Auswirkungen im Bereich Sturzfluten bestehen beispielsweise am Alpenrand oder im bergischen Städtedreieck. Bei einem starken Wandel könnten in naher Zukunft am Niederrhein stärkere Hochwasser auftreten, während sie in Ostdeutschland eher abnehmen. Außerdem könnte es zu Schäden durch sturmflutbedingte Überflutungen auch hinter den Deichen kommen. Das Potenzial von Sturzfluten kann sich gravierend erhöhen und neue räumliche Schwerpunkte hervorbringen (mittlere bis hohe Gewissheit).

Von Starkwind sind heute insbesondere Agglomerations- und Küstenräume betroffen. Bei einem „schwachen Wandel“ kann es an Küstenräumen und in einigen ländlichen Räumen zu einer Entspannung kommen, bei einem „starken Wandel“ hingegen würde sich die Gefährdung regional weiter ausdehnen und verstärken (geringe Gewissheit). Von Auswirkungen auf das Stadtklima sind heute vor allem Agglomerationsräume entlang der Rheinschiene betroffen. Bei einem „starken Wandel“ könnten sich die Auswirkungen deutlich verschärfen und neue stark betroffene Räume, insbesondere im südlichen Ostdeutschland hinzukommen (mittlere bis hohe Gewissheit). Der Aufwand für Kühlung würde dann deutlich zunehmen (mittlere bis hohe Gewissheit).

Im Handlungsfeld „Bauwesen“ bestehen zahlreiche Möglichkeiten zur Anpassung, beispielsweise über die Regional- und Bauleitplanung. Darüber hinaus sind insbesondere Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen im Bestand oder der Neubau klimagerechter Gebäude von Bedeutung. Die Umsetzung hängt häufig jedoch von Eigentümerinteressen, der Verfügbarkeit von Fördermitteln oder von Denkmalschutzbelangen ab, sodass wesentliche Veränderungen im Bestand nur behutsam durchgeführt werden können. Folglich ergibt sich für das Handlungsfeld „Bauwesen“ eine mittlere bis hohe Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel bei einer mittel- bis langfristigen Reaktionszeit gegenüber den Auswirkungen.

3.10 Handlungsfeld Industrie und Gewerbe

Die Auswirkungen von Klimasignalen wie Extremwetterereignissen und dem graduellen Temperaturanstieg auf das Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ sind abhängig von Faktoren wie dem Rohstoffeinsatz, der (globalen) Vernetzung der Wertschöpfungsketten sowie der Abhängigkeit der Unternehmen von sehr präzisen Logistikprozessen. Zu den zentralen Sensitivitäten des Handlungsfelds zählen außerdem die räumliche Lage und der Zustand von Betriebsanlagen und Infrastrukturen sowie der Wasser- und Energiebedarf von Unternehmen.

Die Wirkungsketten des Handlungsfelds identifiziert dreizehn Klimawirkungen im Rahmen der Indikationsfelder Betriebsanlagen, Produktivität und Logistik, Wasser- und Energieversorgung, Arbeitskräfte und Beschäftigte sowie Wettbewerbsfähigkeit. Eine weiterführende Analyse erfolgte für neun der dreizehn Klimawirkungen. Operationalisiert wurden sie über Proxyindikatoren oder Expert/inneninterviews.

Bereits in der Gegenwart ergibt sich eine mittlere Bedeutung der Klimawirkungen „Gefahr einer möglichen Freisetzung von gefährlichen Stoffen“ (geringe Gewissheit) und „Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs“ (mittlere bis hohe Gewissheit). Die Bedeutung der weiteren Klimawirkungen ist gegenwärtig gering und wird sich mit Ausnahme der Klimawirkung „Schäden an gewerblicher und industrieller Infrastruktur durch Extremereignisse“ (mittlere bis hohe Gewissheit) bei einem schwachen Wandel voraussichtlich auch in naher Zukunft nicht ändern. Für den Fall eines starken Wandels kann der „Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs“ eine hohe Bedeutung zukommen. Außerdem würden der „Energieverbrauch für Kühlung“, der zusätzliche „Aufwand für Planungsprozesse“ sowie „die Beeinträchtigung von Produktionsprozessen und Logistik“ an Bedeutung gewinnen (alle mittlere bis hohe Gewissheit).

Den befragten Expert/innen zufolge existieren ausreichend Möglichkeiten zur Anpassung. Genannt werden insbesondere Anpassungsmaßnahmen im Bereich des Risikomanagements sowie technische Anpassungsmaßnahmen. Einzelne Branchen und Unternehmenstypen sind hierbei unterschiedlich zu bewerten. Insgesamt wird die sektorale Anpassungskapazität von „Industrie und Gewerbe“ als hoch und die Vulnerabilität des Handlungsfelds als gering eingeschätzt.

3.11 Handlungsfeld Energiewirtschaft

Graduelle und extreme Temperaturänderungen und andere Extremwetterereignisse beeinflussen die Energiewirtschaft. Die konkreten Auswirkungen des Klimawandels sind aber maßgeblich von der heutigen und zukünftigen Zusammensetzung der Energieinfrastruktur abhängig. Denn für die Sensitivität der Energiewirtschaft sind insbesondere Lage, Beschaffenheit und Leistung von empfindlichen Infrastrukturen wie Kraftwerken aber auch die Lage von Ballungszentren von Bedeutung. Diversifizierung und Dezentralisierung können dabei eine wichtige Rolle spielen.

Die für das Handlungsfeld „Energiewirtschaft“ entwickelten Wirkungsketten identifizieren Klimawirkungen in den folgenden Indikationsfeldern: „Energiebedarf“, „Energieumwandlung“, „Energieinfrastruktur“, „Verfügbarkeit von Primärenergieträgern“ sowie „Energieversorgung“. Sie wurden mithilfe von Modelldaten, Proxyindikatoren und Expert/inneninterviews operationalisiert.

Die Bedeutung aller betrachteten Klimawirkungen wird für die Gegenwart mit einer Ausnahme noch als gering eingestuft: Der Klimawirkung „Kühlwasser für thermische Kraftwerke“ wird bereits jetzt eine mittlere Bedeutung und im Falle eines starken Wandels in naher Zukunft zugeschrieben. Dank erfolgter Anpassung der Kühltechnologie sowie der Umstrukturierung des Sektors könnte die Bedeutung dieser Klimawirkung im Falle eines schwachen Wandels in Zukunft sinken (mittlere bis hohe Gewissheit). Im Falle eines starken Wandels gewinnen die Klimawirkungen „Bedarf an Heizenergie“ (mittlere bis hohe Gewissheit), „Bedarf an Kühlenergie“ (geringe Gewissheit), sowie „Schäden an Kraftwerken und Erzeugungsanlagen“ (geringe Gewissheit) an Bedeutung.

Insbesondere Ballungszentren sind aufgrund ihres Energiebedarfs vom Klimawandel betroffen. In Süddeutschland kann die Zuverlässigkeit der Energieversorgung abnehmen, sofern kein Aus- und Umbau von Kraftwerken und Stromnetzen erfolgt (geringe Gewissheit). Darüber hinaus lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels jahreszeitlich differenzieren: Extremwetterbedingte Schäden an Kraftwerken und Leitungsnetzen sind vorrangig in den Wintermonaten zu erwarten, während im Sommer Versorgungsengpässe infolge einer Zunahme des Kühlenergiebedarfs bei gleichzeitiger Beeinträchtigung der Stromproduktion an Wasser- und thermischen Kraftwerken auftreten können.

Die entscheidende Auswirkung des Klimawandels auf die Energiewirtschaft findet sich jedoch im regulatorischen Bereich. Viele Expert/innen schätzen die notwendige Umstrukturierung des Energiesektors im Rahmen des Klimaschutzes als aktuell größte Herausforderung ein. Sie sehen für die

Energiewirtschaft insgesamt eine hohe Anpassungskapazität, sodass die Vulnerabilität des Handlungsfelds als gering eingestuft wird.

3.12 Handlungsfeld Tourismuswirtschaft

Da Wetter und Klima entscheidenden Einfluss auf die Reisesaison und die Wahl von Urlaubszielen haben, ist die Tourismuswirtschaft sehr von ihnen abhängig. Vor allem extreme Wetterereignisse können touristische Angebote beeinflussen. Für die Sensitivität spielen insbesondere die Lage von touristischen Anbietern sowie bestehende Vorsorge- und Diversifizierungsmaßnahmen eine Rolle.

Basierend auf den für das Handlungsfeld Tourismus entwickelten Wirkungsketten wurden die folgenden drei Klimawirkungen analysiert: „Betriebsunterbrechungen“, „Saisonale und regionale Nachfrageverschiebung“ und „Veränderte Anforderungen an touristische Infrastrukturen“. Die Operationalisierung erfolgte über Proxyindikatoren, Modelldaten und Expert/inneninterviews.

In der Gegenwart und für den Fall eines schwachen Wandels sind alle Klimawirkungen im Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“ von nur geringer Bedeutung. Im Falle eines starken Wandels wären in naher Zukunft veränderte „Anforderungen an touristische Infrastrukturen“ (mittlere Gewissheit) sowie die „saisonale und regionale Nachfrageverschiebung“ (geringe Gewissheit) von mittlerer Bedeutung. Zum Beispiel wären Kurorte in Gebirgen sowie im Küstenraum von einem Anstieg heißer Tage betroffen, was dazu führen könnte, dass sie weniger nachgefragt werden, und die Wintersportsaison würde sich flächendeckend deutlich verkürzen und den Sport in höhere Lagen verschieben. Andererseits kann Deutschland in der Zukunft bei einem starken Wandel von einer flächendeckenden Zunahme der Anzahl der Badetage profitieren (geringe Gewissheit).

Die befragten Expert/innen stufen die Anpassungskapazität der Tourismuswirtschaft als mittel bis hoch ein. Allerdings betonen sie auch, dass die einzelnen Tourismussegmente und -anbieter sehr unterschiedlich vom Klimawandel betroffen sind und daher unterschiedliche Anpassungsbedarfe und -optionen haben. Vor allem für den Wintersporttourismus werden die Anpassungsmöglichkeiten als technisch und zeitlich begrenzt eingeschätzt. Abschließend betrachtet ergibt sich unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Tourismuswirtschaft und der Ergebnisse zur sektoralen Anpassungskapazität eine geringe bis teilweise mittlere Vulnerabilität für das Handlungsfeld.

3.13 Handlungsfeld Finanzwirtschaft

Die Finanzwirtschaft, insbesondere die Versicherungswirtschaft aber auch die Bankenwirtschaft wird auf vielfältige Weise vom Klimawandel beeinflusst. Extremwetterereignisse wie beispielsweise Hagel, Hochwasser oder Starkwind, aber auch graduelle Änderungen von Temperatur, Niederschlag oder Meeresspiegel wirken sich zum einen direkt auf das bestehende Filialnetz der Versicherungs- und Bankeninstitute aus. Zum anderen wirken sie sich auch beispielsweise auf Versicherungsschäden, veränderte Anforderungen an die Risikokalkulation und Versicherungsprämien, Veränderung von Investitionsschwerpunkten sowie von Zinsen und Renditen aus. Dazu zählt ebenso die Änderung hinsichtlich der Rolle des Staates beziehungsweise dessen Nachfrage als ‚Versicherer letzter Instanz‘.

Für das Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“ wurden diese Klimawirkungen zusammengefasst betrachtet als i) Auswirkungen des Klimawandels auf die Versicherungswirtschaft und ii) Auswirkungen des Klimawandels auf die Bankenwirtschaft. Diese wurden durch Expert/inneninterviews operationalisiert.

Deutschlandweit haben klimatisch bedingte Extremereignisse bereits gegenwärtig eine eher hohe Auswirkung auf den Versicherungssektor, während sie für die Bankenwirtschaft eine eher untergeordnete Rolle spielen (mittlere bis hohe Gewissheit) und damit von einer geringen Auswirkung

des Klimawandels ausgegangen wird. Für die Versicherungswirtschaft sind besonders Starkwind-, inklusive Hagel-, aber auch zunehmend Hochwasserereignisse von Bedeutung. Diese stehen gleichzeitig einer geringen Sensitivität gegenüber, da einerseits die öffentliche als auch private Vorsorge bei Elementarschäden und Risikomanagement zunahm und andererseits die Versicherungswirtschaft auf einen gut funktionierenden Rückversicherungsmarkt zugreifen kann. Damit ergibt sich gegenwärtig eine geringe Bedeutung der Klimawirkungen für Deutschland. Für die nahe Zukunft wird von einer eher hohen Auswirkung des Klimawandels auf die Versicherungswirtschaft, so beispielsweise von einer erhöhten Nachfrage nach Elementarschadensversicherungen, ausgegangen (mittlere bis hohe Gewissheit). Das führt im Fall eines starken Wandels zu einer mittleren Bedeutung der „Auswirkungen des Klimawandels auf die Versicherungswirtschaft“. Die Entwicklung der Bankenwirtschaft und des Einflusses des Klimawandels auf sie konnte von den interviewten Experten für die nahe Zukunft nicht eingeschätzt werden. Die Bedeutung der „Auswirkungen des Klimawandels auf die Bankenwirtschaft“ für Deutschland gilt heute und in naher Zukunft als gering.

Sowohl die Anpassungskapazität der Versicherungswirtschaft als auch der Bankenwirtschaft wird grundsätzlich als hoch angesehen. Die Versicherungswirtschaft und die Bankenwirtschaft verfügen über gute Risikomanagementsysteme. Darüber hinaus kann die Bankenwirtschaft bei Investitionen mögliche Risiken über Versicherungsleistungen abdecken. Wenngleich die Vulnerabilität der Finanzwirtschaft gering ist, kann das Handlungsfeld eine wichtige Rolle bei der Anpassung an den Klimawandel in anderen Handlungsfeldern spielen, indem sie deren Anpassungskapazität erhöht.

3.14 Handlungsfeld Menschliche Gesundheit

Die menschliche Gesundheit wird wesentlich vom Klima mitbestimmt. Die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Bevölkerung können dabei positiv und negativ sein. Aber auch der demographische Wandel kann zu einer veränderten Sensitivität der Menschen gegenüber dem Klima beitragen.

Insgesamt wurden vier von 14 Auswirkungen beziehungsweise Wirkungsketten auf die menschliche Gesundheit genauer untersucht. Dazu zählen „Hitzebelastung“, „Atembeschwerden durch bodennahes Ozon“, „Überträger von Krankheitserregern“ sowie „Belastung der Rettungsdienste, Krankenhäuser und Ärzte“. Neben der Bildung von Proxyindikatoren wurden für deren Operationalisierung auch Expert/inneninterviews geführt.

Durch Hitzebelastung sind besonders Säuglinge, Kleinkinder sowie alte und kranke Menschen betroffen. Durch den Anstieg der heißen Tage ist mit zusätzlichen Todesfällen, insbesondere in verdichteten Gebieten, zu rechnen (mittlere bis hohe Gewissheit). Hohe Ozonkonzentrationen finden sich vor allem im Umland von Ballungsräumen. Der Trend des Rückgangs der Ozonvorläuferstoffe kann der Ozonbelastung zukünftig weiter entgegen wirken. Bei vermehrter Hitze in Kombination mit starker Sonneneinstrahlung sind trotz verbesserter Luftqualität höhere Ozonkonzentrationen (auf Grund photochemischer Prozesse) zu erwarten (mittlere bis hohe Gewissheit). Durch das Auftreten von Überträgern von Krankheitserregern wird die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten bestimmter Infektionskrankheiten erhöht. Es besteht die Gefahr, dass sich durch den Klimawandel die Überträger leichter ausbreiten oder/und etablieren können (geringe Gewissheit). Eine Überlastung der Rettungsdienste, der Krankenhäuser und Ärzte wird im Zuge des Klimawandels nicht erwartet. Erhöhte Anforderungen werden im Zuge von Hitzewellen an die Gesundheitsinfrastruktur gestellt (geringe Gewissheit).

Im Bereich der Gesundheitsversorgung herrscht derzeit eine mittlere bis hohe Anpassungskapazität: Kapazitätsgrenzen werden noch nicht erreicht und es besteht eine gute Grundversorgung. Die zukünftige Entwicklung wird allerdings von der demographischen Entwicklung und der Ausgestaltung der Basisversorgung insbesondere im ländlichen Raum beeinflusst werden. Bezüglich der

Bekämpfung von Krankheitsüberträgern besteht eine mittlere Anpassungskapazität, insbesondere aufgrund von Zuständigkeitsproblemen und eines hohen Forschungsbedarfs. Abschließend lässt sich eine mittlere bis teilweise hohe Vulnerabilität der menschlichen Gesundheit in naher Zukunft gegenüber den klimatischen Veränderungen konstatieren.

3.15 Querschnittsthemen „Bevölkerungsschutz“ und „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“

Für das Querschnitt-Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“ konnten keine Indikatoren identifiziert werden, mit denen es möglich wäre, bundesweit flächendeckende Aussagen zum Beitrag des Bevölkerungsschutzes zur Anpassungskapazität an den Klimawandel zu treffen. Voraussetzung dafür wäre eine bundesweit und organisationsübergreifend einheitliche Datenerhebung. Da der Bevölkerungsschutz insgesamt ein hohes Niveau aufweist, ist damit zu rechnen, dass er für die Herausforderungen der Klimawandelanpassung gewappnet ist.

Das Querschnitt-Handlungsfeld „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“ wurde hinsichtlich seiner Möglichkeiten, die Anpassungskapazität anderer Handlungsfelder zu unterstützen, untersucht, da die Raumordnung durch die Setzung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten in den Regionalplänen großen Einfluss auf die Anpassungskapazität der Gemeinden in allen Handlungsfeldern der Deutschen Anpassungsstrategie hat. Die Analyse der Regionalpläne ermöglicht eine quantitative Bewertung der formalen Anpassungskapazität der Raumordnung: Danach berücksichtigt die Regionalplanung für die Handlungsfelder „Biologische Vielfalt“ und „Menschliche Gesundheit“ (hier vor allem im Bereich des Hitzeschutzes) in vielen Regionen weitgehend die von der Ministerkonferenz für Raumordnung im Jahr 2013 vorgegebenen Anpassungserfordernisse. Mit Blick auf die Handlungsfelder „Küsten- und Meeresschutz“, „Tourismuswirtschaft“, „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft“ sowie alle Handlungsfelder, die von Flusshochwasser betroffen sind, können die Anpassungsmöglichkeiten der Regionalplanung besser genutzt werden. Besonders beim Thema „Schutz der Berggebiete“ besteht Nachholbedarf. Tatsächliche Anpassungsaktivitäten auf der lokalen Ebene sind insgesamt noch eher gering und konzentrieren sich auf wenige Ballungszentren. Aus diesem Grund besteht nach Einschätzung des Netzwerks Vulnerabilität insbesondere in kleineren und mittleren Kommunen weiterhin erhöhter fachlicher und finanzieller Unterstützungsbedarf.

Die Ergebnisse des KlimaMORO und zahlreicher weiterer Vorhaben zeigen, dass die räumliche Planung auf regionaler Ebene mit ihren formellen und informellen Instrumenten einen wichtigen Beitrag zur Klimawandelanpassung und zum Klimaschutz leisten kann. Gute und innovative Beispiele wie die Erarbeitung von regionalen Anpassungsstrategien oder adäquate Anpassungsmaßnahmen, etwa bei der Ausweisung regionaler Grünzüge als stadtklimatisch relevante Freiräume, bei der Freihaltung hochwassergefährdeter Bereiche und beim Schutz des Wasserhaushaltes vor Trockenheit, haben eine wichtige Vorbildfunktion.

3.16 Generische Anpassungskapazität

Die Anpassungskapazität floss als Status Quo in die Vulnerabilitätsanalyse ein. Sie repräsentiert damit aus heutiger Sicht den Raum der Möglichkeiten, sich mit Hilfe zusätzlicher Maßnahmen an den zu erwartenden Klimawandel anzupassen. Das Netzwerk Vulnerabilität berücksichtigte drei Formen von Anpassungskapazität:

1. die sektorale oder handlungsfeldbezogene Anpassungskapazität, die für jedes Handlungsfeld ermittelt wurde und beschreibt, wie anpassungsfähig das Handlungsfeld ist;
2. die generische Anpassungskapazität, welche allgemein und handlungsfeldunabhängig zentrale Bedingungen für eine anpassungsfähige Gesellschaft beschreibt;

3. die Anpassungskapazität der Querschnittsthemen „Raumplanung“ und „Bevölkerungsschutz“, die den Beitrag dieser sektorübergreifenden Handlungsfelder zur Anpassung an den Klimawandel beschreibt.

Diese flossen zusammen mit der integrierten Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels in die zusammenfassende Bewertung der Vulnerabilität der Handlungsfelder ein.

Für die Einschätzung der generischen Anpassungskapazität im Rahmen des Netzwerks Vulnerabilität wurden die öffentliche Verwaltung, die Privatwirtschaft sowie die Zivilgesellschaft als die wichtigsten Governance-Kategorien ausgewählt. Diese Governance-Kategorien wurden in Dimensionen unterteilt, denen geeignete Indikatoren zugeordnet und mit den Behörden und Institutionen des Netzwerks Vulnerabilität abgestimmt wurden. Das Ergebnis umfasst Karten zur generischen Anpassungskapazität, deren Informationen in fünf Klassen von „sehr geringer Anpassungskapazität“ bis zu einer „sehr hohen Anpassungskapazität“ untergliedert sind. Um abschließend den quantifizierbaren Ausschnitt der generischen Anpassungskapazität in einer Gesamtschau abbilden zu können, wurden die Ergebnisse der untersuchten Indikatoren normalisiert und in einer Karte zusammengeführt. Die Ergebnisse zeigen eine hohe generische Anpassungskapazität in den Großstädten und dicht besiedelten Gebieten. Die geringste Anpassungskapazität weisen neben dem Saarland insbesondere große Teile Ostdeutschlands auf. Insgesamt ist die Aussagekraft der generischen Anpassungskapazität jedoch begrenzt, da durch solche Datenauswertungen nur die potenzielle Fähigkeit zur Anpassung an den Klimawandel abgebildet werden kann, nicht aber der Anpassungswille. Es wurde daher versucht, sich diesem Thema über den Beitrag der Raumplanung zur Anpassungskapazität zu nähern, der zeigt, von welchen formalen Möglichkeiten zur Anpassung die Regionen Gebrauch machen.

Bei der Betrachtung der Anpassungsaktivitäten der Raumplanung wurden sowohl die Anpassungsaktivitäten im Rahmen der Raumplanung auf regionaler Ebene, als auch im Rahmen der Raumplanung auf lokaler Ebene betrachtet. Insgesamt zeigt sich, dass die überwiegende Zahl der Landkreise Deutschlands bisher ihre formalen Anpassungsmöglichkeiten im Bereich Raumplanung zu einem geringen bis mittleren Anteil nutzt.

Die Anpassungsaktivitäten des Bevölkerungsschutzes konnten nicht in einer ähnlichen Weise untersucht werden, da eine in zeitlicher und räumlicher Ebene einheitliche Datenbasis notwendig wäre.

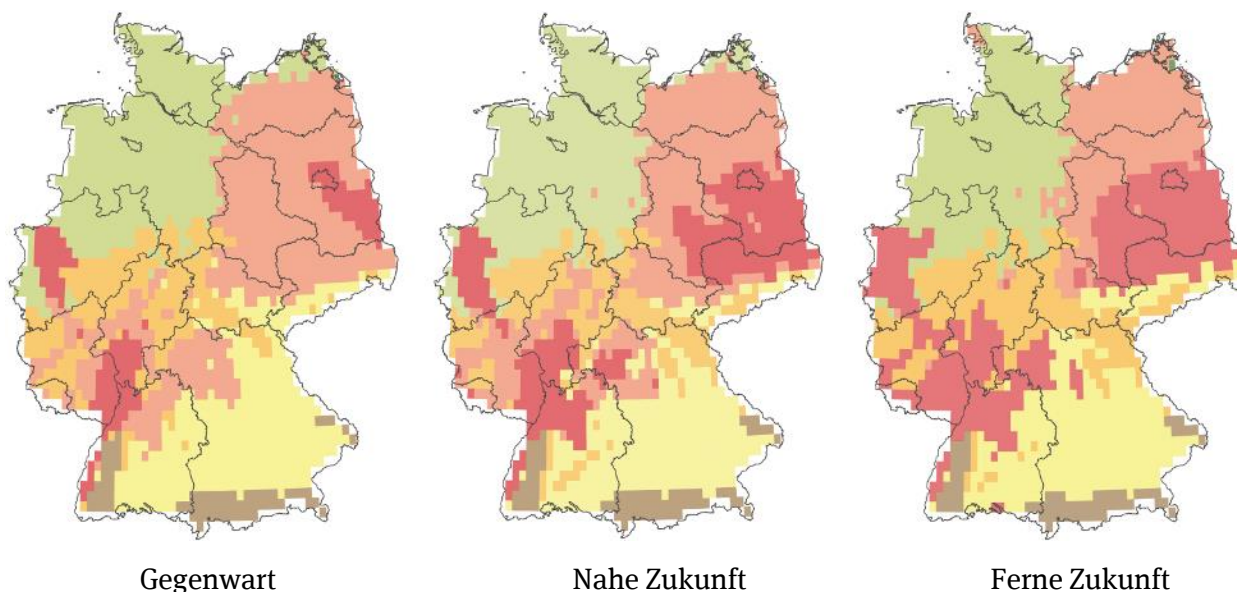
3.17 Vom Klimawandel ähnlich betroffene Räume Deutschlands

Eine statistische Auswertung des Klimamodellensembels des DWD für die Gegenwart, die nahe und die ferne Zukunft zeigt unterschiedliche Klimaräume⁴ in Deutschland: Flächen gleicher Farbe in der Abbildung weisen ein ähnliches Klima auf (Abbildung 1). Sie können auch hinsichtlich der zu erwartenden klimatischen Entwicklung voneinander unterschieden werden.

Insbesondere Regionen mit überdurchschnittlich warmem Klima (*rote Flächen*) werden sich im Zuge des Klimawandels räumlich ausdehnen. In diesen Regionen ist in Zukunft ein besonders starker Anstieg von heißen Tagen und Tropennächten zu erwarten. Gegen Ende des Jahrhunderts werden hier immer stärkere Hitzewellen voraussichtlich zunehmend mit Trockenheit verbunden sein.

⁴ Durch eine Clusteranalyse der Klimaparameter Starkwind, Starkregen, Heiße Tage, Tropennächte, Frosttage, Durchschnittstemperatur (Winter, Sommer), Trockentage (Winter, Sommer) und Niederschlag (Jahreszeitmittel Winter, Sommer) wurden für Deutschland Regionen mit ähnlichem Klima identifiziert. Die Bezeichnungen der Klimaraumtypen sind rein deskriptiv zu verstehen und nicht als allgemein gültige Klimaklassifikation.

Abbildung 1: Klimaraumtypen in Deutschland zur Kennzeichnung „ähnlich betroffener Räume“



Legende: rote Flächen: warme Regionen; lachsfarbene Flächen: Regionen mit trockenerem Klima; grüne Flächen: Regionen mit kühlerem Klima; orange Flächen: Regionen mit Mittelgebirgsklima; gelbe Flächen: Regionen mit Gebirgsvorlandklima; braune Flächen: Regionen mit Gebirgsklima

Regionen mit trockenerem Klima (*lachsfarbene Flächen*) sind heute und absehbar auch künftig von starken jahreszeitlichen Schwankungen bei Temperatur und Niederschlag geprägt. Sie gehören aufgrund ganzjährig unterdurchschnittlicher Niederschläge zu den trockensten Regionen Deutschlands. Der zu erwartende Trend zu höheren Sommer- und Wintertemperaturen, einschließlich einer Zunahme der Heißen Tage und Tropennächte, wird die vorhandenen Wasserressourcen künftig weiter beschränken.

Regionen mit kühlerem Klima (*grüne Flächen*) sind geprägt von Starkwind, gemäßigten Temperaturen und einer geringen Anzahl an Frost- und Trockentagen. Künftig wird hier entsprechend der Klimaprojektionen das Schadenspotenzial extremer Wetterereignisse wie Flusshochwasser in vielen Handlungsfeldern deutlich zunehmen. Gegen Ende des Jahrhunderts können infolge des Meeresspiegelanstiegs erhöhte Sturmfluten auftreten. Darüber hinaus kann insbesondere der Anstieg der Winterniederschläge die Stadtentwässerung in diesen Gebieten vor neue Herausforderungen stellen.

Für Regionen mit Mittelgebirgsklima (*orange Flächen*) sind eine große Anzahl an Frosttagen und Tagen mit Starkregen sowie hohe Sommer- und Winterniederschläge charakteristisch. Die Sommerniederschläge sinken bis in die ferne Zukunft deutlich. Gleichzeitig werden in den Wintermonaten die Niederschläge deutlich zunehmen, aber seltener als Schnee fallen – mit den entsprechenden Folgen für die Wasser- und Tourismuswirtschaft.

Regionen mit Gebirgsvorlandklima (*gelbe Flächen*) sind geprägt von überdurchschnittlichen Sommerniederschlägen, einer großen Zahl von Tagen mit Starkregen sowie vielen Frosttagen. Die Sommertemperaturen und die Anzahl der Heißen Tage nehmen hier wahrscheinlich deutlich zu. Das wird vor allem die Energienachfrage für Kühlung in dieser wirtschaftlich starken Region erhöhen. Das prognostizierte Siedlungs- und Verkehrsflächenwachstum im Südwestdeutschen Raum kann die Auswirkungen des Klimawandels noch weiter verstärken.

Regionen mit Gebirgsklima (*braune Flächen*) weisen viele Tage mit Starkregen und Frost sowie hohe Niederschlagswerte auf. Es ist zu erwarten, dass gerade die Sommerniederschläge noch deutlich zunehmen. Damit werden, trotz einer in etwa gleichbleibenden Zahl an Starkregentagen, häufigere und intensivere Überschwemmungen und Sturzfluten verbunden sein. Eine erwartete,

überdurchschnittlich starke Erwärmung (bei geringem Ausgangsniveau) wird negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben.

3.18 Sektorenübergreifende Auswertung

Basierend auf den Kernaussagen zu den Klimawirkungen wurden sektorenübergreifende Fragestellungen ausgewertet. So wurde analysiert, welche Klimasignale besonders viele Klimawirkungen beeinflussen, die eine mittlere oder hohe Bedeutung⁵ für Deutschland haben, um sektorenübergreifend wesentliche Klimasignale identifizieren zu können. Sehr viele Klimawirkungen werden heute und in naher Zukunft von den zentralen Klimasignalen Temperatur und Niederschlag beeinflusst. Eine hohe Bedeutung haben gegenwärtig aber allein die Auswirkungen von Hitze auf die menschliche Gesundheit. Von mittlerer Bedeutung sind gegenwärtig zum Beispiel einige Auswirkungen extremer Wetterereignisse wie Hochwasser, Hitze, Trockenheit und Starkwind; etwa die Überschwemmung und Unterspülung von Straßen und Schieneninfrastrukturen, Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Starkwind und die Verfügbarkeit von Kühlwasser für thermische Kraftwerke. In naher Zukunft nimmt die Bedeutung extremer Wetterereignisse und ihrer Folgen zu.

Besonders viele hoch bedeutende Klimawirkungen werden im Handlungsfeld „Bauwesen“ gesehen. Vier der fünf hier betrachteten Klimawirkungen werden für den Fall eines starken Wandels in naher Zukunft als hoch bedeutend eingeschätzt („Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Sturmfluten, Flusshochwasser und Sturzfluten“, „Stadtklima und Luftqualität“ und „Innenraumklima und Aufwand für Kühlung“). Es folgt der Küsten- und Meeresschutz mit drei hoch bedeutenden Klimawirkungen im Fall eines starken Wandels („Hochwasser durch Sturmfluten“, „Belastung von Bauwerken und Infrastrukturen“ und „Schäden an Küsten (naturräumliche Veränderungen)“). Jeweils zwei hoch bedeutende Klimawirkungen werden in den Handlungsfeldern „Wald- und Forstwirtschaft“ („Schäden durch Schadorganismen“, „Veränderung von Nutzfunktion“), „Fischerei“ („Gebietsfremde Arten, Artenspektrum“ und „Wachstum, Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen“) und „Menschliche Gesundheit“ („Hitzebelastung“ und „Atembeschwerden durch bodennahes Ozon“) gesehen.

Betrachtet man die Anpassungskapazität für die Handlungsfelder und die Dauer, die für eine Anpassung an den Klimawandel benötigt wird, die schon heute von Bedeutung sind oder deren Bedeutung im Fall eines starken Wandels in naher Zukunft deutlich ansteigt, fallen insbesondere die „Wald- und Forstwirtschaft“ und der „Küsten- und Meeresschutz“ ins Auge. Beide Handlungsfelder brauchen eine lange Zeit zur Anpassung. Hier müssen bereits jetzt Maßnahmen umgesetzt werden, um künftigen Entwicklungen zu begegnen. Auch in den Handlungsfeldern „Menschliche Gesundheit“ und „Bauwesen“ sind Anpassungsmaßnahmen bereits gegenwärtig notwendig, da sie schon heute bedeutende Klimawirkungen erfahren.

Eine teilweise hohe Vulnerabilität weisen neben den Handlungsfeldern „Wald- und Forstwirtschaft“, „Bauwesen“ und „Menschliche Gesundheit“ auch die „Biologische Vielfalt“ und die „Fischerei“ auf, weil sie teilweise über geringe Anpassungskapazitäten verfügen.

Abschließend wurde betrachtet, auf welche Systeme die im Netzwerk Vulnerabilität analysierten Klimawirkungen wirken. Dabei wurde zwischen natürlichen Ressourcen, Wirtschaft, Infrastrukturen und der menschlichen Gesundheit unterschieden. Die meisten Klimawirkungen konnten der Wirtschaft sowie den natürlichen Ressourcen zugeordnet werden. Grund dafür ist die im Netzwerk gewählte Betrachtung entlang der Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie, von denen viele einzelne Wirtschaftssektoren im Fokus haben. Die Querauswertung ergab, dass den Klimawirkungen auf natürliche Ressourcen, Wirtschaft sowie Infrastrukturen für die Gegenwart

⁵ Die Bedeutung der Klimawirkungen für Deutschland wurde vom Netzwerk Vulnerabilität normativ bewertet.

überwiegend noch eine geringe Bedeutung beigemessen wird. Die Klimawirkungen auf die menschliche Gesundheit werden hingegen schon heute, wie auch im Falle eines schwachen Wandels in der Zukunft, im Schnitt als mittel bedeutend eingeschätzt. Die Mehrzahl von der Klimawirkungen im Bereich Menschliche Gesundheit könnte im Falle eines starken Wandels von hoher Bedeutung sein. Die Klimawirkungen auf die menschliche Gesundheit haben nicht nur die höchste Bedeutung, sondern auch eine im Vergleich zu Klimawirkungen auf andere Systeme relativ hohe Gewissheit. Nach Einschätzung des Netzwerks Vulnerabilität sind daher die menschliche Gesundheit, Infrastrukturen und natürliche Ressourcen in naher Zukunft stärker vom Klimawandel betroffen als die Wirtschaft.

3.19 Handlungsfeldübergreifende und räumliche Schwerpunkte

Die zentralen Ergebnisse der vom Netzwerk Vulnerabilität durchgeführten Analysen und Bewertungen können abschließend zu sechs handlungsfeldübergreifenden und räumlichen Schwerpunkten der Folgen des Klimawandels zusammengefasst werden (siehe Abbildung 2):

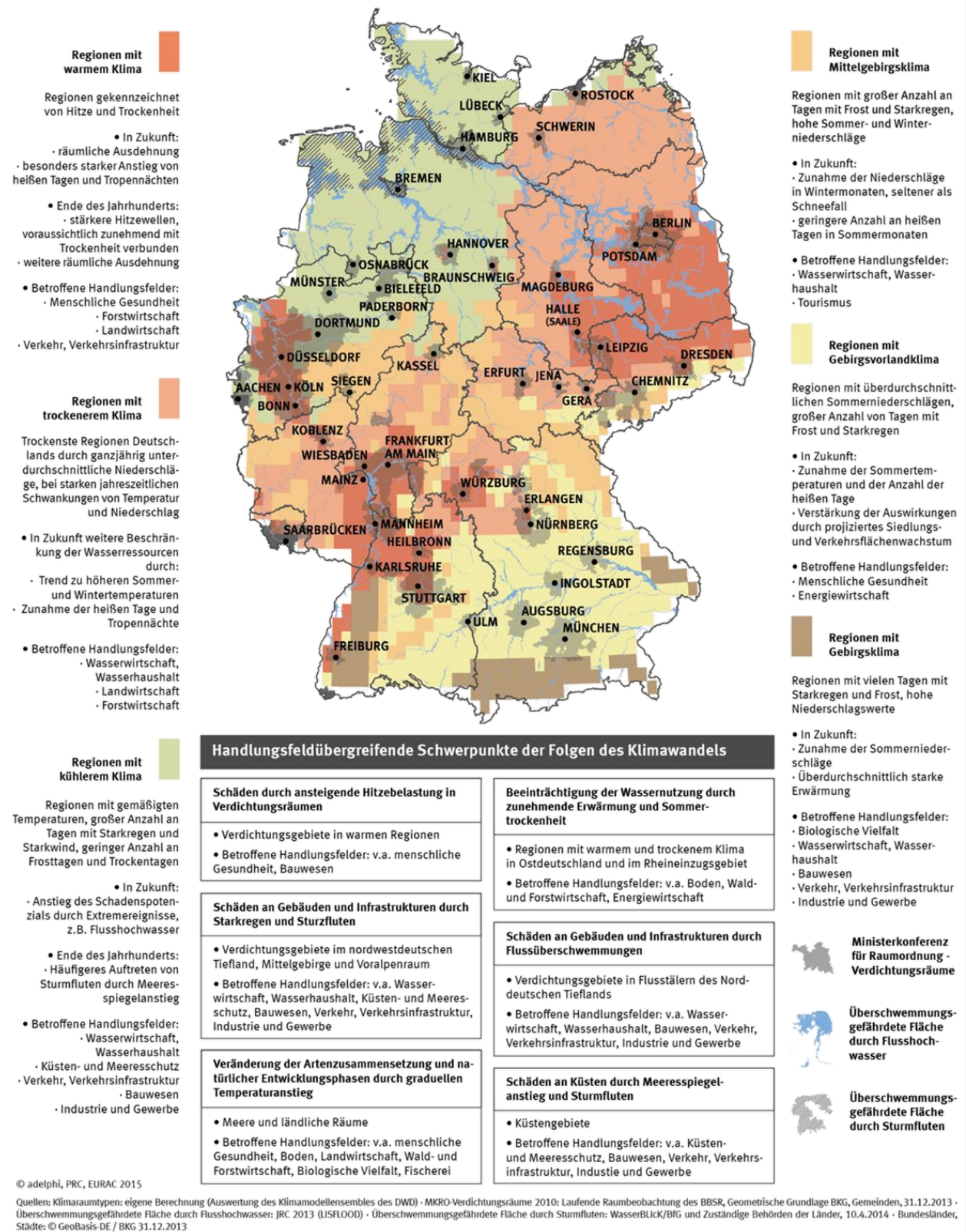
1. Schäden durch ansteigende Hitzebelastung in Verdichtungsräumen (besonders betroffene Handlungsfelder: Menschliche Gesundheit und Bauwesen; räumlicher Schwerpunkt: Ballungsgebiete in warmen Regionen, die sich in Zukunft noch ausdehnen werden)
2. Beeinträchtigung der Wassernutzungen durch zunehmende Erwärmung und (in ferner Zukunft) vermehrter Sommertrockenheit (besonders betroffene Handlungsfelder: Boden, Wald und Forstwirtschaft und Energiewirtschaft; räumlicher Schwerpunkt: Regionen mit warmem und trockenerem Klima in Ostdeutschland und dem Rhein-Einzugsgebiet)
3. Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Starkregen und Sturzfluten in urbanen Räumen (besonders betroffene Handlungsfelder: Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt, Küsten- und Meeresschutz, Bauwesen, Verkehr, Verkehrsinfrastruktur und Industrie und Gewerbe; räumlicher Schwerpunkt: Ballungszentren im nordwestdeutschen Tiefland, Mittelgebirge und südwestdeutschen Raum)
4. Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Flussüberschwemmungen (besonders betroffene Handlungsfelder: Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt, Bauwesen, Verkehr, Verkehrsinfrastrukturen, Industrie und Gewerbe; räumlicher Schwerpunkt: Ballungsräume in Flusstälern des Norddeutschen Tieflands, aber auch Einzugsgebiete des Rheins und der Donau)
5. Schäden an Küsten infolge von (in ferner Zukunft verstärktem) Meeresspiegelanstieg und damit verbundenem erhöhtem Seegang sowie steigender Sturmflutgefahr (besonders betroffene Handlungsfelder: Küsten- und Meeresschutz, Bauwesen, Verkehr, Verkehrsinfrastruktur und Industrie und Gewerbe; räumlicher Schwerpunkt: Küste)
6. Veränderung der Artenzusammensetzung und der natürlichen Entwicklungsphasen durch einen graduellen Temperaturanstieg (besonders betroffene Handlungsfelder: Menschliche Gesundheit, Boden, Biologische Vielfalt, Landwirtschaft, Wald- und Forstwirtschaft, Fischerei; räumliche Schwerpunkte: Meere und ländliche Räume)

Der Anstieg der heißen Tage ist das deutlichste und stärkste Klimasignal mit erheblichen Auswirkungen auf Gesundheit und Infrastrukturen, insbesondere in Ballungsräumen. Parallel sind die Wasser-, Land- und Forstwirtschaft besonders von ansteigender Erwärmung und in ferner Zukunft von Trockenheit bedroht. Die gegenüber dem Klimawandel vulnerabelsten Regionen Deutschlands sind Kreise mit strukturellen Defiziten, die in Regionen mit warmem Klima liegen und damit am stärksten von Hitze und Trockenheit betroffen sind.

Weitere vulnerable Regionen sind aufgrund des erwarteten Anstiegs der sommerlichen Starkregen und der Winterniederschläge strukturschwache Ballungsräume mit hohem Anteil an überschwemmungsgefährdeten Gebieten. Diese können nicht nur von Flusshochwasser sondern auch von durch Starkregen ausgelösten Überschwemmungen oder Sturzfluten betroffen werden.

Langfristig werden besonders Küstenregionen sowie Arten und Lebensräume vom graduellen Temperaturanstieg bedroht werden, die an einzigartige und empfindliche Regionen gebunden sind, wie das Wattenmeer und das Hochgebirge.

Abbildung 2: Regionale Betroffenheit und handlungsfeldübergreifende Folgen des Klimawandels in Deutschland (nahe Zukunft)



4 Forschungsbedarf

Die wissenschaftlichen Herausforderungen für eine integrierte Vulnerabilitätsbewertung lassen sich an drei wesentlichen Aspekten festmachen

1. Der Blick in die Zukunft und die damit verbundenen Unsicherheiten in Klimaszenarien und sozio-ökonomischen Szenarien: Generell sind Aussagen über zukünftige Entwicklungen mit großen Unsicherheiten behaftet. Der in diesem Vorhaben gewählte Ensemble-Ansatz für Klimaszenarien ist gut geeignet, um Aussagen über die mögliche Spanne von Änderungen einzelner Klimaparameter (zum Beispiel Temperatur) über einen gemittelten Zeitraum zu treffen. Bisher fehlen Möglichkeiten, solche Spannen auch für komplexe klimatische Zusammenhänge (mehrere voneinander abhängige Klimaparameter, Zeitreihen) darzustellen. Auch bestehen für wesentliche Klimaparameter (Niederschlag generell, Extremereignisse wie Starkregen und Wind) hohe Unsicherheiten, die kaum robuste Aussagen über Klimawirkungen zulassen. Hier besteht noch großer Forschungsbedarf.

Insbesondere für sozio-ökonomische Faktoren von Sensitivität (zum Beispiel Landnutzung, Einkommensstrukturen, Demographie) besteht Bedarf an mit den Klimaszenarien zeitlich konsistenten sozio-ökonomischen Szenarien, um herausarbeiten zu können, welche Klima- und Sensitivitätsparameter maßgeblich für die beobachteten oder projizierten Klimawirkungen sind.

2. Die Komplexität der Wirkungszusammenhänge: Generell hat sich der im Netzwerk Vulnerabilität verfolgte Ansatz, Klimawirkungen mit Hilfe von Wirkungsketten darzustellen bewährt. Allerdings bestehen für die wenigsten dieser Wirkungen quantitative Modelle oder etablierte Indikatoren. Über 40 der 72 als potenziell relevant bewerteten Klimawirkungen konnten teilweise aufgrund fehlenden Systemverständnisses meist aber wegen fehlender bundesweiter Daten nicht über Modelle oder Indikatoren quantifiziert werden. Hier besteht noch großer Entwicklungsbedarf. Ein wichtiger Punkt, an dem weiter gearbeitet werden sollte, sind die komplexen Wechselwirkungen zwischen Handlungsfeldern.

3. Die Bewertung von Klimawirkungen und Anpassung: Generell existieren keine etablierten und standardisierten Verfahren für eine Vulnerabilitätsbewertung. Offene Fragen sind zum Beispiel, wie die Teilergebnisse aus oft sehr heterogenen Informationsquellen (Daten, Proxyindikatoren, Expert/innenwissen) räumlich und sachlich aggregiert werden können. Entscheidend ist dabei auch die Fragen nach normativen Setzungen beziehungsweise dem Zielsystem der Bewertung. Für die wenigsten Bewertungsschritte und Handlungsfelder existiert ein solches Zielsystem.

Zudem wurde für jedes einzelne Handlungsfeld der Forschungsbedarf untersucht. Dabei fällt auf, dass selbst im Bereich der physischen Klimawirkungen auf die Handlungsfelder des Clusters „Land“ (Boden, Biologische Vielfalt, Land- und Forstwirtschaft) überwiegend die direkten Klimawirkungen gut erforscht sind. Komplexe Klimawirkungen, wie die klimatischen Auswirkungen auf Schaderreger, sind noch nicht ausreichend verstanden. Noch weniger untersucht sind längere Wirkungsketten, die zu Klimawirkungen zum Beispiel im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ führen. Hier liefert das Netzwerk Vulnerabilität den Vorschlag, dass gerade an solchen komplexen Ketten in Zukunft weiter gearbeitet werden sollte.

5 Methodische Empfehlungen für zukünftige Analysen

Der Klimawandel hat Auswirkungen auf viele Bereiche der Gesellschaft, der Wirtschaft und der Umwelt. Wie diese aussehen können und welche Systeme besonders verwundbar sind, wird mithilfe von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien analysiert. Aber: Es gibt keine einheitliche Definition von Vulnerabilität und das am weitesten verbreitete Konzept des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gibt keine Operationalisierung vor.

Vor diesem Hintergrund will das vorliegende Politikpapier eine Diskussionsgrundlage schaffen, wie Standards für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen aussehen können, welche Methoden zu empfehlen sind und wie eine bessere Vergleichbarkeit der Studien erreicht werden kann. Es setzt dafür an zentralen Lücken des Vulnerabilitätskonzeptes sowie an den Erfahrungen des Netzwerks Vulnerabilität an. Ziel ist die Erarbeitung vergleichbarer Forschungsergebnisse sektoraler⁶ und sektorenübergreifender Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen auf Bundes- und Landesebene.

Diese methodischen Empfehlungen werden auf der Konferenz im Rahmen eines Workshops diskutiert und anschließend überarbeitet. Das vollständige Politikpapier wird im Juli auf der Homepage des Netzwerks Vulnerabilität (www.netzwerk.vulnerabilitaet.de) veröffentlicht.“

5.1 Empfehlungen für Konzeption und Methodik einer Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsstudie

Allgemeine Empfehlungen für Analyse- und Bewertungsmethoden

Unabhängig von bestehenden Unsicherheiten und dem gegebenen Entscheidungsspielraum sollten Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien, wie alle wissenschaftlichen Arbeiten, einige grundlegende Kriterien erfüllen:

- ▶ **Trennung der Sachebene von der Wertebene:** Die Sachebene, die wissenschaftlich untersucht werden kann (zum Beispiel die Veränderung der Häufigkeit von Hitzetagen), muss deutlich von der Wertebene (zum Beispiel die Auswahl eines Szenarios), die eine (politisch) abgestimmte Entscheidung erfordert, unterschieden werden.
- ▶ **Validität:** In den Werturteilen müssen sich die Inhalte und Prioritäten des zugrunde liegenden Zielsystems, das auch von einer mandatierten Gruppe von beteiligten Fachakteuren festgelegt worden sein kann, wiederfinden.
- ▶ **Strukturkonsistenz:** Eine Bewertungsstruktur muss in sich konsistent sein und damit zu einer konsistenten Ordnung der zu bewertenden Sachverhalte führen.
- ▶ **Transparenz und Nachvollziehbarkeit:** Ablauf und Ergebnis der Bewertung müssen für den Adressaten beziehungsweise Entscheidungsträger einer Analyse, aber auch die Betroffenen durchschaubar und nachvollziehbar sein.
- ▶ **Verlässlichkeit (Reliabilität):** Ein wiederholter Durchlauf der Methode unter den gleichen Rahmenbedingungen sollte zu den gleichen oder zumindest sehr ähnlichen Ergebnissen kommen.

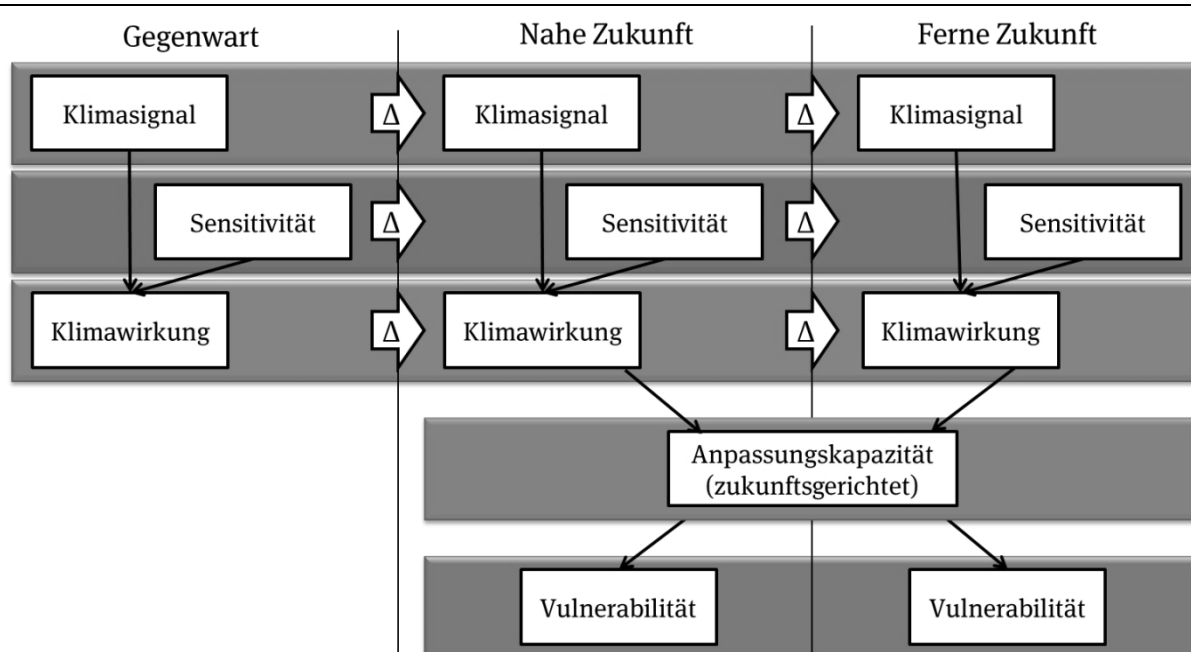
⁶ Im Rahmen dieses Politikpapiers wird der Begriff „Sektor“ synonym zu den Handlungsfeldern verwendet, wie sie im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie definiert sind.

Das Vulnerabilitätskonzept

Der IPCC beschreibt Vulnerabilität als das Maß, zu dem ein System gegenüber nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderung, einschließlich Klimavariabilität und Extremwerte, anfällig ist und nicht damit umgehen kann. Vulnerabilität ist eine Funktion der Art, des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und -schwankung, der ein System ausgesetzt ist, seiner Sensitivität und seiner Anpassungskapazität (Parry et al. 2007; siehe Abbildung 3). Detaillierte Aussagen zu dieser Funktion und zum Zeitbezug der Elemente von Vulnerabilität werden nicht getroffen.

Abbildung 3 stellt das Vulnerabilitätskonzept des Netzwerks Vulnerabilität dar. Die von ihm betrachteten drei Zeitebenen sind klar erkennbar. Anpassungskapazität und Vulnerabilität sind hier zukunftsgerichtete Elemente. Das heißt, dass Anpassungskapazität die heutigen Möglichkeiten abbildet, die Klimawirkung der Zukunft zu verringern. Insofern ist auch die Vulnerabilität, die die Anpassungskapazität beinhaltet, auf künftige Entwicklungen ausgerichtet. Im Folgenden werden die Elemente von Vulnerabilität näher betrachtet.

Abbildung 3: Vulnerabilitätsanalysekonzept des Netzwerks Vulnerabilität (Hinweis: Im Rahmen der Analyse des Netzwerks Vulnerabilität umfasste die nahe Zukunft den Zeitraum 2021 bis 2050 und die ferne Zukunft 2071 bis 2100.)



Empfehlungen und Diskussionsfragen: Konzeption einer Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsstudie

Zentrale Empfehlungen

1. Zunächst ist der Zweck jeder Studie zu definieren. Von ihm hängen das angestrebte Ziel (Art des Ergebnisses) und damit die verwendete Methodik und etwaige Bewertungsschemata ab.
2. Es gibt mehrere Vulnerabilitätskonzepte. Zu Beginn jeder Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsstudie muss daher festgelegt werden, welchem Konzept gefolgt wird. Dabei muss das Ziel der Studie Berücksichtigung finden.
3. Es ist wichtig, zu Beginn der Studie alle zentralen Begriffe eindeutig zu definieren.
4. Im Allgemeinen beinhalten Vulnerabilitätskonzepte selten Vorgaben für ihre Operationalisierung. Daher sollte die Operationalisierung der zentralen Begriffe (die Elemente von Vulnerabilität) im Einzelnen beschrieben werden.
5. Schließlich sollten mit Blick auf das Ziel der Studie die Untersuchungszeiträume festgelegt

werden. Empfohlen wird, die Gegenwart als Referenzzeitraum, einzubeziehen. Für politische Empfehlungen eignet sich der Ausblick in die nahe Zukunft (etwa die nächsten 15 bis 30 Jahre). Für langfristige Entwicklungen und Planungen kann zudem die ferne Zukunft einbezogen werden (bis zum Ende des Jahrhunderts).

Fragen zur Diskussion

1. Der IPCC, dessen Vulnerabilitätskonzept das am häufigsten verwendete ist, hat mit dem fünften Sachstandsbericht sein Verständnis von Vulnerabilität verändert. Welches der beiden Konzepte zu empfehlen ist, hängt vom Zweck der Studie ab. Können hier allgemeine Empfehlungen ausgesprochen werden?

Klimasignal

Das Klimasignal (exposure) beschreibt die für eine Klimawirkung relevanten Klimaparameter des heutigen Klimas (t_0) beziehungsweise des Klimas in der Zukunft ($t_{>0}$).

Empfehlungen und Diskussionsfragen: Klimasignal

Zentrale Empfehlungen

1. Um bestehende Unsicherheiten hinsichtlich der Klimaentwicklung zu kommunizieren und zu bewerten, sollte mit einem Ensemble von Klimaprojektionen gearbeitet werden.
2. Im Rahmen des gewählten Ensembles von Klimaprojektionen gestattet die Verwendung eines 15. und 85. Perzentils die Angabe einer statistisch gesicherten Bandbreite einer möglichen Entwicklung.
3. Um ein möglichst umfangreiches Ensemble von Klimaprojektionen zu nutzen, wird in der Regel ein Szenario mit vielen Projektionsläufen, wie das SRES-Szenario A1B gewählt. Ein Ensemble aus mehreren Emissionsszenarien ist nur sinnvoll, wenn die Wirkungen der Unsicherheiten der sozioökonomischen Annahmen untersucht werden soll.
4. Das Klima bildet den durchschnittlichen Zustand der Atmosphäre ab und wird in der Regel über einen Zeitraum von 30 Jahren berechnet. Als Referenzzeitraum wird von der WMO dauerhaft die Periode 1961 – 1990 für die Bewertung des langfristigen Klimawandels empfohlen.

Fragen zur Diskussion

1. Bislang hat das SRES-Szenario A1B die Entwicklung der Treibhausgasemissionen am realistischsten abgebildet. Mit dem fünften Sachstandsbericht des IPCC wurden neue Szenarien (representative concentration pathways (RCPs)) veröffentlicht. Welche eignen sich für künftige Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien besonders?

Sensitivität

Die Sensitivität (sensitivity) beschreibt, in welchem Maße ein bestehendes nicht klimatisches System (Sektor, Bevölkerungsgruppe, aber auch biophysikalische Faktoren) bereits auf ein definiertes Klimasignal reagiert.

Empfehlungen: Sensitivität

Zentrale Empfehlungen

1. Nicht nur das Klima ändert sich, sondern auch die Systeme, auf die es wirkt. Daher sollte, wo möglich, für die Betrachtung der künftigen Sensitivität auf Sensitivitätsszenarien zurückgegriffen werden, vor allem für die sozio-ökonomischen Faktoren von Sensitivität.
2. Diese Sensitivitätsszenarien sollten mit den Klimaszenarien konsistent sein.

Klimawirkungen und Wirkungsketten

Eine Klimawirkung (impact) beschreibt zum Zeitpunkt t_0 die Wirkung des heutigen Klimas auf das heutige System beziehungsweise zum Zeitpunkt $t_{>0}$ die Wirkung des zukünftigen Klimas auf ein zukünftiges System. Wirkungsketten verdeutlichen, welches Klimasignal welche möglichen Klimawirkungen beeinflusst und beinhalten Hinweise auf Wechselbeziehungen zu anderen Handlungsfeldern. Die Wirkungsketten stellen das Grundgerüst für die Vulnerabilitätsanalyse dar. Zudem dienen sie als wichtiges Kommunikationswerkzeug, um mit den beteiligten Akteuren klar zu vereinbaren, was analysiert wird und welche klimatischen und sozioökonomischen Parameter eine Rolle spielen.

Wirkungsketten können darüber hinaus als Basis für die Analyse der Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Handlungsfeldern dienen, indem sie solche Beziehungen aufzeigen (etwa, wenn gleiche Klimawirkungen in mehreren Handlungsfeldern von Bedeutung sind oder eine Klimawirkung in einem Handlungsfeld eine Klimawirkung in einem anderen Handlungsfeld verursacht). Dies ist für sektorenübergreifende Analysen von großer Relevanz.

Von einer großen Zahl identifizierter möglicher Auswirkungen des Klimawandels sollten die für den jeweiligen Untersuchungsraum relevanten Klimawirkungen ausgewählt werden. Werden mehrere Fachakteure in die Auswahl einbezogen, sollten die einzelnen Auswahlkriterien genau definiert werden. Die Auswahl ist immer eine Form der individuellen, auf Expertenwissen basierenden Bewertung und Einschätzung. Nicht zuletzt deshalb bietet sich ein schrittweises Vorgehen in der Auswahl, Bewertung und Priorisierung von Klimawirkungen an:

1. Auswahl relevanter Klimawirkungen
2. Operationalisierung
3. Bewertung der Ergebnisse der Operationalisierung

Für die Analyse der derzeitigen Auswirkungen des Klimas und jener in der nahen Zukunft bestehen drei grundsätzliche methodische Herangehensweisen:

1. Sind Wirkmodelle zur Abschätzung der Klimawirkungen vorhanden, die die komplexen und häufig nicht linearen Zusammenhänge zwischen Klimasignalen und Sensitivitätsparametern abbilden, so werden ihre Ergebnisse genutzt. Dabei muss darauf geachtet werden, welche Annahmen den Modellen zu Grunde liegen und ob sie mit den eigenen vereinbar sind.
2. In Fällen, in denen nicht auf vorhandene Wirkmodelle aufgebaut werden kann, sollte eine Parametrisierung der Auswirkungen über von Experten benannte Proxyindikatoren für die Kernelemente Klimasignal und Sensitivität stattfinden, das heißt für jede Klimawirkung einer für die Bearbeitung ausgewählten Wirkungskette werden ein oder mehrere Klimasignale und Sensitivitätsindikatoren verwendet.
3. Lassen sich Wirkungszusammenhänge nicht oder nur teilweise über das unter 1. oder 2. erläuterte Vorgehen abbilden, kann sich die Bewertung der Auswirkungen auf Wissen stützen, das über Expertenbefragungen narrativ gewonnen wird.

Diese Empfehlungen beziehen sich darauf, eine flächendeckende Aussage zu Klimawirkungen zu schaffen und verschiedene, zum Teil sehr unterschiedliche Indikatoren vergleichbar zu machen. Wenn der Zweck der Studie ein anderer ist, wenn es beispielsweise darum geht, einzelne „Hot Spots“ zu identifizieren oder detailliert Wirkungszusammenhänge zu ermitteln, bietet sich alternativ dazu eine Herangehensweise an, bei der zunächst überall Expertengespräche durchgeführt werden um nur dort zu quantifizieren, wo genauere Aussagen notwendig sind.

Empfehlungen und Diskussionsfragen: Klimawirkungen

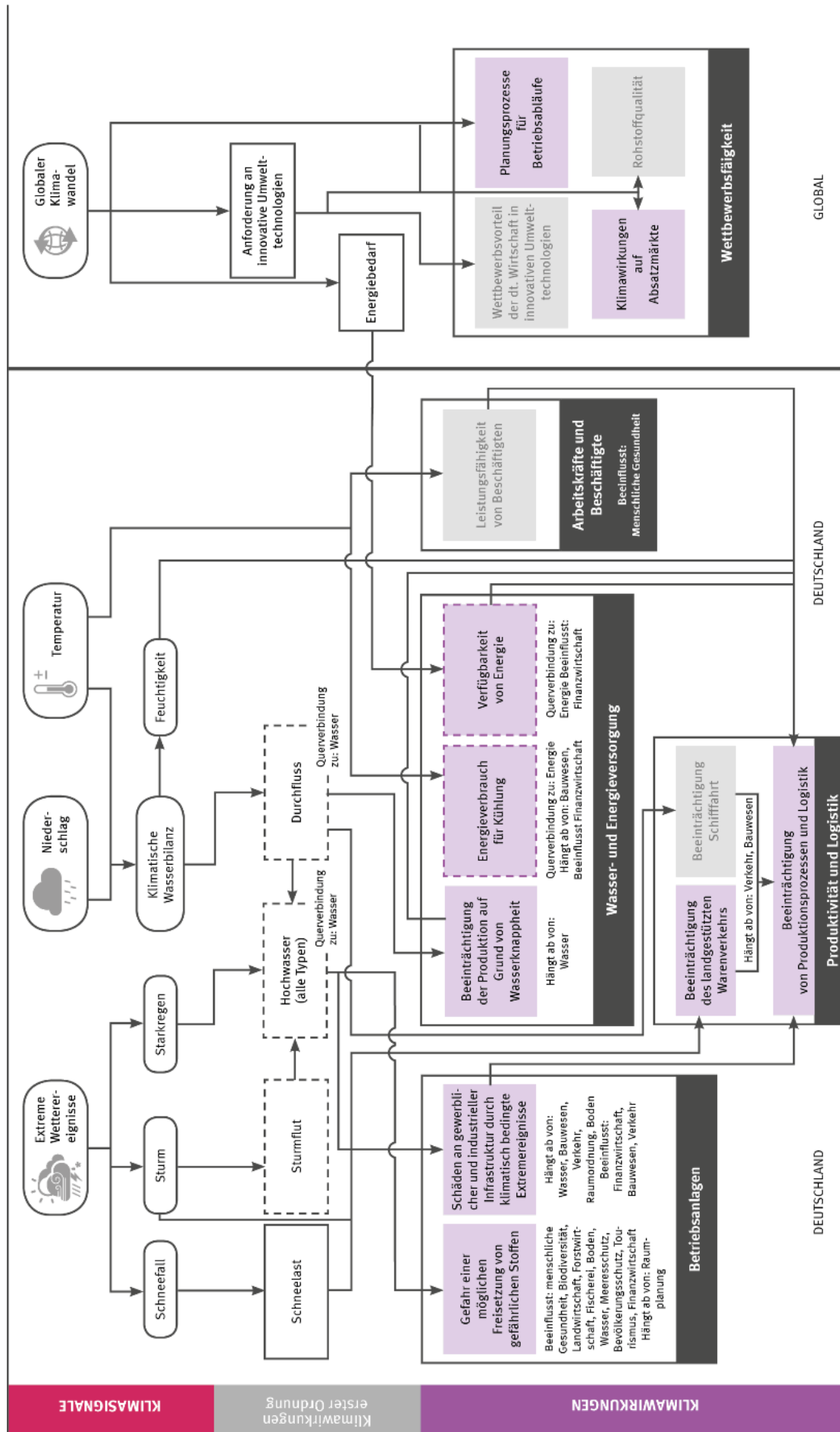
Zentrale Empfehlungen

1. Von einer großen Zahl identifizierter möglicher Auswirkungen des Klimawandels sollten die für den jeweiligen Untersuchungsraum relevanten Klimawirkungen ausgewählt werden. Die Auswahlkriterien sollten dem Zweck der Studie entsprechen. Für einen sektorenübergreifenden Vergleich sollten soziale, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle sowie flächenhafte Aspekte für den jeweiligen Untersuchungsraum berücksichtigt werden. Wichtig ist hierbei, dass die wesentlichen Auswirkungen erfasst werden.
2. Es wird empfohlen, zusammen mit den beteiligten Fachakteuren und aufbauend auf vorhandenem (Literatur-) Wissen einfache Wirkungsketten zunächst für alle relevanten Klimawirkungen zu entwickeln, unabhängig ob diese Wirkungen mit Modellen, Indikatoren oder auch über Expertenwissen abgedeckt werden können, um die Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen Klimasignalen und möglichen Klimawirkungen zu analysieren.
3. Bei der Vulnerabilitätsanalyse sollte das Vorgehen für die Zeiträume Gegenwart und Zukunft jeweils der gleichen Methodik folgen, wenn die Ergebnisse verglichen werden sollen.
4. In jedem Fall empfiehlt sich die Verwendung von klar definierten Kennwerten pro Klimawirkung. Diese können quantitativ sein, aber auch semi-quantitativ in einem definierten Bewertungssystem.
5. Neben den Zuständen des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt sollte auch die Veränderung zwischen den Zeiträumen betrachtet werden, weil die Stärke und Geschwindigkeit der Änderungen zwischen Gegenwart und naher Zukunft erste Einschätzungen für die ferne Zukunft erlauben (trifft nicht zu auf Schwellenwert-Situationen und Kipp-Punkte).
6. Für die Verschneidung quantitativer Informationen zu Klimasignal und Sensitivität empfiehlt sich eine Normalisierung über eine dimensionslose Skala zwischen 0 und 1; vor allem dann, wenn es um grundsätzliche strategische Fragen zur Anpassung an den Klimawandel geht. Dabei sollte die Bestimmung des für einen Kennwert jeweils kleinsten und größten Wertes über alle betrachteten Zeiträume vorgenommen werden, um die Aussagen über die verschiedenen Zeiträume vergleichbar zu machen.
7. Sofern klare Grenz- oder Schwellenwerte bei den Klimafolgen definiert werden können, ist die Darstellung von absoluten Werten sinnvoll.
8. Wenn der Zweck der Studie nicht darin besteht, flächendeckend vergleichbare Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels zu treffen, sondern detailliert Wirkungszusammenhänge zu ermitteln, bietet es sich an, zunächst überall Expertengespräche zu führen. Wichtig ist dabei, einen strukturiert geführten Interviewleitfaden zu entwickeln. Auch ist eine ausreichend große und repräsentative Anzahl an Experten anzustreben.

Fragen zur Diskussion

1. Unter welchen Umständen ist eine quantitative Vulnerabilitätsabschätzung sinnvoll? Welche Möglichkeiten bestehen bezüglich einer semi-quantitativen Zusammenführung?
2. Können allgemeine Richtwerte empfohlen werden, wie viele Experten für eine qualitativ einzuschätzende Klimawirkung hinzugezogen werden sollten?

Abbildung 4: Beispiel für eine Wirkungskette im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“



Anpassungskapazität

Die Anpassungskapazität (adaptive capacity) ist die Fähigkeit eines Systems, sich an den Klimawandel anzupassen und potenziellen Schaden zu mindern. Sie bezieht sich definitorisch immer auf die Zukunft beziehungsweise die Möglichkeit, zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen. In der Vergangenheit bereits getroffene Anpassungsmaßnahmen wie die Errichtung eines Bewässerungssystems, um sich vor klimatischer Trockenheit zu schützen, fließen in die Bewertung der Sensitivität mit ein.

Empfehlungen: Anpassungskapazität

Zentrale Empfehlungen

1. Eine besondere Herausforderung bei einer Vulnerabilitätsbewertung ist die Tatsache, dass die Anpassungskapazität über technische und finanzielle Möglichkeiten hinaus von einer Vielzahl schwierig zu messender Faktoren beeinflusst ist. Um solche Faktoren berücksichtigen zu können, wird empfohlen, die sektorenunabhängigen und die sektorspezifischen beziehungsweise klimawirkungsspezifischen Rahmenbedingungen der Anpassungskapazität der verschiedenen Akteure an den Klimawandel getrennt zu untersuchen.
2. Als Grundlage für die Auswahl von Anpassungsmaßnahmen reicht prinzipiell eine qualitative Abschätzung der Anpassungskapazität. Wenn aber Zielvereinbarungen über Anpassungserfolge getroffen werden sollen (Monitoring von Maßnahmen), ist zu empfehlen die Anpassungskapazität quantitativ abzuschätzen. Dies ist auf Klimawirkungsebene jedoch nur möglich, wenn eindeutige Ursache-Wirkungsbeziehungen bestehen und mithilfe von Schwellen- oder Grenzwerte realitätsnah berechnet werden können.
3. Anpassungskapazität sollte auch getrennt von den Ergebnissen zu Klimawirkungen kommuniziert werden, da die (theoretische) Anpassungskapazität nur dann wirklich die Klimawirkung reduziert, wenn sie in Maßnahmen umgesetzt wird.

Vulnerabilität

Die Vulnerabilität ergibt sich aus einer Gegenüberstellung und Zusammenschau der Elemente „Klimawirkung“ und „Anpassungskapazität“.

Empfehlungen: Vulnerabilität

Zentrale Empfehlungen

1. Wenn klar definierte Kenngrößen für die Anpassungskapazität bestehen und der Effekt von Anpassungsmaßnahmen abgeschätzt werden soll, sollte Vulnerabilität quantitativ bewertet werden.
2. Wenn die Identifikation räumlicher Schwerpunkte der Vulnerabilität Ziel der Studie ist und die Vulnerabilität nur verbal-qualitativ eingeschätzt werden kann, wird empfohlen, mit Hilfe der räumlichen Dimension der Klimawirkung indikativ-verbal Aussagen zur räumlichen Verteilung von Vulnerabilitäten zu treffen.

Zeitbezug der Systemelemente

Empfehlungen und Diskussionsfragen: Zeitbezug

Zentrale Empfehlungen

1. Es wird empfohlen, wo immer möglich, auch für die Abschätzung der Sensitivitätsentwicklung Projektionen zu verwenden.
2. Da Sensitivitäts- und Klimaprojektionen mit Unsicherheit behaftet sind, wird angeregt, im Ergebnis von Vulnerabilitätsszenarien zu sprechen.

Fragen zur Diskussion

1. Vulnerabilitätsszenarien beinhalten die Multiplikation der Unsicherheiten von Sensitivität und Klimasignal-Projektionen. Wie kann damit umgegangen werden?

Szenarien des starken und schwachen Wandels

Empfehlungen: Szenarien

Zentrale Empfehlungen

1. Klimasignal und Sensitivitätsszenarien sollten zu Szenariokombinationen zusammengefasst werden.
2. Sofern möglich wird die Betrachtung von mindestens zwei alternativen Szenariokombinationen (starker und schwacher Wandel) empfohlen, da auf diese Weise die Bandbreite möglicher Entwicklungen abgebildet werden kann. Dies ist eine der wesentlichen Möglichkeiten, mit den bestehenden Unsicherheiten umzugehen.
3. Die Auswahl einer Kombination „mittlerer Wandel“ wird sich dann nicht lohnen, wenn die Abgrenzung zu den beiden anderen Szenariokombinationen nicht deutlich genug ist und die Interpretierbarkeit der Ergebnisse durch die hohe Zahl von Ergebniskarten eingeschränkt würde.

Einheitliche Datengrundlagen und räumliche Auflösung

Empfehlungen: Datengrundlage

Zentrale Empfehlungen

1. Das Klimamodell-Ensemble sollte den gesamten Untersuchungsraum flächendeckend abbilden, aus ausreichend vielen Modellläufen bestehen und auf einem oder mehreren zuvor festgelegten Emissionsszenarien basieren.
2. Es wird empfohlen, eine einheitliche Datenbasis für alle Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien des Bundes zu wählen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse herzustellen.
3. Es wird empfohlen, einheitliche Daten für die Sensitivität sowie die Anpassungskapazität verfügbar zu machen, insbesondere dort, wo kommunale oder Länderzuständigkeiten bestehen (Bevölkerungsschutz, Katastrophenschutz, Bildungsinformationen, Regionalplanung).

(Integrierte) Bewertung

Eine integrierte Bewertung kann über verschiedene Ansätze geschehen:

1. quantitativ anhand von wirkungsspezifischen Maßstäben (Schwellenwerte),
2. qualitativ durch Experten auf Grundlage der Analyseergebnisse oder
3. über gemeinsame Bezugsgrößen, beispielsweise durch Normalisierung oder Monetarisierung.

Empfehlungen und Diskussionsfragen: Integrierte Bewertung

Zentrale Empfehlungen

1. Wenn der Zweck der Analyse darin besteht, langfristig und großräumig und unabhängig von einzelnen Handlungsfeldern Ressourcen zur Anpassung an den Klimawandel zu allokalieren und mit Förderstrategien zu kombinieren, bietet sich eine integrierte Betrachtung über mehrere oder alle Klimawirkungen oder Handlungsfelder an.
2. Eine quantitative Bewertung wird empfohlen, wenn entsprechende Schwellenwerte für die Klimawirkungen bekannt sind oder die Klimawirkungen in gemeinsame Bezugsgrößen umgerechnet werden können.
3. Ist dies nicht möglich, wird eine qualitative Bewertung unter Einbezug fachlicher Experten empfohlen.

Fragen zur Diskussion

1. Aggregation der Daten pro Raumeinheit: Welche Vorteile und Nachteile bestehen? Grundsätzlich besteht die Schwierigkeit übergreifende Bewertungskriterien festzulegen sowie ein Maß für die Gewichtung der Einzelbewertungen zu ermitteln – denn auch eine Gleichgewichtung ist immer auch willkürlich und kann letztlich nur normativ begründet werden.
2. Übergreifende Bewertungskriterien: Es ist schwierig sektorenübergreifende Bewertungskriterien festzulegen. Kann es hier etwas anderes als Bauch-Entscheidungen geben?

5.2 Umsetzung einer Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsstudie

Beteiligung

Empfehlungen und Diskussionsfragen: Beteiligung

Zentrale Empfehlungen

1. Die Analyse und Bewertung von Klimawirkungen und Vulnerabilitäten sollten mit einem Netzwerk von Fachakteuren (und eventuell externen Experten) durchgeführt werden.
2. Die Entscheidungsgrundlagen und Analyseschritte sollten von der Projektbearbeitung vorbereitet werden; die Abstimmung über das Vorgehen sollte mit den beteiligten Fachakteuren erfolgen.
3. Die beteiligten Fachakteure sollten mit Daten, Modellergebnissen und Expert/innenwissen zur Analyse beitragen, um eine gute Integration der Ergebnisse in ihre Arbeit zu ermöglichen.
4. Diese Arbeitsweise setzt ausreichend Ressourcen seitens der beteiligten Fachakteure, eine stetige und kontinuierliche Kommunikation, sowie verbindliche Absprachen hinsichtlich Abstimmungsterminen voraus. Diese muss von der Projektleitung und vom Auftraggeber aktiv befördert und organisiert werden.
5. Für deutschlandweite Studien wird empfohlen, die Bundesländer frühzeitig einzubinden und zu informieren (etwa über den Ständigen Ausschuss zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels).

Fragen zur Diskussion

1. In welchen Fällen ist die Trennung von Arbeits- und Entscheidungsebene auch in Persona zu empfehlen?

Datensammlung und quantitative Analyse

Empfehlungen: Datensammlung und quantitative Analyse

Zentrale Empfehlungen

1. Eine frühzeitige Anfrage bei den entsprechenden Behörden oder Forschungseinrichtungen ist zu empfehlen, da zum Teil ein sehr hoher zeitlicher (und personeller) Aufwand besteht, um die angefragten Daten zusammenzustellen.
2. Die frühzeitige Identifikation von Datenlücken ermöglicht eine Entscheidung darüber, ob Klimawirkungen über qualitative Interviews abgeschätzt oder aus der Analyse herausgenommen werden.

Erheben qualitativer Informationen

Empfehlungen: Erheben qualitativer Informationen

Zentrale Empfehlungen

1. Sowohl im Zuge der Operationalisierung einzelner Klimawirkungen als auch im Rahmen der Einschätzung der sektoralen Anpassungskapazität sollten leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt werden.
2. Hierzu sind strukturierte Interviewleitfäden zu verwenden, die narrative Informationen erheben, aber auch die Überführung in ein semi-quantitatives Bewertungsschema enthalten.

Aggregation

Erfahrungen mit Ansätzen zur Aggregation von Klimawirkungen und Anpassungskapazität zu einer (sektorenübergreifenden) Vulnerabilität fehlen gegenwärtig noch. Prinzipiell kann die Aggregation von Daten aber dazu beitragen, sektorenübergreifende und zusammenfassende Aussagen zu treffen.

Es sollte berücksichtigt werden, dass eine Aggregation immer nur einen Ausschnitt aus dem Gesamtergebnis darstellen kann, da die Aggregation stets unter einem bestimmten Blickwinkel durchgeführt werden muss (Auswahl der zu aggregierenden Klimawirkungen, Gewichtung).

Empfehlungen und Diskussionsfragen: Aggregation

Zentrale Empfehlungen

1. Eine operationelle Aggregation von Ergebnissen auf der Grundlage von Datensätzen erfordert geeignete Einheiten oder eine Normalisierung sowie eine ähnliche räumliche Auflösung und flächendeckende Datenverfügbarkeit.
2. Auf der Ebene von bewerteten Ergebnissen können Aggregationen bei gleichem Raumbezug und gleicher Bewertungsskala über Mittelwertbildung vorgenommen werden.
3. Die Aggregation ist in der Regel ein normativer Vorgang und sollte entsprechend mit den beteiligten Fachakteuren abgestimmt werden.

Fragen zur Diskussion

1. Welche zusätzliche Aussagequalität wird durch die Aggregation gewonnen? Wie hoch sollte man Ergebnisse aggregieren?

Aussagen zum Grad der Gewissheit

Sowohl die berechneten als auch die über Experteninterviews erfragten Ergebnisse sind mit Unsicherheit behaftet.

Empfehlungen: Gewissheit

Zentrale Empfehlungen

1. Um die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern, wird empfohlen, auf Ebene der Klimawirkungen die Gewissheit der Ergebnisse einzuschätzen.
2. Empfohlen wird, den Grad der Gewissheit für jeden Indikator und jede Klimawirkung auf einer Skala von „gering“ über „mittel“ bis „hoch“ zu bewerten. Für Klimawirkungen, die über mehrere Indikatoren abgebildet werden, sollte textlich ein Fazit gezogen werden.
3. Da die Bewertung der Gewissheit zum Teil normativer Natur ist, sollte sie von der Gesamtheit der beteiligten Fachakteure gemeinsam vorgenommen werden.

5.3 Darstellung der Analyseergebnisse, Zusammenführung mit dem aktuellem Stand der Forschung und Review

Im Einzelnen lassen sich aus dem Netzwerk Vulnerabilität heraus folgende zentrale Empfehlungen für die Dokumentation zukünftiger Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien aussprechen:

- ▶ **Zweck der Studie:** Eine regionale Analyse verfolgt in der Regel einen anderen Zweck (nämlich die Anpassungsplanung) als eine nationale (Herstellung von Vergleichbarkeit, Strategieentwicklung) und eine wissenschaftlich getriebene (methodische Weiterentwicklung) folgt einem anderen Zweck als eine politisch beauftragte (Identifikation Hot Spots).
- ▶ **Primär- oder Sekundärstudie:** Es sollte stets transparent gemacht werden, ob die getroffenen Aussagen in erster Linie direkt aus einer eigenen Forschungsarbeit abgeleitet wurden („Primärstudie“) oder ob hauptsächlich Aussagen aus anderen Quellen zusammengetragen wurden („Sekundärstudie“, manchmal auch „Metastudie“, bei der Primärstudien ausgewertet, zusammengefasst und neue Schlüsse gezogen werden).
- ▶ **Methodisches Vorgehen (Modelle, quantitativ, qualitativ):** Das methodische Vorgehen hängt häufig von den zur Verfügung stehenden Ressourcen, aber auch von verfügbaren Daten und Modellen ab. In jedem Fall sollte der verwendete methodische Ansatz genau beschrieben und alle zur Bestimmung von Klimawirkungen verwendeten Modelle und Modellketten benannt und charakterisiert werden (inklusive der Klimamodelle und -ensembles).
- ▶ **Verwendete Daten:** Es sollte stets angegeben werden, auf welchen Klimadaten (Exposition), aber insbesondere auch auf welchen sozio-ökonomischen Daten (Sensitivität) die Abschätzung beruht und welche Szenarien für die Klimaentwicklung sowie für die Entwicklung der sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen angelegt wurden.
- ▶ **Betrachteter Zeitraum:** Besonders wichtig ist auch ein Hinweis, für welchen Zeitpunkt die Aussagen getroffen werden sowie auf welches Referenzjahr sich die Abschätzung der Veränderungen bezieht.
- ▶ **Verwendung von im Voraus definierten und allgemein anerkannten Vorgaben:** Die Bewertung der Ergebnisse sollte über im Voraus definierte und (wenn möglich) anerkannte Vorgaben erfolgen, ähnlich wie es der IPCC für Aussagen zur Wahrscheinlichkeit des Eintretens zukünftiger Ereignisse vorgenommen hat. Diese Vorgaben sollten in allen Klimastudien einheitlich verwendet werden und sich auf folgende Aussagenbereiche beziehen:
 - ▶ Wahrscheinlichkeit des Eintretens: Abstufung, wann die abgeschätzten Klimaauswirkungen „sicher“, „wahrscheinlich“, „sehr unwahrscheinlich“ usw. eintreten werden (beim IPCC:

Virtually certain > 99% probability of occurrence, Extremely likely > 95%, Very likely > 90%, Likely > 66%, More likely than not > 50%, Unlikely < 33%, Very unlikely < 10%, Extremely unlikely < 5%).

- ▶ **Stärke der Veränderung:** Abstufung, wann die Änderung einer Klimawirkung als „gering“, „moderat“ oder „stark“ eingeschätzt wird. Darüber hinaus gehende, eher unspezifische Formulierungen („drastisch“, „enorm“ usw. sollten vermieden werden). Hier besteht Forschungsbedarf, um allgemeingültige Bewertungssysteme zu entwickeln.
- ▶ **Häufigkeit:** Insbesondere wenn es um das verstärkte Auftreten von Ereignissen (zum Beispiel Extremwetterereignissen) geht, sollte klar definiert sein, was „selten“, „häufig“ oder „sehr häufig“ bedeutet, und dieses Wording entsprechend konsistent verwendet werden.
- ▶ **Normative Entscheidungen:** Auch normative Entscheidungen können über ein festgelegtes Vokabular deutlich gemacht werden. Zum Beispiel sollte der Begriff „Bewertung“ nur für solche normative Bewertungen genutzt werden. Sinnvoll kann auch sein, eine Textbox oder ein anderes grafisch abgesetztes Element zu nutzen, um alle für die Studie zentralen Annahmen und Entscheidungen, wie die Wahl des Emissionsszenarios, zentral zu dokumentieren.
- ▶ **Beteiligte Expert/innen:** Es ist zu empfehlen, alle beteiligten Fachakteure, Interviewpartner und Expert/innen zu nennen.
- ▶ **Grafische Abbildung der Ergebnisse:** Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien grafisch abzubilden. Für räumliche Analysen bieten sich Kartendarstellungen an. Dabei erleichtert es die Interpretation von Klimawirkungskarten, wenn die in die Analyse eingeflossenen Klima- und Sensitivitätsparameter ebenfalls in Kartenform mit abgebildet werden. Um Entwicklungen aufzuzeigen, sollten dabei alle betrachteten Zeitpunkte nebeneinander dargestellt werden. Für nicht räumlich differenzierte Angaben eignen sich Diagramme, etwa Säulendiagramme, die die Stärke der Klimawirkung über die Länge der Säule abbilden.
- ▶ **Grafische Abbildung des Prozesses:** Um die Transparenz hinsichtlich des Vorgehens zu erhöhen, kann der Prozess der Analyse in Form eines Schaubildes abgebildet werden. Wird dies gemacht, ist zu empfehlen, dass die Grafik verdeutlicht, an welchen Stellen die beteiligten Fachakteure sowie externe Experten einbezogen wurden, wo das betrachtete System definiert wurde (zum Beispiel Auswahl der betrachteten Klimawirkungen) und wann Ergebnisse aggregiert wurden, um zusammenfassende Aussagen treffen zu können.
- ▶ **Qualitätssicherung:** Für jede Studie sollte kenntlich gemacht werden, wie die Qualitätssicherung durchgeführt wurde, zum Beispiel ob und in welcher Form es ein Review-Verfahren gegeben hat.