

CLIMATE CHANGE

24/2015

Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel

Kurzfassung

CLIMATE CHANGE 24/2015

Projekt-Nr. 24309
UBA-FB 002226

Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel

Kurzfassung

von

Mareike Buth, Walter Kahlenborn, Jonas Savelsberg, Nina Becker, Dr. Philip Bubeck, Sibylle Kabisch, Christian Kind, Annkathrin Tempel, Franziska Tucci adelphi, Berlin

Prof. Stefan Greiving, Dr. Mark Fleischhauer, Dr. Christian Lindner, Dr. Johannes Lückenkötter, Marcel Schonlau, Hanna Schmitt, Florian Hurth, Felix Othmer, René Augustin, Dennis Becker, Marlena Abel, Tjark Bornemann, Helene Steiner plan + risk consult, Dortmund

Dr. Marc Zebisch, Dr. Stefan Schneiderbauer, Christian Kofler Europäische Akademie, Bozen, Italien

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

adelphi
Caspar-Theyß-Str. 14A
14193 Berlin

Abschlussdatum:

Oktober 2015

Redaktion:

Fachgebiet I 1.6 KomPass – Klimafolgen und Anpassung in Deutschland
Inke Schauser

Zitiervorschlag: adelphi / PRC / EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau.

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, November 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Projekt-Nr. 24309 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Konzept und Methode	6
3	Klima und Klimawandel in Deutschland.....	10
4	Sozio-ökonomische Entwicklung	18
5	Generische Anpassungskapazität und die Anpassungskapazität der Raumplanung	21
6	Auswertung bestehender Vulnerabilitätsstudien	23
7	Klimawirkungen und Vulnerabilität in den Handlungsfeldern	25
7.1	Handlungsfeld Boden	25
7.2	Handlungsfeld Biologische Vielfalt.....	26
7.3	Handlungsfeld Landwirtschaft	28
7.4	Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft	30
7.5	Handlungsfeld Fischerei.....	31
7.6	Handlungsfeld Küsten- und Meeresschutz	33
7.7	Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft	35
7.8	Handlungsfeld Verkehr, Verkehrsinfrastruktur	37
7.9	Handlungsfeld Bauwesen.....	38
7.10	Handlungsfeld Industrie und Gewerbe	40
7.11	Handlungsfeld Energiewirtschaft	43
7.12	Handlungsfeld Tourismuswirtschaft.....	45
7.13	Handlungsfeld Finanzwirtschaft.....	46
7.14	Handlungsfeld Menschliche Gesundheit.....	47
7.15	Querschnittsthemen „Bevölkerungs- und Katastrophenschutz“ und „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“	49
8	Integrierte Betrachtung.....	50
8.1	Vergleich der zentralen Aussagen der Handlungsfelder	50
8.2	Verknüpfung der Handlungsfelder	51
8.3	Implikationen für die Klimaraumtypen.....	53
8.4	Gesamtbewertung.....	56
9	Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf	58
9.1	Forschungsbedarf	58
9.2	Methodische Empfehlungen	59
10	Quellenverzeichnis	61

Abbildung 1:	Vulnerabilitätskonzept des Netzwerks Vulnerabilität	7
Abbildung 2:	Vieljährige mittlere Lufttemperatur sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart	11
Abbildung 3:	Vieljähriger mittlerer Niederschlag in den meteorologischen Sommermonaten (Juni, Juli, August; oben) und Wintermonaten (Dezember, Januar, Februar; unten) sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart	12
Abbildung 4:	Vieljährige mittlere Anzahl der Heißen Tage ($T_{\max} \geq 30$ Grad Celsius) sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart	13
Abbildung 5:	Mittlere Anzahl der Tage mit Starkniederschlag (Niederschlagsmenge ≥ 20 Millimeter) sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart	14
Abbildung 6:	Vieljährige mittlere Anzahl zehn aufeinanderfolgender Trockentage (Episoden) in den meteorologischen Sommermonaten (Juni, Juli, August) sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart	15
Abbildung 7:	Vieljährige mittlere potenzielle Überschwemmungsfläche in Landkreisen sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart	16
Abbildung 8:	Potenzielle Überschwemmungsflächen durch Sturmfluten in Landkreisen sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart	17
Abbildung 9:	Szenarien „Wachstum“ und „Stagnation“ der relativen Veränderung der Einwohnerzahl (2010 bis 2030)	19
Abbildung 10:	Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche zwischen 2010 und 2030 in Prozent (Gemeindeebene) für das Wachstumsszenario und das Stagnationsszenario	20
Abbildung 11:	Ausschöpfung der Anpassungskapazität der Regionalplanung	23
Abbildung 12:	Wirkungsbeziehungen zwischen den Handlungsfeldern	52
Abbildung 28:	Kartographische Darstellung der Klimaraumtypen für Deutschland zur Zuordnung „ähnlich betroffener Räume“	54
Abbildung 14:	Regionale Betroffenheit und handlungsfeldübergreifende Folgen des Klimawandels in Deutschland (nahe Zukunft)	57

Tabelle 1:	Parameter und Kenngrößen der sozio-ökonomischen Entwicklung für die Landnutzungsszenarien (2009 bis 2030).....	18
Tabelle 2:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Boden“	26
Tabelle 3:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“	28
Tabelle 4:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Landwirtschaft“	29
Tabelle 5:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“	31
Tabelle 6:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Fischerei“	33
Tabelle 7:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“	34
Tabelle 8:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt“	36
Tabelle 9:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“	38
Tabelle 10:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Bauwesen“	40
Tabelle 11:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“	42
Tabelle 12:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Energiewirtschaft“	44
Tabelle 13:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“	46
Tabelle 14:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“	47
Tabelle 14:	Klimawirkungen im Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“	49

1 Einleitung

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. Vulnerabilitätsanalysen 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 im Jahr 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) verabschiedet, um die Vulnerabilität Deutschlands gegenüber den Folgen des Klimawandels zu mindern. Ziel ist, die Fähigkeiten von natürlichen, ökonomischen und gesellschaftlichen Systemen, sich an Klimaveränderungen und deren Folgen anzupassen, zu erhalten oder zu steigern. 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 Deutschen Anpassungsstrategie 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 im Jahr 2011 die Aufgabe übernommen, das „Netzwerk Vulnerabilität“ aufzubauen.

Dieses Netzwerk besteht aus 16 Bundesoberbehörden und -institutionen aus neun Ressorts. Es wurde durch ein vom Bundesumweltministerium finanziertes und durch das Umweltbundesamt beauftragtes wissenschaftliches Konsortium im Rahmen des Vorhabens unterstützt. Dieses Konsortium umfasst adelphi, plan + risk consult, die Europäische Akademie Bozen und IKU – die Dialoggestalter. Grundlegend für die erfolgreiche Arbeit des Netzwerks waren 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.

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.

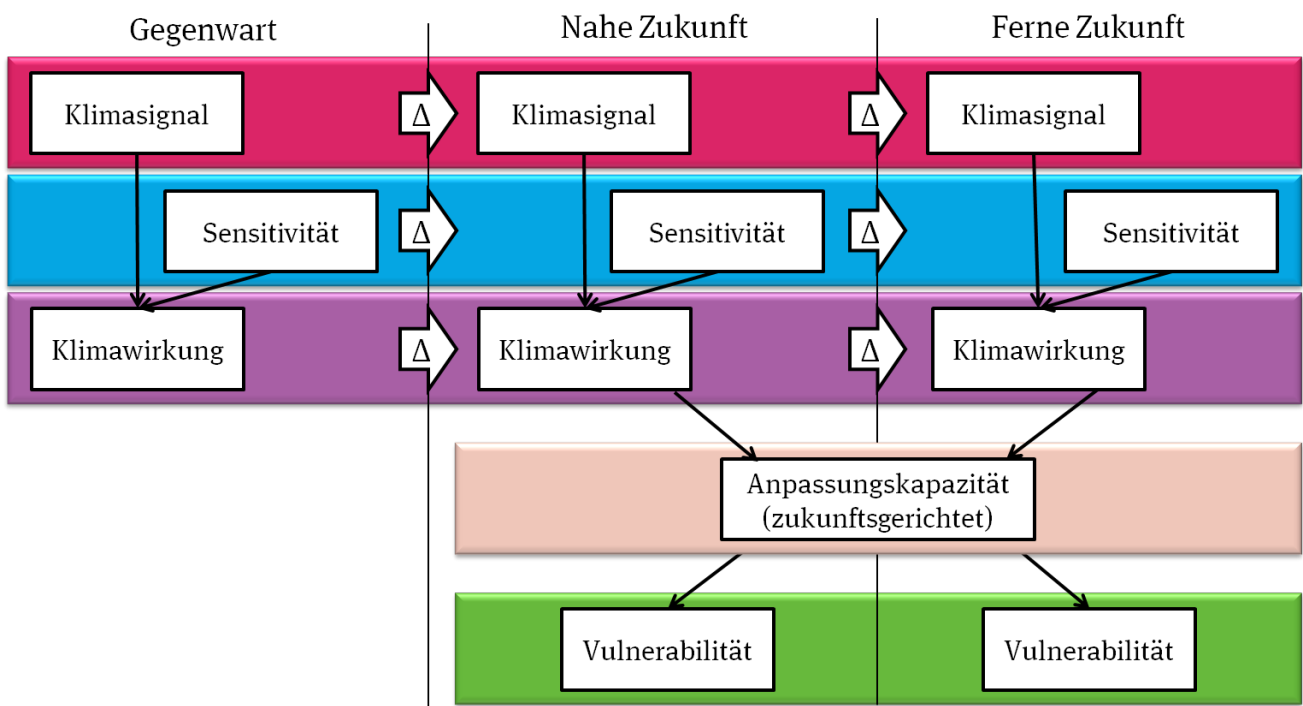
2 Konzept und Methode

Das Netzwerk Vulnerabilität vereint die Fach- und Methodenexpertise verschiedenster Ressorts und Disziplinen. Für die Analyse der Verwundbarkeit Deutschlands gegenüber dem Klimawandel war es daher von zentraler Bedeutung, eine gemeinsame Arbeitsgrundlage zu schaffen, die eine allgemein akzeptierte Fachterminologie und ein gemeinschaftliches Verständnis von „Vulnerabilität“ und den Komponenten des Konzepts umfasst. Die Zusammenarbeit zwischen Netzwerkpartnern und Konsortium verfolgte insgesamt eine „Ko-Produktion von Wissen“ und war ein wichtiger Erfolgsfaktor für die integrierte Vulnerabilitätsanalyse des Netzwerks.

Um die Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Klimasignalen und möglichen Klimawirkungen zu visualisieren, wurden im Rahmen des Netzwerks für jedes Handlungsfeld der Deutschen Anpassungsstrategie zunächst sogenannte Wirkungsketten erstellt. Diese verdeutlichen, welches Klimasignal welche möglichen Klimawirkungen beeinflusst und beinhalten Hinweise auf Wechselbeziehungen zu anderen Handlungsfeldern. **Von einer großen Zahl identifizierter möglicher Auswirkungen des Klimawandels in den 15 Handlungsfeldern der DAS wurden von den Netzwerkpartnern insgesamt 72 Klimawirkungen als potenziell relevant ausgewählt. Die Auswahlkriterien umfassten die soziale, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle sowie flächenhafte Bedeutung für Deutschland.** Für diese ausgewählten Klimawirkungen wurden anschließend in Expertenworkshops relevante Sensitivitäten diskutiert und mit den Netzwerkpartnern eine Analysemethodik identifiziert (Wirkmodelle, Proxyindikatoren oder Expertenbefragung), die die Grundlage für die weiteren Bewertungsschritte darstellte. Zudem dienten die Wirkungsketten als Basis für die Analyse der Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Handlungsfeldern.

Der konzeptionelle Ansatz betrachtet den Einfluss des Klimas und die Auswirkungen des Klimawandels in den Handlungsfeldern der Deutschen Anpassungsstrategie für die Gegenwart, die nahe Zukunft (Zeitraum von 2021 bis 2050) und die ferne Zukunft (Zeitraum von 2071 bis 2100). Mit seinem Ansatz einer Vulnerabilitätsanalyse hat das Netzwerk Vulnerabilität ein System entwickelt, das im Zeitbezug klare Aussagen erlaubt. Es basiert auf dem Vulnerabilitätskonzept des Intergovernmental Panel on Climate Change, wie es im vierten Sachstandsbericht beschrieben ist (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Vulnerabilitätskonzept des Netzwerks Vulnerabilität



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 DWD¹ verwendet. Weiterer Ausgangspunkt ist eine relativ starke sozioökonomische Entwicklung, unter anderem mit einem durchschnittlichen jährlichen Wirtschaftswachstum von 1,1 Prozent, einer durchschnittlichen täglichen Flä-

¹ 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 niedrigere 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. (Hinweis: 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 mussten Klimadaten des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) verwendet werden. 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.

chenneuiananspruchnahme von 59 Hektar und einem Bevölkerungsrückgang auf 78,68 Millionen Einwohner im Jahr 2030².

- ▶ **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 Flächenneuiananspruchnahme (49,3 Hektar) sowie einer stärker abnehmenden Bevölkerung auf 75,67 Millionen Einwohner im Jahr 2030 (Details siehe Abschlussbericht Netzwerk Vulnerabilität).

Für die ferne Zukunft konnte nicht auf plausible, räumlich differenzierte und quantitative sozioökonomische Szenarien – etwa zur Bevölkerung oder Landnutzung – aufgebaut werden. **Daher basierte die Einschätzung der Klimawirkungen im Zeitraum 2071 bis 2100 nur auf den Klimaprojektionen.** Darauf basierend wurden die möglichen Klimawirkungen verbal-qualitativ beschrieben.

Das **Klimasignal** beschreibt dabei den Reiz des heutigen Klimas beziehungsweise des Klimas in der nahen und fernen Zukunft. Die Veränderung zwischen der Gegenwart und der nahen beziehungsweise der fernen Zukunft beschreibt die Klimaveränderungen, wie steigende Temperaturen, Veränderungen im Niederschlag, Veränderungen von Wetterextremen.

Die **Sensitivität** beschreibt, in welchem Maße ein bestehendes nicht klimatisches System (Handlungsfeld, Bevölkerungsgruppe, aber auch biophysikalische Faktoren) in der Gegenwart oder Zukunft auf ein definiertes gegenwärtiges oder zukünftiges Klimasignal reagiert. Es wurde zwischen der Sensitivität des heutigen Mensch-Umwelt-Systems gegenüber dem heutigen Klima und der Sensitivität des zukünftigen Mensch-Umwelt-Systems gegenüber dem zukünftigen Klima unterschieden.

Eine **Klimawirkung** beschreibt für die Gegenwart die Wirkung des heutigen Klimas auf das heutige System beziehungsweise für die Zukunft die Wirkung des zukünftigen Klimas auf ein zukünftiges System. Aus der Veränderung der Klimawirkungen von der Gegenwart zur Zukunft lässt sich die potenzielle Wirkung des Klimawandels, aber auch anderer Veränderungsprozesse ablesen. Das Vorgehen für die Zeiträume Gegenwart und nahe Zukunft folgte jeweils der gleichen Methodik. Neben den Zuständen des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt wurde auch die Veränderung zwischen den Zuständen betrachtet. Die Klimawirkungen wurden über Wirkmodelle, Proxyindikatoren und Experteninterviews operationalisiert. Wirkmodelle bilden die komplexen und meist nicht linearen Zusammenhänge zwischen Klimasignal und Klimawirkung ab. Waren wissenschaftliche Wirkmodelle in der notwendigen räumlichen Auflösung und für Gesamtdeutschland vorhanden, wurden diese für die Abschätzung der Klimawirkung genutzt. War dies nicht der Fall, wurden die Klimawirkungen auf Basis von Proxyindikatoren operationalisiert. Von Experten identifizierte Indikatoren für Klimasignal und Sensitivität wurden – vorrangig auf Landkreisebene – verschnitten. Konnten Klimawirkungen nicht mithilfe von Wirkmodelle oder Indikatoren quantifiziert werden, wurden leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt. Die Experten wurden gebeten, die gegenwärtig schon bestehenden und möglichen zukünftige Klimawirkungen (nahe Zukunft) im Falle eines schwachen und eines starken Wandels abzuschätzen.

Sowohl die berechneten als auch die über Experteninterviews erfragten Ergebnisse können mit Unsicherheit behaftet sein. Um die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern, hat das Netzwerk Vulnerabilität auf Ebene der Klimawirkungen daher den **Grad der Gewissheit** seiner Ergebnisse einge-

² Die zwei verwendeten sozioökonomischen Landnutzungsszenarien wurden mit dem Modellverbund PANTA RHEI REGIO der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS) und dem Land Use Scanner des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) für 2030 auf Landkreisebene berechnet.

schätzt. Dies geschah getrennt für die berechneten Klimawirkungen (über Modelle oder Proxyindikatoren operationalisiert) und die erfragten Klimawirkungen (über Interviews operationalisiert).

Da die Operationalisierung der Klimawirkungen über Wirkmodelle und Indikatoren zeitliche und räumliche Muster der Klimawirkungen in Deutschland zeigt, aber nicht ihre absolute Stärke, ist das Netzwerk Vulnerabilität einen Schritt weitergegangen und hat die **Bedeutung der Klimawirkungen** für Deutschland eingeschätzt. Im Rahmen einer strukturierten Abfrage haben die Netzwerkpartner diese Bedeutung auf einer Skala von „niedrig“ über „mittel“ bis „hoch“ bewertet. Die Netzwerkpartner berücksichtigten bei ihrer Bewertung die soziale, die ökonomische, die ökologische und kulturelle sowie die flächenmäßige Bedeutung der Klimawirkungen.

Die **Anpassungskapazität** ist die Fähigkeit eines Systems, sich an den Klimawandel anzupassen und potenziellen Schaden zu mindern. Die Anpassungskapazität kann nur zukünftig, wenn sie zu konkreten Anpassungsmaßnahmen genutzt wurde, die Auswirkungen des Klimawandels verringern. Die Anpassungskapazität bezieht sich daher defintitorisch immer auf die Zukunft beziehungsweise die Möglichkeit, zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen. Es handelt sich also um mögliche Vermeidungs-, Minderungs- oder Schutzmaßnahmen, die über das bereits Bestehende hinausgehen. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die sektorenunabhängigen und sektorspezifischen Rahmenbedingungen der Anpassungskapazität an den Klimawandel in Deutschland analysiert. Um die sektorspezifische Anpassungskapazität zu bestimmen, wurden Interviews mit den Netzwerkpartnern und externen Experten für alle Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie durchgeführt mit Ausnahme der Querschnittsfelder „Raumplanung“ und „Bevölkerungsschutz“. Die sektorenspezifische Anpassungskapazität umfasst die im jeweiligen Handlungsfeld für die Anpassung prinzipiell zur Verfügung stehenden Ressourcen, beispielsweise finanzielle Ausstattung oder technische Optionen, sowie potenziell unterstützende und hinderliche Faktoren, etwa fehlende Kenntnisse über die Auswirkungen des Klimawandels oder ein fehlendes Bewusstsein dafür. **Bei der Abschätzung der Anpassungskapazität wurden potentiell verfügbare Ressourcen berücksichtigt, nicht jedoch die tatsächlich vorhandenen wirtschaftlichen und technischen Kapazitäten des Bundes, anderer Institutionen oder einzelner Akteure.** Die Anpassungskapazitäten, die sich aus den Handlungsmöglichkeiten der Querschnittsthemen „Raumplanung“ und „Bevölkerungsschutz“ ergeben, wurden im Rahmen der sektorenunabhängigen Anpassungskapazität betrachtet. Die gewonnenen Informationen wurden narrativ in den Abschlussbericht integriert.

Die **Vulnerabilität** wurde verbal-qualitativ für die einzelnen Handlungsfelder basierend auf den Ergebnissen zu deren Klimawirkungen und sektoralen Anpassungskapazitäten für die nahe Zukunft beschrieben. Grundlage für die Bewertung der Vulnerabilität war die Bedeutung der Klimawirkungen für Deutschland und somit die Betroffenheit der Handlungsfelder.

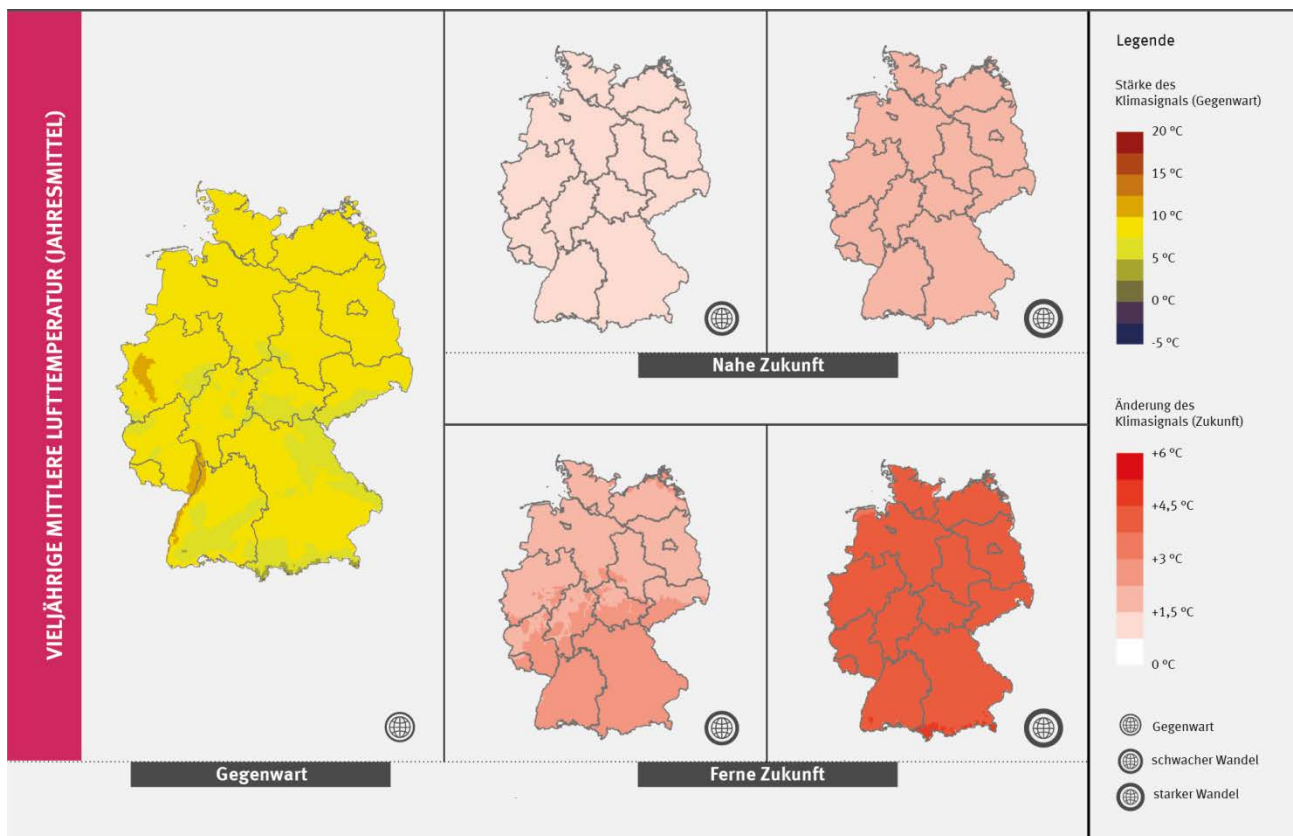
Um die Veränderungen nicht nur auf sektoraler Ebene zu erfassen, sondern auch Aussagen zur **Gesamtbedeutung des Klimawandels** für Deutschland treffen zu können, wurde in den Kapiteln 8.1 bis 8.3 eine integrierte Betrachtung durchgeführt. Hierfür wurden die zentralen Aussagen für die einzelnen Handlungsfelder aus Kapitel 7 zusammengeführt und ausgewertet, Verknüpfungen zwischen den Handlungsfeldern betrachtet sowie Implikationen der handlungsfeldbasierten Erkenntnisse für die in Kapitel 3 auf Basis einer Clusteranalyse identifizierten Klimaraumtypen diskutiert. Die Ergebnisse dieser integrierten Betrachtung wurden in Kapitel 8.4 zusammengeführt und ein Gesamtbild der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel abgeleitet.

3 Klima und Klimawandel in Deutschland

Um Aussagen über die zukünftige Entwicklung unseres Klimas treffen zu können, werden Klimamodelle benötigt, die möglichst alle relevanten Prozesse des Klimasystems berücksichtigen. Die Interpretation und Anwendung der Ergebnisse von Klimaprojektionen für Planungen von Anpassungsmaßnahmen sollten sich aufgrund von Unsicherheiten in der zukünftigen Entwicklung nicht auf einzelne Modellläufe stützen. Daher werden möglichst viele Klimaprojektionen gesammelt und kollektiv ausgewertet, um die Bandbreite der möglichen Entwicklung einschätzen zu können. Es muss jedoch bedacht werden, dass auch mit einem ausgewählten Ensemble von Klimaprojektionen nie sämtliche Einflüsse innerhalb des Klimasystems berücksichtigt werden können. Aus der Analyse von Klimaprojektionsensembles resultierende Bandbreiten klimatischer Änderungen müssen daher als Teilmenge der in der Realität möglichen Veränderungen interpretiert werden. **In den Betrachtungen werden die Änderungen der 30-jährigen Mittel der betrachteten Klimaelemente jeweils für den Zeitraum 2021 bis 2050 („nahe Zukunft“) und für den Zeitraum 2071 bis 2100 („ferne Zukunft“) im Verhältnis zum Referenzzeitraum 1961 bis 1990 dargestellt.** Wichtige Klimaelemente sind: Lufttemperatur, Niederschlag, Trockenheit, Heiße Tage, Tropische Nächte, Frosttage, Starkwind, Schneetage, Badetage, Heiztage sowie Klimawirkungen erster Ordnung, wie potenzielle Überflutungsflächen von Sturmfluten oder Sturzfluten oder potenzielle Überschwemmungsflächen von Flusshochwasser.

Die **Jahresmitteltemperatur** könnte in der nahen Zukunft in Deutschland um 0,5 Grad Celsius und mehr zunehmen (siehe Abbildung 2). Dabei ist eine Temperaturzunahme um bis zu zwei Grad Celsius für Norddeutschland bzw. 2,5 Grad Celsius für Süddeutschland möglich. Für den Zeitraum 2071 bis 2100 ist eine Erhöhung der mittleren Lufttemperatur von mindestens 1,5 Grad Celsius und maximal 3,5 Grad Celsius in Norddeutschland bzw. vier Grad Celsius in Süddeutschland zu erwarten. In den Wintermonaten werden die absolut größten Temperaturzunahmen erwartet und flächenmäßig größere Teile Deutschlands von deutlichen Temperaturzunahmen betroffen als im Sommer. Gegenwärtig sind in den Sommermonaten die höchsten Temperaturen im Osten Deutschlands (vor allem in Berlin und Brandenburg) und entlang des Rheins zu verzeichnen. Es werden flächendeckend Zunahmen der Sommertemperaturen in naher Zukunft bis zu 1,5 Grad Celsius und in ferner Zukunft bis zu drei Grad Celsius erwartet. In den Wintermonaten wären Temperaturzunahmen von 1 bis 2,5 Grad Celsius in naher Zukunft und 2,5 bis 4,5 Grad Celsius in ferner Zukunft möglich.

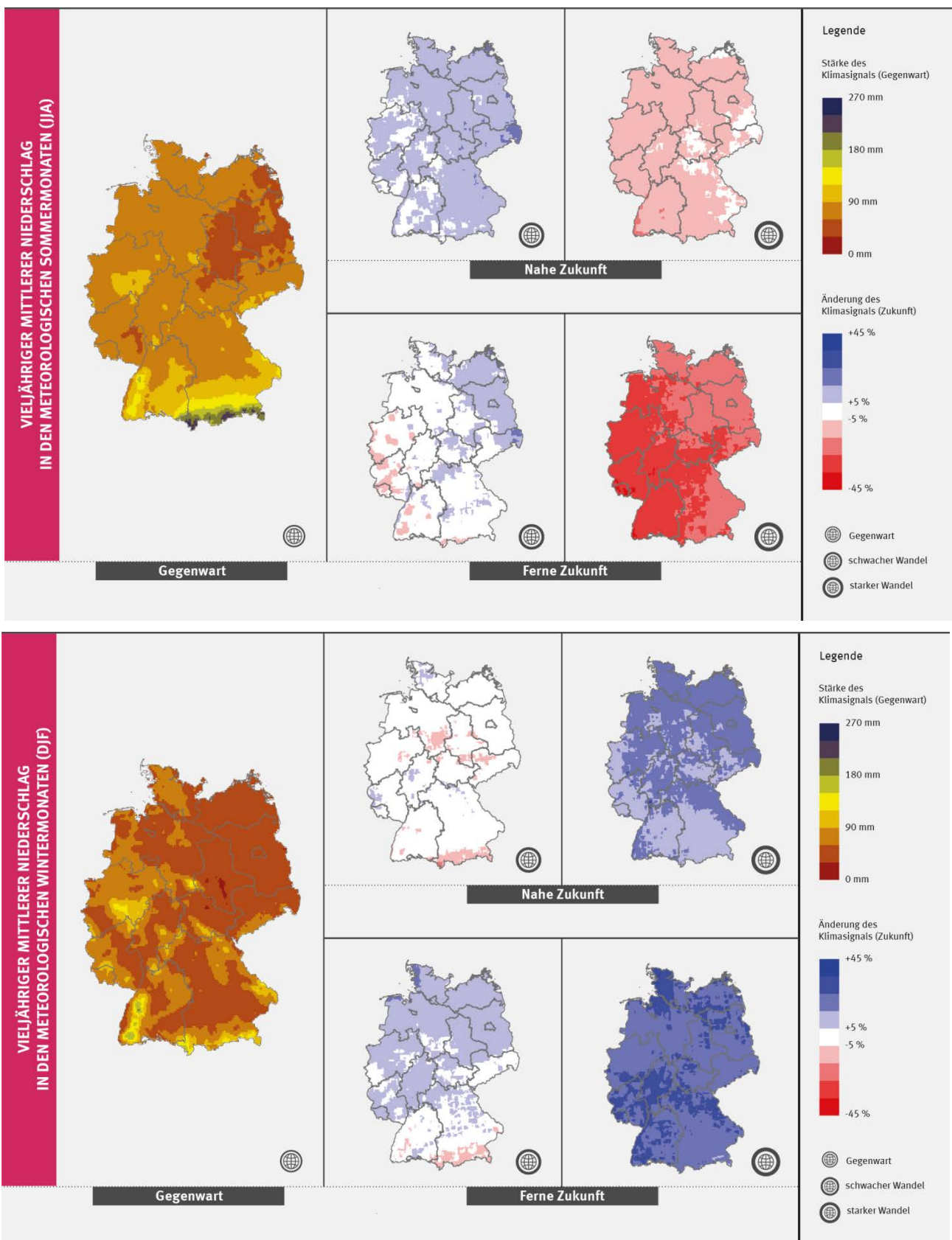
Abbildung 2: Vieljährige mittlere Lufttemperatur sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Deutscher Wetterdienst 2013

Mit den Ensembleauswertungen der Klimaprojektionen für die **Niederschläge** zeigt sich für die Zukunft eine Tendenz zur Niederschlagsabnahme in den Sommermonaten (Juni bis August), während in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) eine Niederschlagszunahme möglich ist (siehe Abbildung 3): Für die Sommermonate in naher Zukunft projizieren die Modelle für den starken Wandel bundesweit geringe Abnahmen der Niederschlagsmenge, während die Modelle für den schwachen Wandel bundesweit geringe Zunahmen berechnen. Erst in ferner Zukunft wird eine deutliche Abnahme bis 20 Prozent erwartet. Für die Wintermonate kann für größere Teile des Bundesgebietes beim starken Wandel von einer Niederschlagszunahme ausgegangen werden: in naher Zukunft bis zu 15 Prozent und für die ferne Zukunft bis zu 30 Prozent.

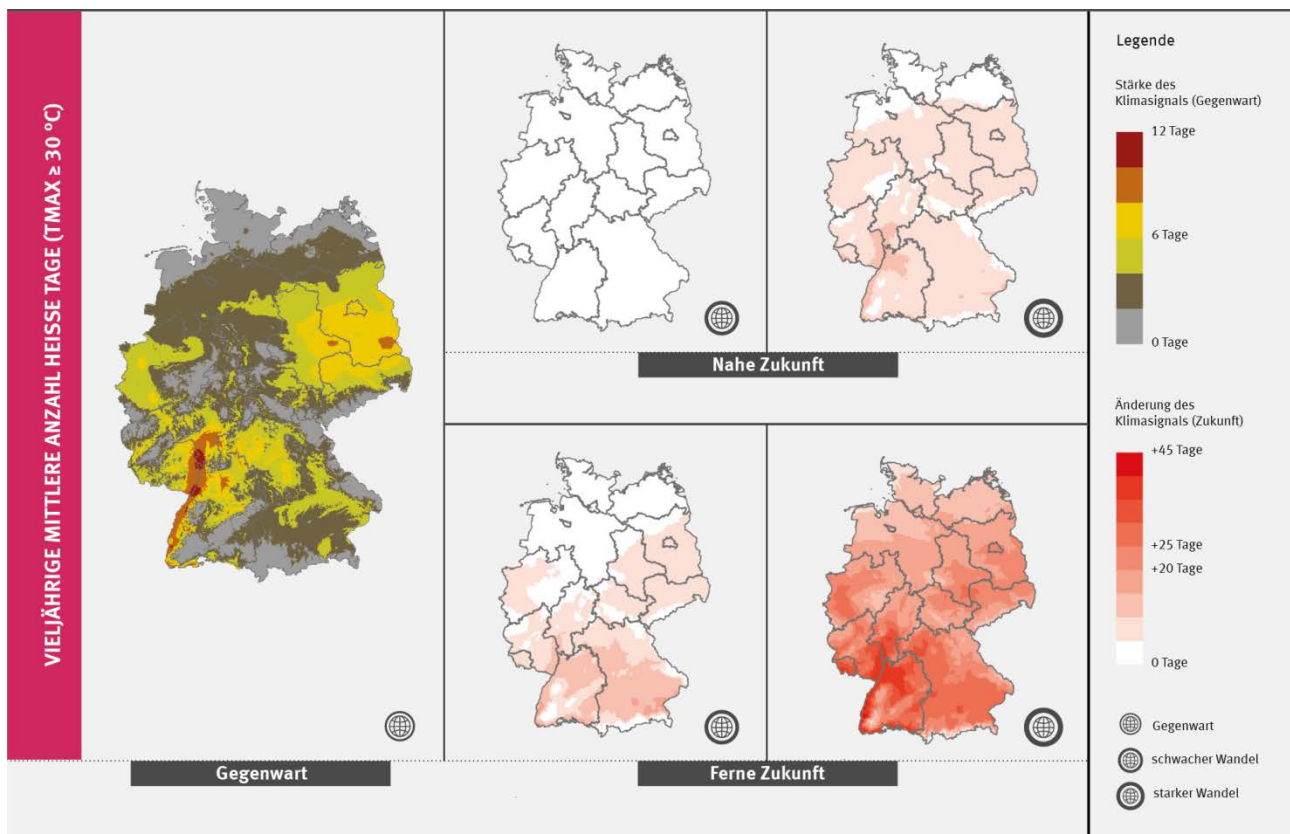
Abbildung 3: **Vieljähriger mittlerer Niederschlag in den meteorologischen Sommermonaten (Juni, Juli, August; oben) und Wintermonaten (Dezember, Januar, Februar; unten) sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart**



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Deutscher Wetterdienst 2013

Für die Projektion von **meteorologischen Extremen** werden sogenannte klimatische Kenntage, bei denen es sich um Schwellenwertereignisse handelt, verwendet. Es werden die Tage ausgewertet, an denen beispielsweise die Höchsttemperatur einen bestimmten Grenzwert überschreitet. So kann die Anzahl der Heißen Tage, Tropennächte und Frosttage bestimmt werden. Gegenwärtig werden deutschlandweit im Mittel acht **Heiße Tage** pro Jahr gemessen, entlang des Ober- und Mittelrheins sowie in Teilen Ostdeutschlands auch zehn bis über zwölf Heiße Tage pro Jahr. Die verwendeten Modellprojektionen zeigen für die nahe Zukunft eine maximale Zunahme der Heißen Tage um fünf bis zehn Tage im Jahr in weiten Teilen Deutschlands und um 10 bis 15 Tage im Jahr am Oberrheingraben (siehe Abbildung 4). Die geringsten Änderungen finden sich in den Küstenregionen. Für die ferne Zukunft wird eine maximale Zunahme der Heißen Tage um 10 bis 15 Tage (Norddeutschland) beziehungsweise 30 bis 40 Tage (Südwestdeutschland) projiziert. Bei **Tropennächten** kann für die nahe Zukunft eine Änderung bis zu zehn Nächten im Oberrheingraben angenommen werden. In der fernen Zukunft könnte ihre Anzahl im Fall eines starken Wandels im Alpenvorland, im südlichen Brandenburg und Ostsachsen sowie im westlichen Nordrhein-Westfalen um bis zu 20 und entlang des Oberrheingraben um bis zu 30 Tropennächte pro Jahr zunehmen.

Abbildung 4: Vieljährige mittlere Anzahl der Heißen Tage ($T_{max} \geq 30$ Grad Celsius) sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart

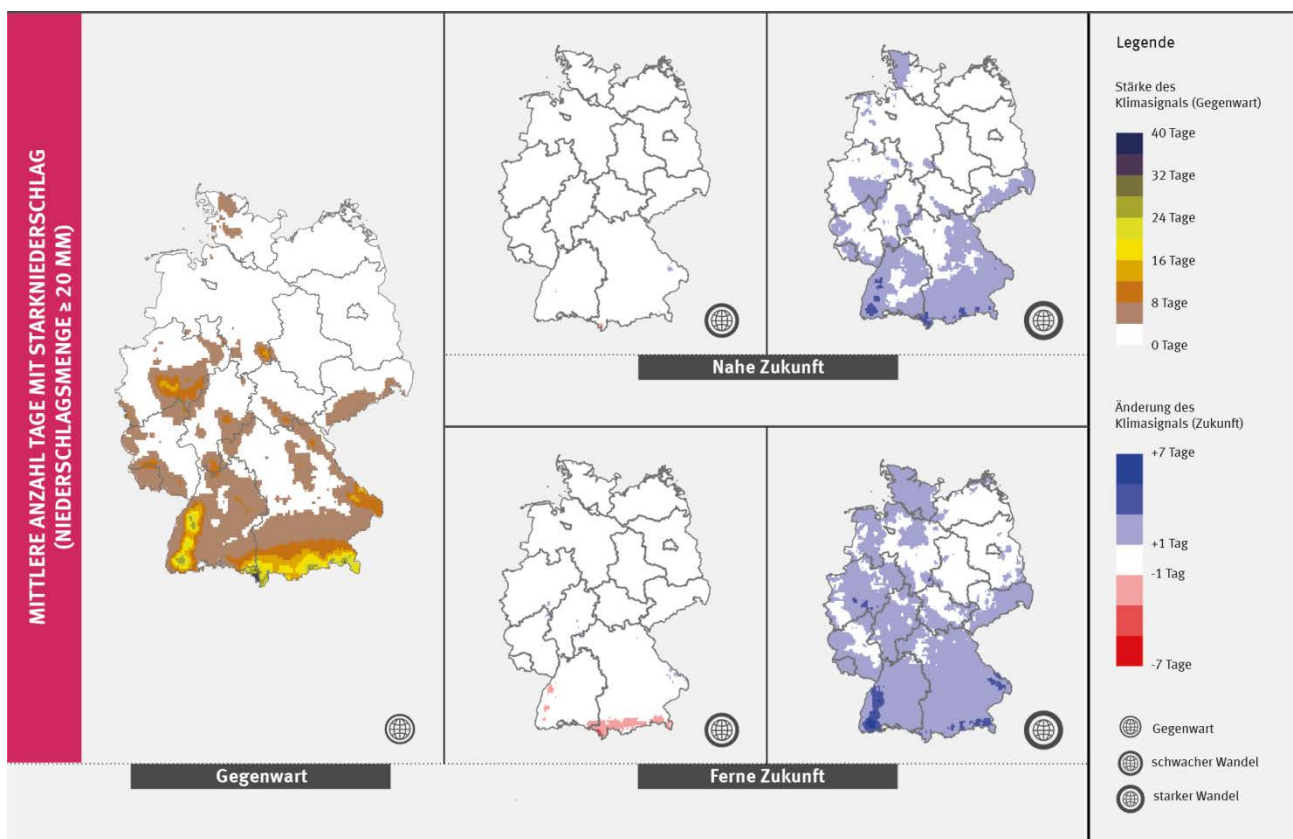


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Deutscher Wetterdienst 2013

Für die **Frosttage** ergeben sich gegenwärtig je nach Lage Werte zwischen ungefähr 40 und 290 Frosttagen pro Jahr. Besonders viele Frosttage sind in den höheren Lagen der Mittelgebirge und in den Alpen festzustellen. Im Bereich des Oberrheingraben, dem Nordwesten Deutschlands (insbesondere am Niederrhein) sowie an den Küsten ist die Anzahl der Frosttage am geringsten. Für beide zukünftige Betrachtungszeiträume kann von einem Rückgang der Frosttage ausgegangen werden. Besonders stark könnte dieser Rückgang am Alpenrand sein, hier werden für die ferne Zukunft bis zu 76 Frosttage weniger projiziert.

Zur Analyse der **Niederschlagsextreme** wurde die Anzahl der Tage mit einer Niederschlagsmenge von mindestens 20 Millimetern ausgezählt (siehe Abbildung 5). Gegenwärtig sind die meisten Starkregenereignisse im Alpenvorland festzustellen. Zudem gibt es im Bereich der Mittelgebirge (unter anderem Schwarzwald, Rothaargebirge, Westerwald, Bayerischer Wald) vergleichsweise viele Tage mit Starkniederschlag. Betrachtet man die Projektionen, ist vor allem im Süden Deutschlands der Trend nicht eindeutig. Möglich ist aber eine Zunahme der Anzahl von Tagen mit sommerlichem Starkniederschlag um bis zu sechs Tagen (im südlichen Schwarzwald) schon in naher Zukunft.

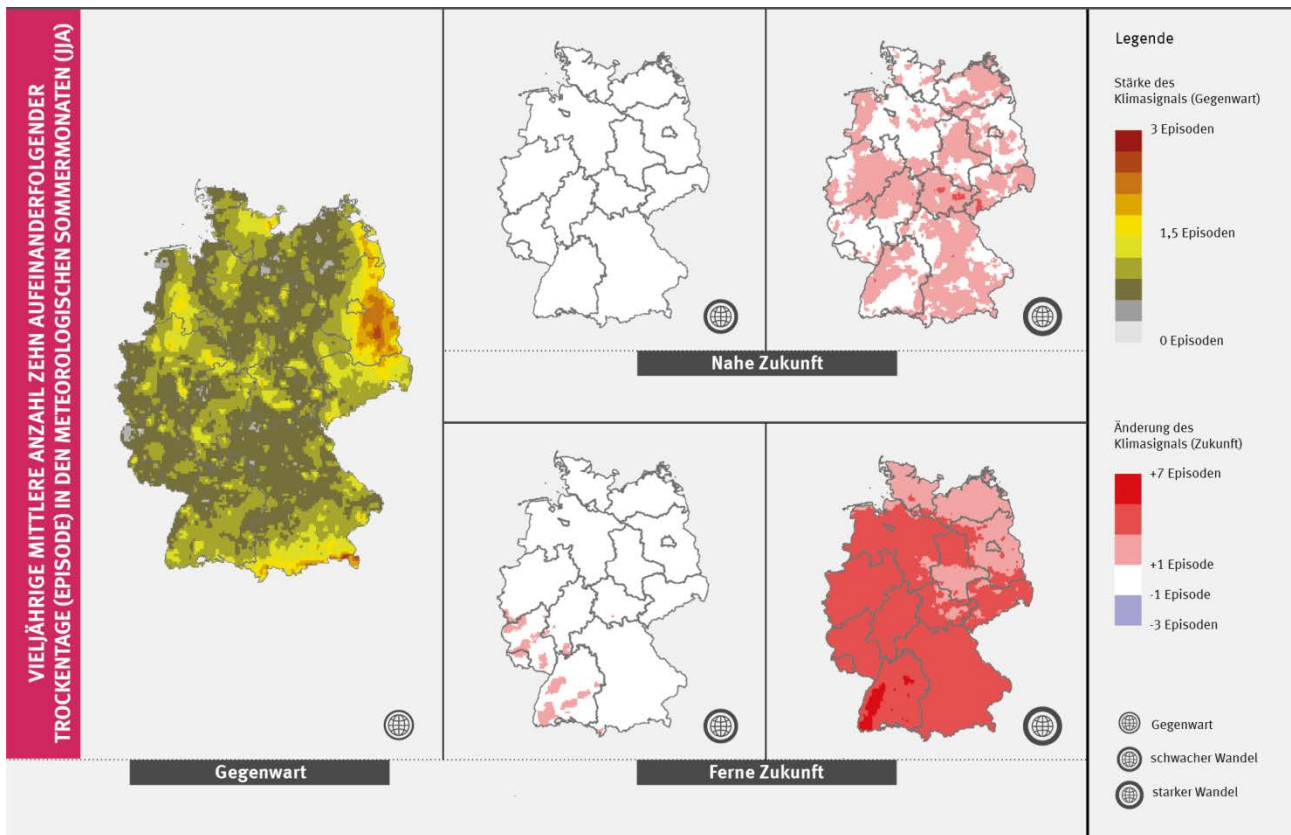
Abbildung 5: Mittlere Anzahl der Tage mit Starkniederschlag (Niederschlagsmenge ≥ 20 Millimeter) sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Deutscher Wetterdienst 2013

Für die Darstellung möglicher **Trockenperioden** wurde die Anzahl der Episoden pro Jahr mit mindestens zehn aufeinanderfolgenden Tagen ohne Niederschlag ausgewertet. Die Zahl dieser Episoden im Sommer wird für die nahe Zukunft entweder nicht nennenswert (schwacher Wandel) oder um bis zu drei Perioden (starker Wandel) steigen (siehe Abbildung 6). Für die ferne Zukunft hingegen wird im Fall eines schwachen Wandels eine Zunahme von maximal zwei Episoden in Südwestdeutschland und Rheinland-Pfalz projiziert und für den starken Wandel eine Zunahme um bis zu sechs Episoden (im Schwarzwald). In Nord- und Ostdeutschland ist im Fall eines starken Wandels in ferner Zukunft eine Zunahme um zwei bis vier Episoden im Jahr anzunehmen.

Abbildung 6: **Vieljährige mittlere Anzahl zehn aufeinanderfolgender Trockentage (Episoden) in den meteorologischen Sommermonaten (Juni, Juli, August) sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart**



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Deutscher Wetterdienst 2013

Als **extreme Windgeschwindigkeiten** werden die Tagesmittel der Windgeschwindigkeit, die das 98. Perzentil der Gesamtheit aller Tagesmittel erreichen oder überschreiten, definiert. Die Projektionen zeigen für diesen Kennwert für die nahe und die ferne Zukunft keinen eindeutigen Trend. Insgesamt sind die projizierten Veränderungen eher gering mit einer Zunahme oder einer Abnahme um drei Tage in der nahen Zukunft.

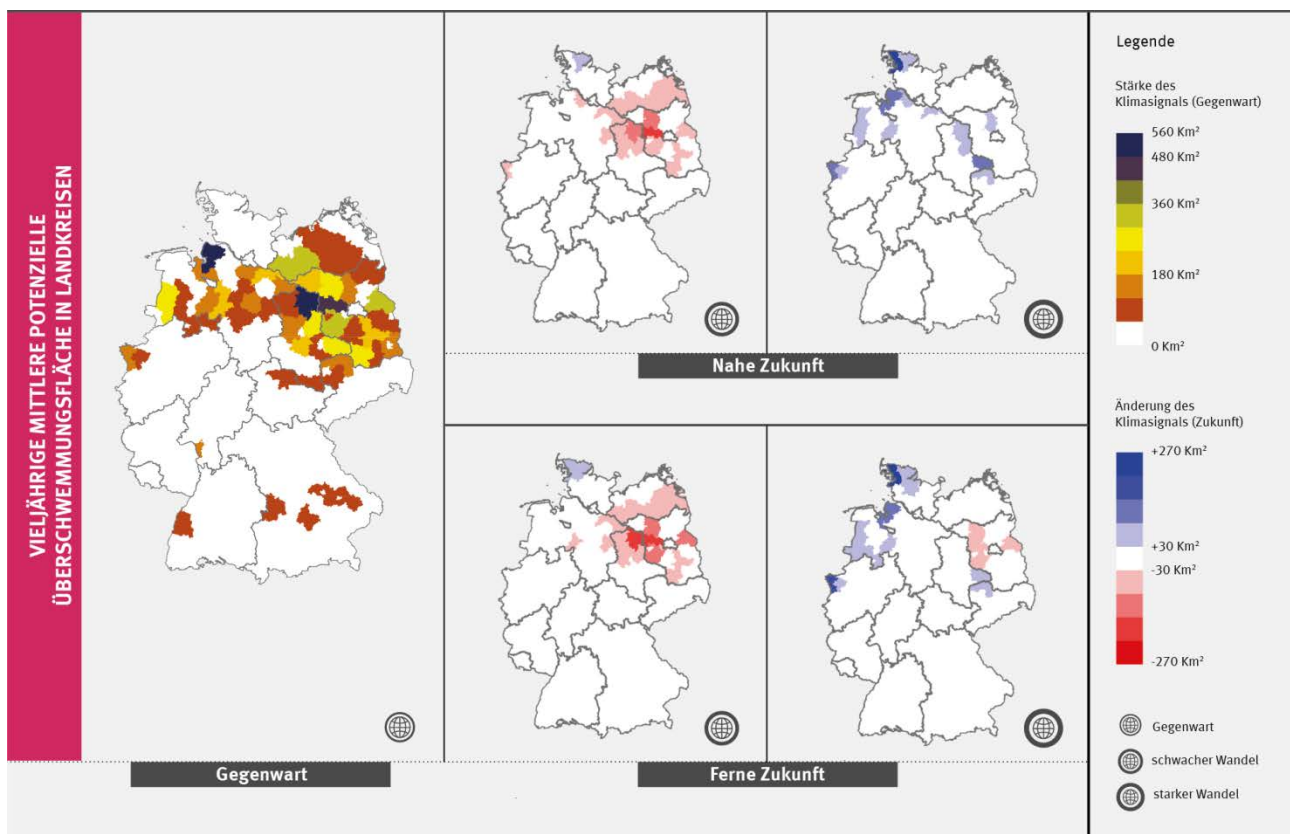
Die **Tage mit einer Schneebedeckung** von mindestens 30 Zentimetern sowie deren Veränderungen sind unter anderem für den Wintertourismus von Interesse. Derzeit sind die größten Werte in den Mittelgebirgen (unter anderem Harz, Erzgebirge, Schwarzwald, Bayerischer Wald) und den Alpen festzustellen. In den höchsten Lagen der Mittelgebirge liegt eine Schneebedeckung über 30 Zentimeter gegenwärtig an rund 100 Tagen vor. Etwas mehr Tage sind in den Alpen zu erkennen. Während der Trend für die nahe Zukunft noch ungewiss ist, könnte die Zahl der Tage mit einer Schneebedeckung von mindestens 30 Zentimetern bis zum Ende des Jahrhunderts deutlich abnehmen – im Fall eines starken Wandels zum Teil um mehr als 90 Tage in den Mittelgebirgen und mehr als 100 Tage in den Alpen.

Die Anzahl der **Badetage** zeigt aufgrund der verwendeten Parameter vergleichbare Muster wie die mittleren Lufttemperaturen im Sommer. Entlang des südlichen Oberrheins, in weiten Teilen Bayerns und in Brandenburg gibt es gegenwärtig mit bis zu 30 Tagen im Jahr die meisten Badetage. Die deutschen Küsten weisen mit fünf bis zehn Tagen im Jahr vergleichsweise wenig Badetage auf. In weiten Teilen Baden-Württembergs, Rheinland-Pfalz, Hessens und in Berlin wird mit über 30 Tagen im Jahr der größte Anstieg für die nahe Zukunft projiziert. An den Küsten wäre der Anstieg absolut gesehen nur halb so groß. In ferner Zukunft zeigt das fünfte Perzentil (schwacher Wandel) in ganz Deutsch-

land eine durchschnittliche Zunahme von rund zehn Badetagen im Jahr. Im Fall eines starken Wandels (95. Perzentil) wäre ein Anstieg von über 50 Tagen im Jahr im Süden und Norden Baden-Württembergs, Teilen Bayerns, Hessens und Rheinland-Pfalz' möglich. An Teilabschnitten der Nord- und Ostseeküste sind mit knapp über 20 Tagen im Jahr etwas geringere Zunahmen projiziert.

Mit dem Begriff „**Heiztage**“, definiert als Tage mit einer mittleren Tagestemperatur unter 15 Grad Celsius, wird die Anzahl der Tage eines Jahres, an denen geheizt wird, bezeichnet. Gegenwärtig liegt die Anzahl der Heiztage zwischen 34 und 191 Tagen pro Jahr. Die Schwerpunktgebiete mit den meisten Heiztagen sind aufgrund der allgemein geringeren Lufttemperatur in den höheren Lagen der Mittelgebirge und im Bereich der Alpen zu erkennen (mehr als 100 Heiztage im Jahr). Für beide zukünftigen Zeiträume und den gesamten Entwicklungskorridor wird eine Abnahme der Heiztage projiziert. Die betrachteten Projektionen der nahen Zukunft zeigen Veränderungen mit 10 bis 30 Heiztagen im Jahr weniger. Für die ferne Zukunft ist in weiten Teilen der Bundesrepublik eine Abnahme der Heiztage pro Jahr zwischen 20 und 50 Tagen zu erwarten.

Abbildung 7: **Vieljährige mittlere potenzielle Überschwemmungsfläche in Landkreisen sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart**



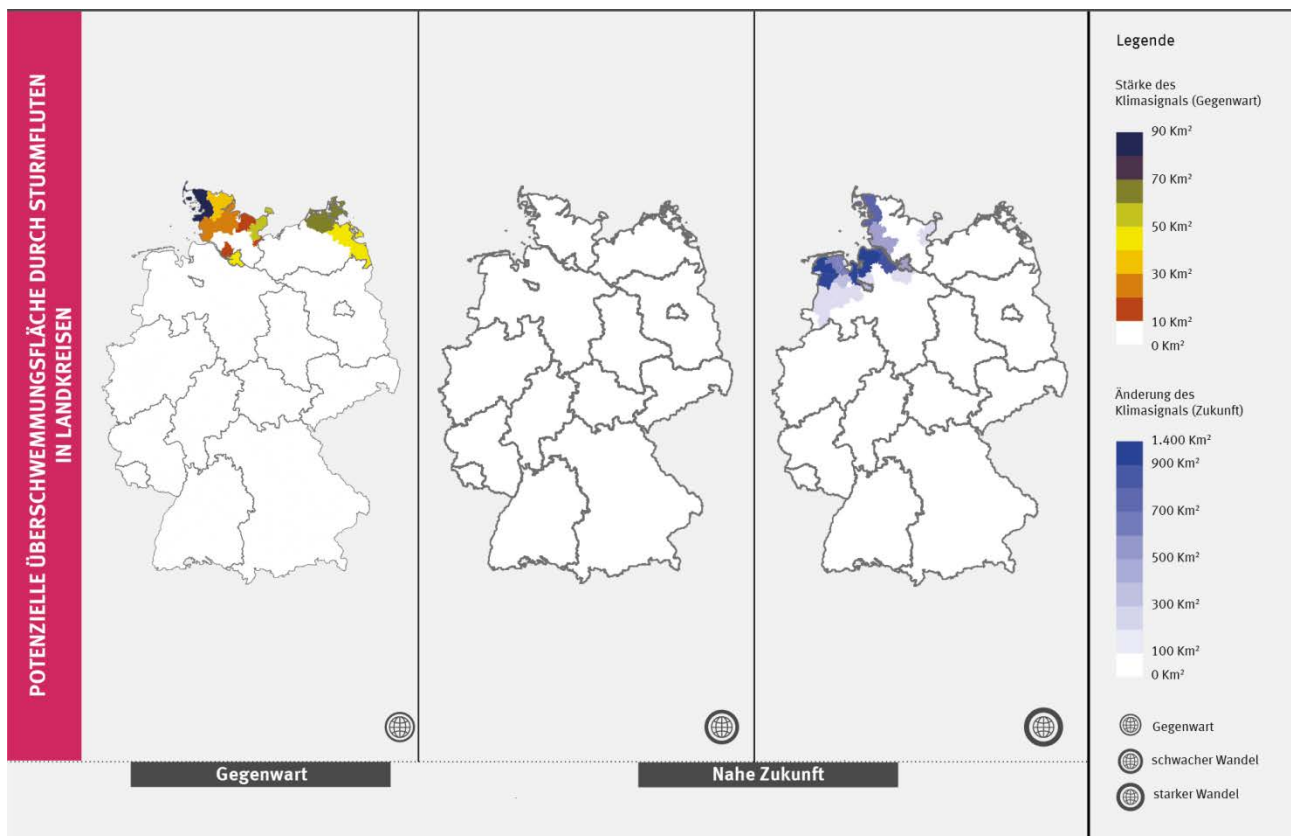
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Joint Research Centre 2013

Zur Modellierung potenzieller **Überschwemmungsereignisse** durch Flüsse wurde das hydrologische Niederschlags-Abfluss-Modell LISFLOOD verwendet (siehe Abbildung 7). Quantitativ konzentrieren sich die potenziell von Flusshochwasser betroffenen Gebiete auf die Nordhälfte Deutschlands im Umland der Flüsse Eider, Elbe, Ems, Havel, Oder, Rhein, Schlei/Trave und Weser. Dort sind auch die größten nennenswerten Veränderungen potenzieller Überschwemmungsflächen zu erwarten. Ein schwacher Wandel in naher Zukunft ist verbunden mit flächendeckenden Rückgängen mit einer Ausnahme im Kreis Schleswig-Flensburg, der eine leichte Zunahme verzeichnet. Der starke Wandel weist ausschließlich Zunahmen der potenziellen Überschwemmungsflächen aus. Insbesondere in

Nordfriesland im Bereich der Eider, im Kreis Kleve am unteren Niederrhein sowie in den Kreise im Dreiländereck Sachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg (Havel und Elbe) werden Zunahmen erwartet. In der fernen Zukunft würde sich diese Entwicklung für den schwachen Wandel (15. Perzentil) mit leicht verstärkter Ausprägung fortsetzen. Für den starken Wandel (85. Perzentil) hingegen zeigt sich eine Trendumkehr im Nordosten Deutschlands in den Kreisen um Berlin. Im Bereich von Mittelelbe-Elde, Havel und Oder wird ein Rückgang potenziell überfluteter Flächen erwartet. Ansonsten sind voraussichtlich weiterhin die Kreise Nordfriesland, Kleve sowie zusätzliche Kreise entlang der Ems und Weser potenziell von Zunahmen betroffen.

Für die Analyse der Auswirkungen potenzieller **Sturmflutereignisse** wurden die sogenannten „Seeseitigen Überflutungsflächen“ des Geoportals „Überflutungsszenarien der HWRM-RL“ der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) verwendet (siehe Abbildung 8). Zur Einschätzung werden die Flächen des Ereignisses ‚Mittlerer Wahrscheinlichkeit (HQ₁₀₀)‘ für die Gegenwart und für die nahe Zukunft (schwacher Wandel) verwendet. Für die nahe Zukunft (starker Wandel) wurden die Überflutungsflächen eines HQ_{extrem} angewandt, unter der Annahme, dass zukünftig veränderte klimatische Bedingungen dazu führen könnten, dass ein HQ₁₀₀-Ereignis in Zukunft eher dem heutigen HQ_{extrem} entspricht. Dies wurde über das Szenario einer sehr schweren Sturmflut ermittelt. Die Informationen beruhen auf den Daten der zuständigen Behörden der Länder. An der Ostseeküste sind die Unterschiede der beiden Szenarien hinsichtlich der potenziell betroffenen Flächen vergleichsweise gering. Das Extremereignis weist geringfügige Flächenzunahmen aus. An der Nordseeküste hingegen werden beim Extremereignis (HQ_{extrem}) deutliche Zunahmen der potenziell überflutungsgefährdeten Flächen prognostiziert. Das komplette Küstengebiet und weite Teile der rückwärtigen Landflächen werden dann als potenziell überflutungsgefährdet eingeschätzt.

Abbildung 8: Potenzielle Überschwemmungsflächen durch Sturmfluten in Landkreisen sowie Änderungssignal über die Projektionszeiträume gegenüber der Gegenwart



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Bundesanstalt für Gewässerkunde 2013

4 Sozio-ökonomische Entwicklung

Die sozio-ökonomische Entwicklung wurde im Rahmen des Netzwerks Vulnerabilität bei der Einschätzung der Sensitivität in der Gegenwart und der nahen Zukunft berücksichtigt. Für die ferne Zukunft liegen keine Szenarien der sozio-ökonomischen Entwicklung vor. Für die nahe Zukunft hingegen wurden zwei Szenarien „Wachstum“ und „Stagnation“ betrachtet, um eine mögliche Bandbreite abzubilden (siehe Tabelle 1). 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.

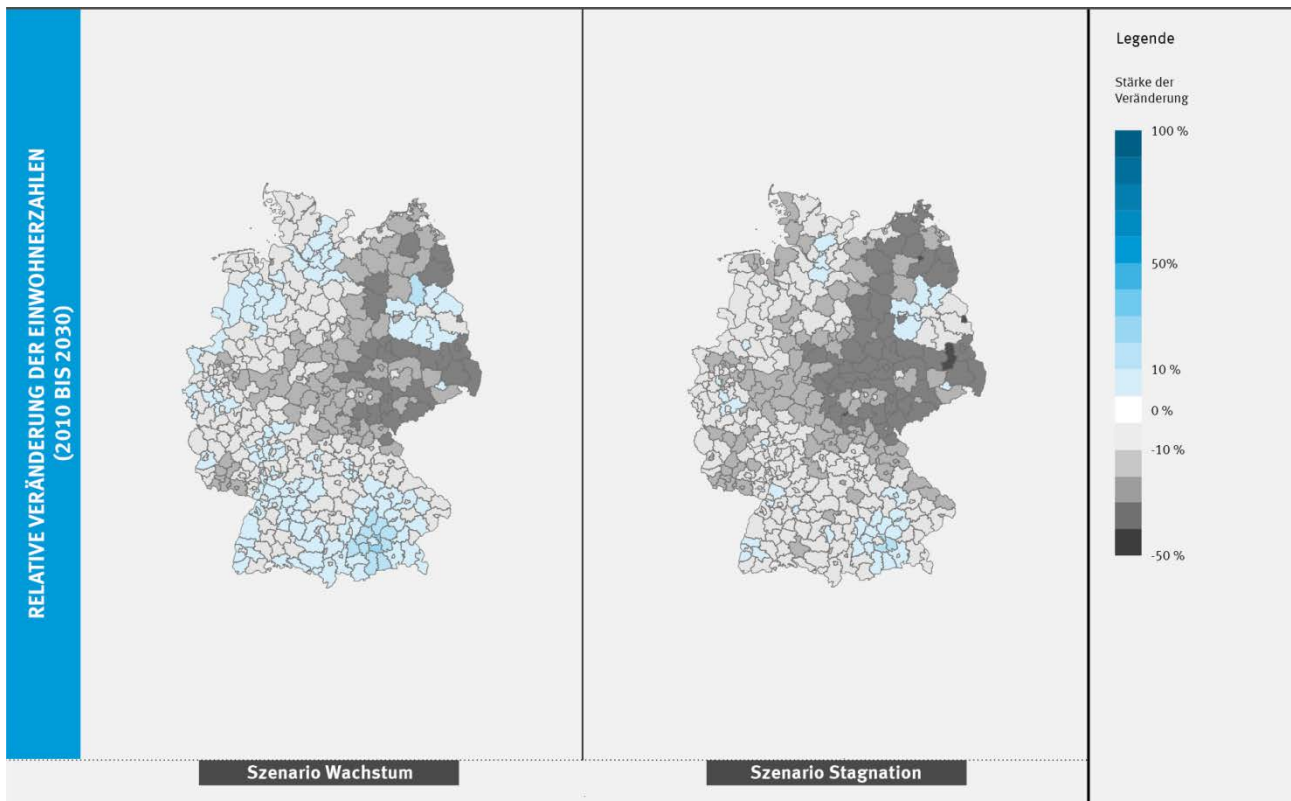
Tabelle 1: Parameter und Kenngrößen der sozio-ökonomischen Entwicklung für die Landnutzungsszenarien (2009 bis 2030)

Parameter	Wachstumsszenario	Stagnationsszenario
Außenwanderungssaldo jährlich (langfristige, annahmegemäße Zielgrößen)	+150.000	+70.000
Bruttoinlandsprodukt jährlich (langfristige, annahmegemäße Zielgrößen)	+1,1 Prozent durchschnittlich pro Jahr	+0,58 Prozent durchschnittlich pro Jahr
Bevölkerungsentwicklung 2009 bis 2030	-3,92 Prozent (-0,19 Prozent durchschnittlich pro Jahr)	-7,56 Prozent (-0,37 Prozent durchschnittlich pro Jahr)
Bevölkerung 2030 absolut	78,68 Millionen	75,67 Millionen
Anzahl der Haushalte 2030 absolut	41,3 Millionen	40,3 Millionen
Täglicher Flächenverbrauch 2009 bis 2030 (bundesweit, Umwandlung unbebaute in bebaute Fläche)	59,0 Hektar durchschnittlich pro Jahr	49,3 Hektar durchschnittlich pro Jahr

Quelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2012

Die Entwicklung der **Einwohnerzahlen** ist regional sehr verschieden (siehe Abbildung 9). Im Szenario „Wachstum“ zeichnet sich insbesondere in den ostdeutschen Bundesländern sowie in einigen Regionen im Westen der Bundesrepublik eine deutliche Abnahme ab. Im Szenario „Stagnation“ ist in den Kreisen Frankfurt (Oder) und Oberspreewald-Lausitz sowie Suhl und Neubrandenburg mit einer Abnahme der Bevölkerung bis 2030 zu rechnen. Die Entwicklung der Haushalte weist ein sehr ähnliches Bild auf. Im Szenario „Wachstum“ nimmt die Anzahl der Haushalte insbesondere in den ostdeutschen Bundesländern ab. Es gibt aber auch Regionen mit einer starken Zunahme der Haushaltszahlen. Hier ist insbesondere der Großraum München zu nennen, wo der Zuwachs bei über 20 Prozent liegen kann. Im Szenario „Stagnation“ sind die Entwicklungen deutlich ausgeprägter. Die räumlichen Muster entsprechen dem Szenario „Wachstum“, unterscheiden sich jedoch dahingehend, dass die Anzahl an Regionen mit einer deutlichen Abnahme der Haushaltszahlen höher ist.

Abbildung 9: Szenarien „Wachstum“ und „Stagnation“ der relativen Veränderung der Einwohnerzahl (2010 bis 2030)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2012; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2011; Distelkamp et al., Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung 2009; Distelkamp et al. 2011

In beiden Szenarien bleibt die **absolute Anzahl älterer Menschen** in den wirtschaftlich weniger dynamischen Regionen (zum Beispiel Sachsen-Anhalt, Sachsen, einige periphere Regionen) in naher Zukunft in etwa gleich, jedoch nimmt der Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung hier zu. Dies liegt daran, dass bei einer insgesamt stagnierenden wirtschaftlichen Entwicklung in großem Maße jüngere Menschen die Regionen verlassen. Im Wachstumsszenario wird von einer gewissen wirtschaftlichen Dynamik auch in den ökonomisch eher problematischen Regionen ausgegangen, sodass der Anteil der älteren Menschen geringer ist als im Stagnationsszenario.

Die Veränderungen des **Bruttoinlandsprodukts** zeigen im Vergleich der Szenarien räumlich sehr große Unterschiede. Beide Szenarien haben gemein, dass insgesamt mit einer positiven Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts zu rechnen ist. Im Szenario „Wachstum“ hat der Großteil der Landkreise einen Zuwachs zwischen 40 und 60 Prozent. Im Szenario „Stagnation“ können insbesondere Regionen im Osten und Süden des Landes mit sehr positiven Entwicklungen rechnen. Hingegen haben Regionen der westdeutschen Bundesländer mit geringeren Zuwächsen zu rechnen.

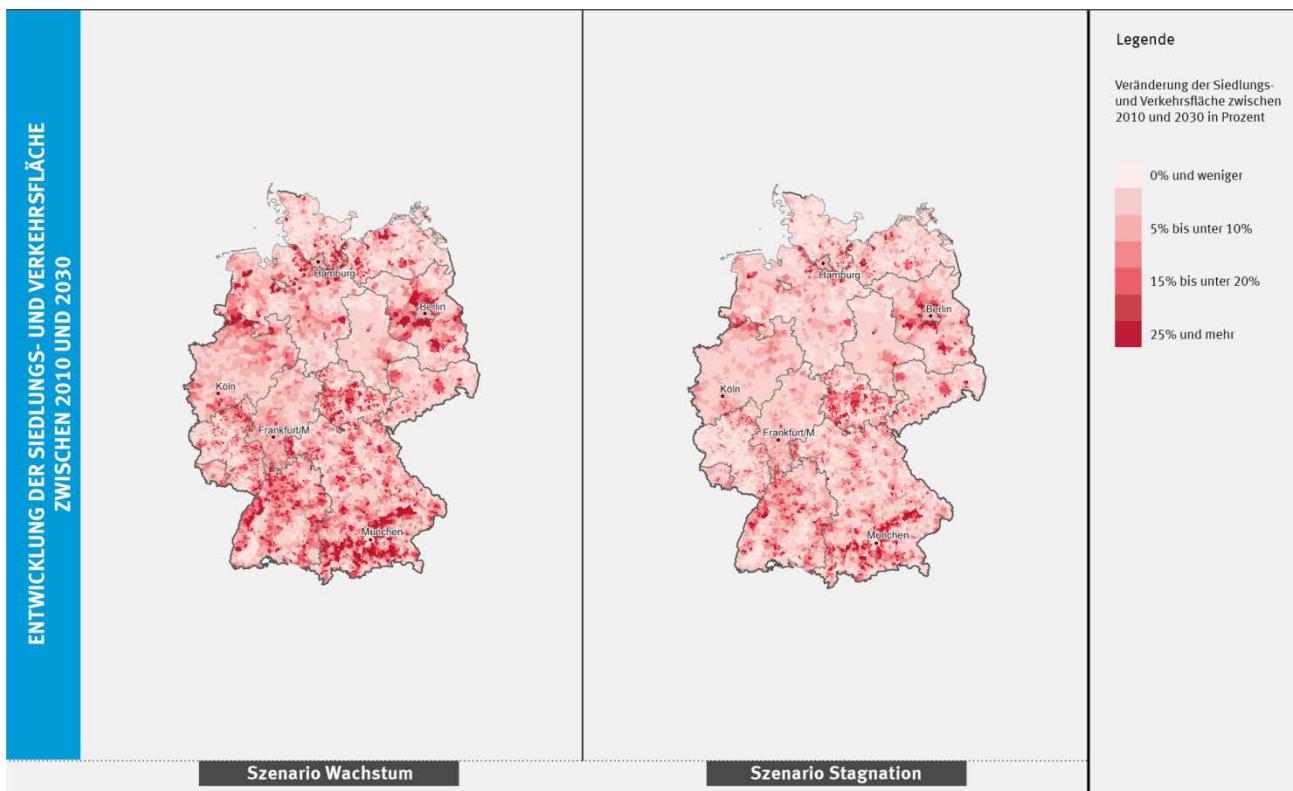
Die Szenarien zur relativen Veränderung des **verfügbaren Einkommens** der privaten Haushalte unterscheiden sich in der Stärke ihrer räumlichen Ausprägung. Regionen mit den stärksten Verlusten sind unter anderem Magdeburg, Dessau-Roßlau, Brandenburg an der Havel und Halle (Saale). Die stärksten Zuwächse des verfügbaren Einkommens wird es im Großraum München, im Saarpfalz-Kreis, Rhein-Neckar-Kreis, Wartburgkreis, Braunschweig, Wolfsburg, Sömmerda und Nordwest-Mecklenburg geben. Der Großteil Deutschlands kann bei einem Szenario „Wachstum“ mit einer positiven Entwicklung des verfügbaren Einkommens rechnen. Bei einem Szenario „Stagnation“ ist dies ähnlich, die Ausprägungen sind jedoch deutlich geringer. Einige Regionen, die im Szenario „Wachs-

tum“ mit einer Verringerung des verfügbaren Einkommens rechnen müssen, werden im Szenario „Stagnation“ mit einer noch stärkeren Abnahme konfrontiert.

Mit einem Anstieg der **Anzahl der Erwerbstätigen** kann insbesondere in der Region Nordwest-Mecklenburg und Regionen wie Dingolfing-Landau, dem Rhein-Neckar-Kreis, Wolfsburg, Dahme-Spree-wald und Vechta gerechnet werden. Im Fall des Wachstumsszenarios haben die meisten Landkreise zunehmende Erwerbstätigenzahlen zu erwarten. Dennoch kann insbesondere der Osten Deutschlands sowie vereinzelt, ländliche Regionen im Norden und Westen mit einer leichten Abnahme der Anzahl der Erwerbstätigen rechnen. Im Szenario „Stagnation“ fällt die Abnahme der Erwerbstätigen im Mittel deutlich stärker aus als im Szenario „Wachstum“. Die regionalen Charakteristika sowohl bei der Abnahme als auch der Zunahme der Anzahl der Erwerbstätigen unterscheiden sich jedoch nicht.

Die **Landnutzungsszenarien**, die ebenfalls in die Sensitivität eingeflossen sind, gehen für das Jahr 2030 insgesamt von einer Zunahme der Flächennutzung für Siedlung und Verkehr aus (siehe Abbildung 10). Die Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung in Deutschland zwischen 2010 und 2030 zeigt, dass Regionen mit künftig hoher Flächeninanspruchnahme vor allem die Regionen sind, die bereits heute einen hohen Anteil an Siedlungs- und Verkehrsfläche aufweisen. Im Besonderen sind das die Regionen um die großen Metropolen Hamburg, Berlin, München und Rhein-Main. Gleichzeitig sind auch die Regionen mit besonders geringer Flächeninanspruchnahme deutlich erkennbar. Vor allem in Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern sowie dem Schwarzwald und der Schwäbischen Alb sind auf Grund der demographischen Entwicklung nur noch geringe Zuwächse der Siedlungs- und Verkehrsfläche zu erwarten.

Abbildung 10: Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche zwischen 2010 und 2030 in Prozent (Gemeindeebene) für das Wachstumsszenario und das Stagnationsszenario



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2014; Distelkamp et al., Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung 2009; Hoymann und Goetzke 2014

5 Generische Anpassungskapazität und die Anpassungskapazität der Raumplanung

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 Anpassungskapazität, die für jedes Handlungsfeld durch Experteninterviews ermittelt wurde und beschreibt, wie anpassungsfähig das Handlungsfeld ist;
2. die generische Anpassungskapazität, welche allgemein und handlungsfeldunabhängig zentrale Bedingungen für eine anpassungsfähige Gesellschaft mittels Indikatoren beschreibt;
3. die Anpassungskapazität der Querschnittsthemen „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“ und „Bevölkerungsschutz“, die deren Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel beschreibt.

Diese drei Formen von Anpassungskapazität flossen zusammen mit der integrierten Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels in die zusammenfassende Bewertung der Vulnerabilität des jeweiligen Handlungsfelds ein.

Die **generische Anpassungskapazität** einer Gesellschaft beschreibt die strukturellen Rahmenbedingungen für die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen. Anpassung findet in verschiedenen Governance-Einheiten statt. Für die Einschätzung der generischen Anpassungskapazität im Rahmen des Netzwerks Vulnerabilität wurden die öffentliche Verwaltung, die Privatwirtschaft sowie die Zivilgesellschaft als die wichtigsten Governance-Einheiten ausgewählt. Diese Governance-Einheiten 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 geringe 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. Berlin weist von allen betrachteten Kreisen und kreisfreien Städten die höchste Anpassungskapazität auf. Danach folgen Großstädte wie München, Nürnberg, Stuttgart, Düsseldorf und Wolfsburg. Eine mittlere generische Anpassungskapazität ist in nahezu allen Kreisen und kreisfreien Städten Nordrhein-Westfalens vorzufinden. Auch angrenzende Kreise und kreisfreie Städte in Niedersachsen sowie vereinzelte Kreise in Bayern und Hessen weisen eine mittlere generische Anpassungskapazität auf. Eine relativ geringe generische Anpassungskapazität lässt sich in weiten Teilen der Bundesländer Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Schleswig-Holstein und Bayern feststellen. Die geringste Anpassungskapazität weisen neben dem Saarland insbesondere große Teile Ostdeutschlands auf. **Insgesamt ist die Aussagekraft der generischen Anpassungskapazität jedoch begrenzt, da lediglich die potenzielle Fähigkeit zur Anpassung an den Klimawandel abgebildet wird, 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.

Die Bereiche „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“ sowie „Bevölkerungsschutz“ sind in der Deutschen Anpassungsstrategie als Querschnittsthemen besonders hervorgehoben: Während Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung, und damit übergreifend die Raumplanung, am Anfang der Risikovermeidungskette stehen, setzt sich der Bevölkerungsschutz aus den Elementen Vor-

sorge und Reaktion zusammen und beinhaltet alle zivilen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und ihrer Lebensgrundlagen.

Bei der Betrachtung der Anpassungsaktivitäten der Raumplanung wurden sowohl die Anpassungsaktivitäten im Rahmen der Raumplanung auf regionaler Ebene, als auch die Anpassungsaktivitäten im Rahmen der Raumplanung auf lokaler Ebene betrachtet.

Die Analyse der **Anpassungskapazität der Regionalplanung** wurde im Jahr 2014 als Vollerhebung für ganz Deutschland auf Ebene der Regionalplanungsregionen (Gebietsstand 31.12.2013) durchgeführt. Sie ermöglicht es, quantitative Aussagen über die Berücksichtigung der Anpassungsmöglichkeiten der formalen Raumplanung zu treffen. Diese Analyse untersucht, in welchen Regionalplänen Vorrangs- und Vorbehaltsgebiete³ für die 7 Handlungsbereiche der MKRO⁴ ausgewiesen wurden, die für die Anpassung an den Klimawandel bedeutsam sind⁵. Die Analyse bezieht somit nur formale Festlegungen der Raumordnung mit ein. Informelle Instrumente und Maßnahmen, wie Beteiligungs- und Kooperationsstrukturen, können nicht berücksichtigt werden, da sich diese nicht standardisiert erheben und hinsichtlich ihrer Wirkung auswerten lassen. Des Weiteren unberücksichtigt bleiben die Stadtstaaten Berlin, Bremen (inklusive Bremerhaven) und Hamburg, da deren Regionalplanung mit der Flächennutzungsplanung der lokalen Ebene abgedeckt ist und sie auf Grund dessen keinen Regionalplan haben. Selbiges gilt für die sechs kreisfreien Städte Niedersachsens, weshalb diese ebenfalls nicht einbezogen wurden. Des Weiteren unberücksichtigt blieben die Städteregion Ruhr, für die ein Regionaler Flächennutzungsplan (RFNP) besteht und das Saarland, dessen Regionalplanung bereits auf Ebene der Landesraumordnung geschieht. Auffällig sind die Regionalplanungsregionen Brandenburgs und zwei Planungsregionen Niedersachsens, in denen keine regionalplanerische Umsetzung erfolgte. Dieses Ergebnis resultiert daraus, dass am Stichtag in den Planungsregionen Brandenburgs keine integrierten Regionalpläne⁶ vorlagen. In den beiden niedersächsischen Planungsregionen waren am Stichtag die Regionalpläne aufgrund von Zeitablauf ungültig. Betrachtet man die Regionalplanungsregionen der Bundesländer im Vergleich, fällt auf, dass vor allem in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen bereits viele formale Möglichkeiten der Regionalplanung zur Anpassung an den Klimawandel genutzt werden (siehe Abbildung 11).

Auf lokaler Raumplanungsebene wurde aufgrund der Vielzahl von Gemeinden (über 4.000) die Anzahl der durchgeführten, vom Bund geförderten Klimaanpassungsprojekte pro Gemeinde als Indikator für die Anpassungsaktivitäten auf lokaler Ebene verwendet. Im Ergebnis zeigt sich, dass in der Mehrzahl der Landkreise bisher keine Klimaanpassungsprojekte abgeschlossen wurden, die in den genannten Datenbanken dokumentiert sind. Allerdings finden insbesondere auf lokaler Ebene viele Aktivitäten statt, die nicht unter dem Begriff der Anpassung an den Klimawandel geführt werden (zum Beispiel kommunale Wasserwirtschaft, kommunale Landschaftsplanung) und außerhalb von Förderaktivitäten durchgeführt werden.

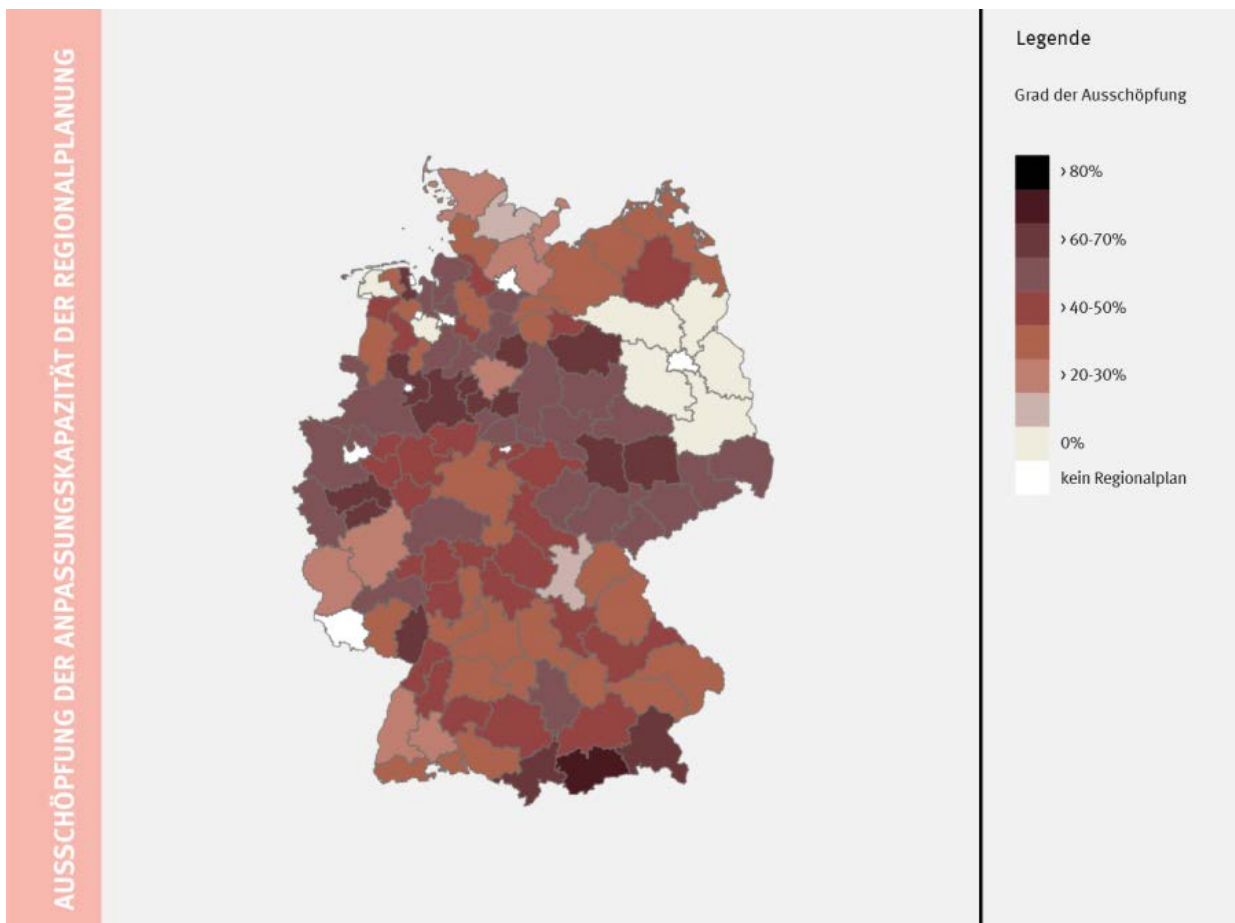
³ Während für Vorranggebiete bestimmte Funktionen und Nutzungen vorgesehen sind und andere Nutzungen dadurch ausgeschlossen werden, haben sie in Vorbehaltsgebieten zwar ein besonderes Gewicht bei der Abwägung, die Nutzung ist aber nicht endabgewogen festgelegt.

⁴ Die Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) definierte 2013 sieben Handlungsbereiche zur Klimaanpassung: die Risikovorsorge für den Hochwasserschutz in den Flussgebieten (1), die Risikovorsorge für den Küstenschutz (2), der Schutz der Berggebiete (3), der Schutz vor Hitzefolgen (4) und vor Wasserknappheiten (5) sowie die Berücksichtigung klimabedingter Veränderungen im Tourismusverhalten (6) und in den Lebensräumen von Tieren und Pflanzen (7) von wesentlicher Bedeutung. Darüber hinaus können in Zukunft weitere Themen von der MKRO in einer Fortschreibung ihrer EntschlieÙung zu „Raumordnung und Klimawandel“ aufgegriffen werden.

⁵ Allerdings kann mit dieser Analyse keine Aussage über die Anpassungskapazität anderer Handlungsfelder getroffen werden, da die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten in entsprechenden Plansätzen nicht bedeutet, dass entsprechende Anpassungsmaßnahmen durch die zuständige Fachplanung umgesetzt werden.

⁶ Es liegt auch kein Teilplan zu Klimaanpassung vor, der einen Beitrag zur Anpassungskapazität leisten könnte.

Abbildung 11: Ausschöpfung der Anpassungskapazität der Regionalplanung



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Schmitt (2014)

Für den Bevölkerungsschutz wurden auf Grundlage einer Publikation des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2011a) Anpassungsoptionen erarbeitet und im Rahmen des Netzwerks Vulnerabilität weiterentwickelt. Es ist noch nicht möglich, flächendeckende quantifizierbare Aussagen zum Beitrag des Bevölkerungsschutzes zur Anpassungskapazität an den Klimawandel zu machen. Um die Anpassungsaktivitäten des Bevölkerungsschutzes vollständig zu erfassen, wäre es notwendig, eine hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Ebene einheitliche Datenbasis zu schaffen. Dabei geht es um die systematische Erfassung von Daten, um die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Arbeit des Bevölkerungsschutzes nachvollziehbarer zu machen.

6 Auswertung bestehender Vulnerabilitätsstudien

Basierend auf einer umfassenden Literatursauswertung wurde im Netzwerk Vulnerabilität der „Klimastudienkatalog“ erarbeitet (<http://netzwerk-vulnerabilitaet.de/klimastudienkatalog/>). Dieses Onlinetool ermöglicht es seinen Nutzern, sich strukturiert über die erwarteten Klimawirkungen in Deutschland zu informieren.

Insgesamt konnten unter Mithilfe der Bundesoberbehörden und -institutionen, die dem Netzwerk Vulnerabilität angehören, sowie der Länderbehörden 155 Studien ermittelt werden, von denen 76 Studien räumlich konkrete Aussagen zu Klimawirkungen in Deutschland enthalten (Stichtag: 31.08.2012). Der Großteil der Studien ist seit dem Jahr 2005 fertig gestellt worden, mit einem vorläufigen Maximum im Jahr 2011. Etwa drei Viertel der untersuchten Studien beziehen sich auf Deutschland beziehungsweise Teilregionen innerhalb Deutschlands – sei es direkt oder als Teil internationa-

ler Studien und Projekte, bei denen beispielsweise Fallbeispiele aus Deutschland bearbeitet wurden oder Deutschland insgesamt Teil einer gesamteuropäischen Betrachtung ist. Etwa ein Drittel der untersuchten Studien (45 von 155 Studien) wurde von Bundesländern (Landesministerien, Landesämter) und weitere 27 Studien wurden vom Bund (Bundesministerien, Bundesämter) in Auftrag gegeben. Sie betrachten somit die Gesamtfläche oder Teilflächen eines Bundeslands, sodass von den 155 auf methodische Fragen untersuchten Studien 72 Studien einen klaren räumlichen Fokus auf einzelne oder mehrere Bundesländer haben.

Die Deutsche Anpassungsstrategie nennt 15 Handlungsfelder der deutschen Anpassungspolitik, darunter zwei Querschnittsthemen. Diese Untergliederung diente bei der Auswertung der in den Klimastudienkatalog des Netzwerks Vulnerabilität eingestellten 155 Studien als Grundlage für die inhaltliche Zuordnung dieser Studien. Die Mehrheit der untersuchten Studien (92 von 155) betrachtet nicht nur eines sondern mehrere Handlungsfelder und ist somit als „handlungsfeld- oder sektorenübergreifend“ zu bezeichnen, was jedoch nicht mit einer Aggregation oder Integration der Analyseergebnisse über die Handlungsfelder hinweg gleichzusetzen ist. 59 Studien beschränken sich auf Aussagen zu einem Handlungsfeld der Deutschen Anpassungsstrategie. Als am häufigsten untersuchte Handlungsfelder treten hier „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft“, „Landwirtschaft“, „Menschliche Gesundheit“ sowie „Wald- und Forstwirtschaft“ auf. Das Schlusslicht wird von den Handlungsfeldern „Fischerei“ sowie „Finanzwirtschaft“ gebildet.

Aus bundesdeutscher Sicht interessant ist insbesondere, welche räumlich konkreten Aussagen sich in Bezug auf einzelne Handlungsfelder für die Teilregionen Deutschlands (hier: Bundesländer) und Gesamtdeutschland in den Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien finden. Dies ermöglicht einen Überblick über die tatsächlich für Deutschland beziehungsweise die deutschen Bundesländer vorliegenden Informationen und zeigt zugleich bestehende Lücken auf. Dazu wurden diejenigen Studien ausgewählt, in denen konkrete raumbezogene Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland getroffen wurden. Die für die deutschen Bundesländer oder Gesamtdeutschland relevanten Aussagen wurden dann aus den vorliegenden Studien extrahiert und im Klimastudienkatalog auf Länder- und Handlungsfeldebene zusammengefasst. Durch die Bewertung der Aussagen mithilfe eines Kodierleitfadens konnte für jedes Bundesland und für die gesamte Bundesrepublik ein an die Darstellung einer Ampel angelehntes „Klimawirkungsdiagramm“ generiert werden, das alle vorliegenden Aussagen zu einem Handlungsfeld oder zu allen Handlungsfeldern nebeneinander abbildet.

Die für Deutschland, die Bundesländer und einzelne Regionen zu den Auswirkungen des Klimawandels vorliegenden Studien decken eine große Bandbreite von konzeptionellen Ansätzen ab. Es gibt keine vergleichbare Methodik: Es werden unterschiedliche Grundansätze, Betrachtungszeiträume, verschiedene Klimamodelle und Klimaszenarien verwendet. In einigen Studien werden integrierte Modelle eingesetzt, um künftige Auswirkungen abzuschätzen. Oft findet auch eine Verquickung von Primär-, Sekundär- und grauer Literatur statt. Ein quantitativer Vergleich zwischen den Ergebnissen verbietet sich daher ebenso wie eine Verwendung auf anderen räumlichen Ebenen. Somit ist es unmöglich, die Ergebnisse zu Aussagen zusammenzufassen, die einzelne Handlungsfelder oder Ländergrenzen überschreiten, und daraus flächendeckend vergleichende Aussagen zu den Auswirkungen und zum Anpassungsbedarf an den Klimawandel in Deutschland abzuleiten, was die Notwendigkeit einer nach einheitlicher Methodik durchgeführten Vulnerabilitätsanalyse mit flächendeckenden Aussagen über alle Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie hinweg unterstreicht. Dennoch ist die Gesamtheit bestehender Einzelstudien die aktuelle, in Politik und Öffentlichkeit wahrgenommene Evidenzbasis, mit der die aktuelle Anpassungspolitik begründet wird.

Die Grenzen der Aussagefähigkeit müssen bei der Verwendung des Klimastudienkatalogs und bei der Interpretation der Ergebnisse unbedingt berücksichtigt werden. Der Klimastudienkatalog ist daher als Informationssystem über bestehende Studien zu verstehen und sollte nicht als Grundlage für eine Vulnerabilitätsbewertung auf Bundesebene genutzt werden.

7 Klimawirkungen und Vulnerabilität in den Handlungsfeldern

Die im Rahmen des Netzwerks Vulnerabilität durchgeführte Analyse der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel umfasst alle 15 Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Das Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz wurde in Wasserwirtschaft und -haushalt sowie Küsten- und Meeresschutz geteilt.

Die Abschnitte zu den Handlungsfeldern werden jeweils von einer Überblickstabelle abgeschlossen. Die Tabellen benennen die einflussreichsten Klimasignale und Sensitivitäten sowie die handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität im Tabellenkopf. Sie führen für alle im Handlungsfeld betrachteten Klimawirkungen mit den beeinflussenden Klimasignalen die Ergebnisse der Beurteilung der Bundesoberbehörden und -instituten im Netzwerk Vulnerabilität auf. Die Bedeutung der Klimawirkungen wurde für die Gegenwart und die nahe Zukunft beurteilt. Die ergänzenden Angaben zur Stärke und Robustheit der Entwicklung der Klimasignale von der nahen (2021 bis 2050) zur fernen Zukunft (2071 bis 2100) beruhen auf Analysen der Projektionen von Klimasignalen (siehe Kapitel 3).

7.1 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“ (siehe Tabelle 2) wurden die Indikatoren der Klimawirkungen „Bodenwassergehalt, Sickerwasser“ sowie „Bodenerosion durch Wasser und Wind, Hangrutschung“ meist mit Hilfe von Wirkungsmodellen berechnet. Die Einschätzung der Klimawirkungen „Boden-Biodiversität, mikrobielle Aktivität“, „Organische Bodensubstanz, Stickstoff- und Phosphor-Haushalt, Stoffausträge“ sowie „Produktionsfunktionen (Standortstabilität, Bodenfruchtbarkeit)“ erfolgte auf der Basis von Experteninterviews.

Deutschlandweit wurden im Handlungsfeld „Boden“ alle klimatischen Auswirkungen für einen starken Wandel in naher Zukunft (2021 bis 2050) als bedeutsam bewertet. Auswirkungen auf Bodenwassergehalt und Sickerwasser sind bereits heute in einigen Regionen Deutschlands deutlich feststellbar. Beim Szenario „starker Wandel“ könnte es in naher Zukunft zu signifikanten Trockenheitseffekten kommen (mittlere bis hohe Gewissheit). Für die Boden-Biodiversität und mikrobielle Aktivität (geringe Gewissheit) sowie die organische Bodensubstanz, Stickstoff- und Phosphor-Haushalt sowie Stoffausträge (geringe bis mittlere 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 könnten alle Bodenprozesse verstärkt verändert werden.

Im Allgemeinen stehen im und für das Handlungsfeld „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. Unter Berücksichtigung der mittleren bis hohen Betroffenheit ergibt sich für das Handlungsfeld „Boden“ somit eine mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

Tabelle 2: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Boden“

Boden					
Zentrale Klimasignale:					
Zentrale Sensitivitäten:		Temperatur	Trockenheit	Niederschlag	Extremereignisse
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		Bodenart und Bodenstruktur, Bodenbedeckung und -nutzung, Bodenfeuchte und Hangneigung			
		mittel			
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit / Analyse-methode	
Bodenerosion durch Wasser und Wind, Hangrutschung	Niederschlag, Starkregen, Sturzfluten, Starkwind, Trockenheit, Hitze	Gegenwart		Mittel bis hoch / Wirkmodell und Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~ bis ++			
Bodenwassergehalt, Sickerwasser	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart		Mittel bis hoch / Wirkmodell	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Produktionsfunktionen (Standortstabilität, Bodenfruchtbarkeit)	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit, Wind	Gegenwart		Gering bis mittel/ Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~ bis ++			
Boden-Biodiversität, mikrobielle Aktivität	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart		Gering / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Organische Bodensubstanz, Stickstoff- und Phosphor-Haushalt, Stoffausträge	Niederschlag, Temperatur	Gegenwart		Gering bis mittel/ Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			

Legende

Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:
■ gering
■ mittel
■ hoch

Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):
 ++ starke Änderung
 + Änderung
 ~ ungewiss

7.2 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 (siehe Tabelle 3): die Klimawirkung auf die „Ausbreitung invasiver Arten“, auf die „Areale von Arten“, auf „Biotope und Habitate“ sowie auf die „Ökosystemleistungen“. Die Operationalisierung erfolgte durch Modelldaten und Experteninterviews.

Insgesamt wurde der Ausbreitung invasiver Arten die höchste Bedeutung zugemessen. In naher Zukunft ist bei einem starken Wandel mit einer verstärkten Ausbreitung invasiver Arten ausgehend von den Metropolregionen (Rhein-Ruhr, Frankfurt, München), des oberen Rheintals sowie den mitteldeutschen Trockengebieten und dem Erzgebirgsvorland zu rechnen (mittlere Gewissheit). Lokal könnte 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 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 Gewissheit). Die meisten Ökosystemleistungen wären 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 könnte die Veränderung von Ökosystemleistungen insgesamt an Bedeutung zunehmen (geringe Gewissheit).

Die Anpassungskapazität des Handlungsfeldes „Biologische Vielfalt“ gegenüber den direkten Auswirkungen des Klimawandels ist gering bis mittel. 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. Insgesamt ergibt sich für das Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ eine mittlere bis hohe Vulnerabilität für die nahe Zukunft, die sich in ferner Zukunft noch erhöhen könnte.

Tabelle 3: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“

Biologische Vielfalt				
Zentrale Klimasignale:		 Temperatur	 Niederschlag	
Zentrale Sensitivitäten:		Sensitivität einzelner Arten gegenüber dem Klimawandel (besonders kritisch: Arten, die in Deutschland ihre südliche Verbreitungsgrenze haben); Ballungsregionen (für invasive Arten)		
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		Gering bis mittel		
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung	Gewissheit/Analysemethode	
Ausbreitung invasiver Arten	Temperatur	Gegenwart	Mittel / Wirkmodell	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Areale von Arten	Niederschlag, Temperatur	Gegenwart	Mittel / Wirkmodell	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Ökosystemleistungen	Niederschlag, Temperatur	Gegenwart	Gering / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Biotope und Habitate	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart	Mittel / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		

Legende

Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:
 ■ gering
 ■ mittel
 ■ hoch

Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):
 ++ starke Änderung
 + Änderung
 ~ ungewiss

7.3 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 ausgewählte Klimawirkungen untersucht (siehe Tabelle 4): Die Klimawirkungen auf „Agrophänologische Phasen und Wachstumsperiode“, auf den „Ertrag“, auf „Trocken- und Frostschäden“, auf „Schädlinge und Pflanzengesundheit“ sowie infolge von „Schäden durch Extreme“. Die Operationalisierung erfolgte durch Proxyindikatoren und Experteninterviews.

Die größte Bedeutung wurde der Verschiebung der agrophänologischen Phasen beigemessen. Hier überwiegen die positiven Effekte einer längeren Wachstumsperiode die negativen Effekte wie die Gefahr von Spätfrösten (mittlere bis hohe Gewissheit). Die Erträge können in Regionen mit geringen Niederschlägen und nährstoffarmen Böden leicht zurückgehen, in heute noch kühlen Regionen und bei guter Wasserversorgung aber auch leicht zunehmen (geringe Gewissheit). In Zukunft kann allerdings die Gefahr von Trocken- und Hitzeschäden vor allem in Süd- und Ostdeutschland ansteigen (mittlere bis hohe Gewissheit). Auch können sich, durch milde Winter begünstigt, Schadorganismen

stärker ausbreiten und eine Verstärkung des Pflanzenschutzes erforderlich machen (mittlere bis hohe Gewissheit). Eine weitere Bedrohung geht von Starkregen und Hochwasser aus (geringe Gewissheit). Für Hagel und Starkwind liegen keine belastbaren Projektionen vor (geringe Gewissheit).

Der Agrarsektor in Deutschland ist insgesamt in der Lage, die künftigen klimabedingten Herausforderungen zu bewältigen. Da Managementmaßnahmen vorhanden und die Bewirtschaftungszeiträume in der Landwirtschaft meist kurz sind, kann sie voraussichtlich gut und auch kurzfristig auf veränderte Bedingungen reagieren. Für einige Regionen Deutschlands ergeben sich aus den mittelfristig moderaten Veränderungen des Klimas auch Chancen auf positive Effekte für die Pflanzenproduktion. In Kombination mit einem insgesamt hohen Potenzial zur Anpassung an klimatische Veränderungen und deren Folgen ist bei der vorliegenden mittleren Betroffenheit die Vulnerabilität der Landwirtschaft daher als gering anzusehen.

Tabelle 4: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Landwirtschaft“

Landwirtschaft				
Zentrale Klimasignale:		 Temperatur	 Trockenheit	
Zentrale Sensitivitäten:		 Niederschlag	 Extremereignisse	
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		hoch		
Fruchtarten (nicht bewässerte Sommerkulturen haben eine hohe Sensitivität), Bodenart (weniger fruchtbare, sandige Böden haben eine hohe Sensitivität)				
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung	Gewissheit/ Analysemethode	
Agrophänologische Phasen und Wachstumsperiode	Temperatur	Gegenwart	Mittel bis hoch / Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Ertrag	CO ₂ -Gehalt der Luft, Niederschlag, Temperatur	Gegenwart	Gering / Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Trocken- und Frostschäden	Frost, Hitze, Trockenheit	Gegenwart	Mittel bis hoch / Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Schädlinge und Pflanzengesundheit	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart	Mittel bis hoch / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Schäden durch Extreme	Hagel, Starkregen, Starkwind	Gegenwart	Gering / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ~ bis +		
Legende				
Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:		Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):		
■ gering		++ starke Änderung		
■ mittel		+ Änderung		
■ hoch		~ ungewiss		

7.4 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 Starkwind können Wälder dauerhaft schädigen. Hitzewellen und Trockenheit können das Auftreten von Hitze- und Trockenstress sowie von Waldbränden beeinflussen.





Für das Vorhaben wurden sieben Klimawirkungen ausgewählt (siehe Tabelle 5): das „Waldbrandrisiko“, „Schäden durch Windwurf“, „Schäden durch Schadorganismen“, „Hitze- und Trockenstress“, die Veränderung von „Nutzfunktionen“ und „Schutzfunktionen“ sowie die „Baumartenzusammensetzung“. Die Operationalisierung erfolgte durch Modelldaten und Experteninterviews.

Als besonders bedeutend bereits in naher Zukunft wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Nutzfunktionen sowie auf Schadorganismen bewertet. Die Nutzfunktionen könnten vor allem durch einen Rückgang der Wasserverfügbarkeit in Folge eines potenziellen Rückgangs der Sommerniederschläge und einer Zunahme der Verluste durch Evapotranspiration beeinträchtigt werden. Hiervon besonders betroffen sind Fichtenstandorte außerhalb der Mittelgebirge und der Alpen sowie heute schon eher trockene Buchenstandorte (mittlere Gewissheit).

Bei den Schadorganismen ist mit einer Verfrühung und Intensivierung des Borkenkäferbefalls von Fichten zu rechnen. Aber auch Schäden durch andere Schadorganismen (Wurzel- und Stammerkrankungen) könnten als Folge des Klimawandels zunehmen (geringe Gewissheit). Auch die weiteren Klimawirkungen sind überwiegend an einen Rückgang der Wasserversorgung gekoppelt. Regional wären 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 Handlungsfeld „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.

Tabelle 5: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“

Wald- und Forstwirtschaft				
Zentrale Klimasignale:		 Temperatur	 CO ₂ -Konzentration	
Zentrale Sensitivitäten:		 Niederschlag	 Extremereignisse	
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		Mittel Baumartenzusammensetzung, Alter der Bäume; Bestandsdichte, Baumhöhe; Bodenart und Unterwuchs; Eventuelle Vorschäden; Anteil der forstwirtschaftlichen Fläche pro Landkreis		
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit/ Analysemethode
Baumartenzusammensetzung	Hitze, Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart		Gering / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Nutzfunktionen	CO ₂ -Gehalt der Luft, Niederschlag, Temperatur	Gegenwart		Mittel / Wirkmodell
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Schutzfunktionen	Niederschlag, Starkwind, Temperatur	Gegenwart		Gering / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		
Schäden durch Schadorganismen	Hitze, Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart		Gering / Wirkmodell und Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Hitze- und Trockenstress	Hitze, Niederschlag, Trockenheit	Gegenwart		Mittel / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Waldbrandrisiko	Feuchtigkeit, Hitze, Niederschlag, Temperatur, Trockenheit, Wind	Gegenwart		Mittel / Wirkmodell
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		
Schäden durch Windwurf	Starkwind	Gegenwart		Gering / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~		
Legende				
Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:		Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):		
<ul style="list-style-type: none"> ■ gering ■ mittel ■ hoch 		<ul style="list-style-type: none"> ++ starke Änderung + Änderung ~ ungewiss 		

7.5 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 Wetterereig-







nisse“, „Veränderung der Niederschläge“ sowie die „CO₂-Veränderung“ Einfluss auf die Fischerei. Auch die Gewässerqualität wird sich in Zukunft verändern.

Von insgesamt sechs identifizierten Klimawirkungen wurden vier näher betrachtet (siehe Tabelle 6): „Gebietsfremde Arten, Artenspektrum“, „Wachstum, Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen“, „Aquakulturen (Schäden inklusive)“ sowie „Fangbedingungen“. Die Operationalisierung erfolgte durch Experteninterviews.

Bereits in naher Zukunft könnte die Fischerei 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 Meeres 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 könnten die Bestände heimischer Fischarten in ferner Zukunft reduziert werden (geringe Gewissheit). Die Temperatur ist damit eine wesentliche klimatische Einflussgröße auf potenzielle Schäden an Aquakulturen. Steigende Wassertemperaturen könnten sich insbesondere in Gewässern, die durch Eutrophierung bereits vorbelastet sind, negativ auf Arten und Lebensräume auswirken (geringe bis mittlere Gewissheit). Klimatische Faktoren spielen bei den Fangbedingungen derzeit eine noch eher untergeordnete Rolle. Ihre 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.

Tabelle 6: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Fischerei“

Fischerei			
Zentrale Klimasignale:		 Temperatur	 Meeresspiegelanstieg
Zentrale Sensitivitäten:		 CO ₂ -Konzentration	 Niederschlag
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		 Fischarten, Fischbestände	 Seegang
		gering bis mittel	

Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung	Gewissheit/ Analysemethode	
Gebietsfremde Arten, Artenspektrum	CO ₂ -Gehalt der Luft, Meeresströmungen, Niederschlag, Temperatur	Gegenwart	Gering / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Wachstum, Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen	CO ₂ -Gehalt der Luft, Niederschlag, Temperatur	Gegenwart	Gering / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Aquakulturen (Schäden inklusive)	CO ₂ -Gehalt der Luft, Hitze, Meeresspiegelanstieg, Niederschlag, Seegang, Temperatur	Gegenwart	Gering bis mittel / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Fangbedingungen	Meeresspiegelanstieg, Meeresströmungen, Seegang, Temperatur	Gegenwart	Gering / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: + bis ++		

Legende

- Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:
- gering
 - mittel
 - hoch
- Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):
- ++ starke Änderung
 - + Änderung
 - ungewiss

7.6 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 Küstenregionen in Deutschland unterliegen sehr vielen, zum Teil sehr hohen Nutzungsansprüchen, denn sie sind Lebens-, Wirtschafts-, Energie-, Naturschutz- und Tourismusräume.




Von insgesamt neun identifizierten Klimawirkungen wurden drei näher betrachtet (siehe Tabelle 7), von denen „Sturmfluten“ über einen Proxyindikator abgeschätzt wurde und die Klimawirkungen „Belastung von Bauwerken und Infrastrukturen“ sowie „Schäden an Küsten (naturräumliche Veränderungen)“ über Experteninterviews.

In der nahen Zukunft könnten potenzielle Überflutungen durch Sturmfluten bei einem schwachen Wandel vorrangig die Ostseeküste sowie die nicht deichgeschützten Vorländer und die nordfriesischen Halligen an der Nordseeküste betreffen. 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 bis mittlere Gewissheit). Aufgrund von Küstenschutzmaßnahmen an der niedersächsischen Nordseeküste 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 Meeresspiegel hätte dies jedoch beim starken Wandel generell 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 geschützter 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 eine mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

Tabelle 7: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“

Küsten- und Meeresschutz				
Zentrale Klimasignale:				
		Meeresspiegelanstieg	Seegang	Sturmflut
Zentrale Sensitivitäten:		Art und Qualität von Küstenbauwerken, Entwicklung des Wattenmeeres und Sandbänke und Strände, Küstentypen		
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		Hoch		
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit/ Analysemethode
Belastung von Bauwerken und Infrastrukturen	Meeresspiegelanstieg, Sturmflut, Seegang	Gegenwart		Gering / Experteninter- views
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Schäden an Küsten (naturräumliche Veränderungen)	Meeresspiegelanstieg, Starkregen, Sturmflut, Seegang	Gegenwart		Gering / Experteninter- views
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Sturmfluten	Sturmflut	Gegenwart		Gering bis mittel/ Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: +		
Legende				
Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:		Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):		
■ gering		++ starke Änderung		
■ mittel		+ Änderung		
■ hoch		~ ungewiss		

7.7 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 die 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 die Abflussbildung und können beispielsweise zu regionaler Wasserknappheit führen, was wiederum negative Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung haben kann. Gleichzeitig beeinflussen sie die Wassergüte und können negative Auswirkungen auf Flora und Fauna haben. 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 könnten zunehmen, was unter anderem in urbanen Gebieten zu kleinräumigen Hochwassern und Sturzfluten mit hohen Schäden führen und Abwassersysteme stark belasten kann.

Insgesamt wurden acht Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft genauer analysiert (siehe Tabelle 8): „Durchfluss“, „Flusshochwasser und Sturzfluten“, „Wasserverfügbarkeit aus Grundwasser“, „Wasserverfügbarkeit aus Oberflächengewässern“, „Trinkwasserverfügbarkeit“, „Auswirkung auf Kanalnetz und Kläranlagen“, „Talsperrenbewirtschaftung“ sowie „Gewässerzustand“. Die Operationalisierung erfolgte durch Modelldaten, Proxyindikatoren und Experteninterviews.

In naher Zukunft sind erhebliche Veränderungen des Durchflusses (Zunahmen sowie Abnahmen) möglich (mittlere Gewissheit). Flusshochwasser stellen bereits heute vielerorts eine Gefahr dar, die je nach Klimaszenario ansteigen oder sinken kann. Generell sind die Auswirkungen räumlich sehr unterschiedlich (mittlere Gewissheit). Die jährliche Grundwasserneubildung würde lediglich bei der Annahme eines trockenen Szenarios regional abnehmen (mittlere 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 könnte (mittlere 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 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 des Handlungsfelds „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft“ ist als mittel bis hoch einzustufen. Grund dafür sind unter anderem hohe technische und administrative Kompetenzen und ein grundsätzlich hohes Wasserdargebot. Maßnahmen und Instrumente, wie Wasserbewirtschaftungspläne, stehen für zahlreiche klimawandelbedingte Auswirkungen zur Verfügung. Abschließend lässt sich für das Handlungsfeld „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft“ damit eine mittlere Vulnerabilität konstatieren.

Tabelle 8: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt“

Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt

Zentrale Klimasignale:

 Temperatur
  Niederschlag
  Trockenheit
  Flusshochwasser
  Starkregen

Zentrale Sensitivitäten: Landnutzung, Bevölkerungsdichte, Nutzungsarten

Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität: mittel bis hoch

Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung	Gewissheit/ Analysemethode	
Durchfluss	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart	Mittel/ Wirkmodell	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Flusshochwasser und Sturzfluten	Flusshochwasser, Sturzfluten (Starkregen)	Gegenwart	Mittel / Wirkmodell und Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: +		
Auswirkung auf Kanalnetz und Kläranlagen	Niederschlag, Starkregen	Gegenwart	Mitte / Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Wasserverfügbarkeit aus Grundwasser	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart	Mittel / Wirkmodell	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Wasserverfügbarkeit aus Oberflächengewässern	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart	Mittel / Wirkmodell	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Trinkwasserverfügbarkeit	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart	Mittel / Experteninterviews und Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Talsperrenbewirtschaftung	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart	Mittel / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ++		
Gewässerzustand	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit, Wind	Gegenwart	Gering / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		

Legende

Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:

- gering
- mittel
- hoch

Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):

- ++ starke Änderung
- + Änderung
- ~ ungewiss

7.8 Handlungsfeld Verkehr, Verkehrsinfrastruktur

Verkehr und Klimawandel sind 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 Kohlendioxid-Emissionen 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 identifizierten Klimawirkungen wurden fünf genauer analysiert (siehe Tabelle 9). Diese sind „Hitze- und Frostschäden an Straßen, Schieneninfrastrukturen, Startbahnen“, „Überschwemmungen und Unterspülungen von Straßen und Schieneninfrastrukturen“, „Vereisung von Binnenwasserstraßen“, „Vereisung von Flugzeugen“, sowie „Schiffbarkeit der Binnenwasserstraßen“. Zur Operationalisierung wurden Proxyindikatoren, Modelldaten und Experteninterviews herangezogen.




Frostschäden werden den Verkehr bereits in naher Zukunft weniger beeinträchtigen, während hitzebedingte Schäden, wenn auch regional unterschiedlich, zunehmen werden (mittlere Gewissheit). Von potenziellen Überschwemmungen durch Flusshochwasser 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 potenziellen Überflutungen durch Sturzfluten sind insbesondere München, Rosenheim, Stuttgart sowie Randbereiche von Mittelgebirgen wie Hagen oder das bergische Städtedreieck betroffen. In naher Zukunft würden sich sowohl bei den Flusshochwassern als auch bei den Sturzfluten die Schwerpunkte bei einem starker Wandel weiter ausdehnen (mittlere Gewissheit). In Teilen Süddeutschlands ist der Flugverkehr gegenwärtig durch eine höhere Gefahr der Vereisung von Flugzeugen gekennzeichnet als in Norddeutschland. In naher Zukunft werden sich die Auswirkungen der Frost- beziehungsweise Frostwechseltage jedoch verringern (mittlere Gewissheit).

Die im Rahmen von KLIWAS⁷ erarbeiteten Abflussprojektionen deuten darauf hin, dass die Schiffbarkeit von Binnenwasserstraßen durch Niedrig- und Hochwasser in naher Zukunft nur bedingt eingeschränkt sein 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.

⁷ KLIWAS ist die Abkürzung von „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt und Entwicklung von Anpassungsoptionen“, einem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Die Laufzeit des Programms war 2009 bis 2013 (www.kliwas.de).

Tabelle 9: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“

Verkehr, Verkehrsinfrastruktur				
Zentrale Klimasignale:  Temperatur  Niederschlag  Extremereignisse		Zentrale Sensitivitäten: Lage und Dichte von Verkehrsinfrastrukturfläche, Gestaltung von Verkehrsinfrastrukturen		
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität: mittel bis hoch				
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit/Analysemethode
Vereisung von Binnenwasserstraßen	Frost	Gegenwart		Mittel / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: +		
Vereisung von Flugzeugen	Frost	Gegenwart		Mittel / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: +		
Hitze- und Frostschäden an Straßen, Schieneninfrastrukturen, Startbahnen	Frost, Hitze	Gegenwart		Mittel / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Schiffbarkeit der Binnenwasserstraßen	Niederschlag, Trockenheit	Gegenwart		Gering bis mittel / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Überschwemmung und Unterspülung von Straßen und Schieneninfrastrukturen	Flusshochwasser, Sturmfluten, Sturzfluten	Gegenwart		Mittel / Wirkmodell und Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: +		

Legende

Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:	Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):
■ gering	++ starke Änderung
■ mittel	+ Änderung
■ hoch	~ ungewiss

7.9 Handlungsfeld Bauwesen

Der Klimawandel wirkt sich 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 Meeresspiegels und andere extreme Wetterereignisse haben wesentlichen Einfluss. So können Gebäude und Infrastrukturen erheblichen Schaden nehmen und sich Veränderungen des Innenraum- und Stadtklimas einstellen.





Von insgesamt zwölf Klimawirkungen in den Wirkungsketten wurden fünf näher untersucht (siehe Tabelle 10). Dies sind „Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Sturmfluten“, „Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Flusshochwasser und Sturzfluten“, „Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Starkwind“, „Stadtklima und Luftqualität“ sowie „Innenraumklima und 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). Für die nahe Zukunft bei starkem Wandel könnte es zu einer Verschärfung der sturmflutbedingten Überflutungen und zur räumlichen Ausdehnung insbesondere an der Nordseeküste kommen. Potenziell hohe Auswirkungen im Bereich Flusshochwasser gibt es – insbesondere aufgrund des hohen Grades der Sensitivität – heute bereits in Städten wie Hamburg, Stuttgart, München und dem Rhein-Main-Gebiet sowie in den Landkreisen an Elbe, Weser, Ems, Donau und dem Niederrhein. Bei einem starken Wandel könnte es in naher Zukunft zu einer weiteren Verschärfung der potenziellen Überschwemmungsgefahr für Siedlungen und Bevölkerung kommen. Auswirkungen im Bereich Sturzfluten bestehen gegenwärtig beispielsweise am Alpenrand oder im bergischen Städtedreieck. Das Potenzial von Sturzfluten entwickelt sich je nach betrachtetem Szenario unterschiedlich. Bei einem starken Wandel könnte es 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 könnte es in Küstennähe 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 und die Luftqualität sind heute vor allem Agglomerationsräume, beispielsweise entlang der Rheinschiene, betroffen. Bei einem starken Wandel könnten sich die Auswirkungen deutlich verschärfen und neue stark betroffene Räume insbesondere im südlichen Ostdeutschland hinzukommen (hohe Gewissheit). Der Aufwand für Kühlung würde unter dem Szenario des starken Wandels ebenfalls deutlich zunehmen (geringe bis mittlere 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 kurz- bis langfristigen Reaktionszeit und mittlerer Anpassungskapazität gegenüber den Auswirkungen.

Tabelle 10: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Bauwesen“

Bauwesen				
Zentrale Klimasignale:				
Zentrale Sensitivitäten:		Meeresspiegelanstieg	Temperatur	
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		Lage und Zustand von Gebäuden und Infrastrukturen, Bevölkerungsdichte und Anteil älterer Menschen		
		mittel		
				
		Hitze	Extremereignisse	
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit/ Analysemethode
Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Sturmfluten	Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten	Gegenwart		Gering / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Flusshochwasser und Sturzfluten	Flusshochwasser, Sturzfluten	Gegenwart		Mittel bis hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: +		
Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Starkwind	Starkwind	Gegenwart		Gering / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~		
Stadtklima und Luftqualität	Hitze	Gegenwart		Hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Innenraumklima und Kühlung	Hitze	Gegenwart		Gering bis Mittel / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Legende				
Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:		Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):		
■ gering		++ starke Änderung		
■ mittel		+ Änderung		
■ hoch		~ ungewiss		

7.10 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 nennen 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 (siehe Tabelle 11): „Gefahr einer möglichen Freisetzung von gefährlichen Stoffen“, „Schäden an gewerblicher und industrieller Infrastruktur durch klimatisch

bedingte Extremereignisse“, „Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs“, „Beeinträchtigung von Produktionsprozessen und Logistik“, „Beeinträchtigung der Produktion aufgrund von Wasserknappheit“, „Energieverbrauch für Kühlung“, „Verfügbarkeit von Energie“, „Klimawirkungen auf Absatzmärkte“ sowie „Planungsprozesse für Betriebsabläufe“. Operationalisiert wurden sie über Proxyindikatoren oder Experteninterviews.

Bereits gegenwärtig ergibt sich für die Klimawirkungen „Gefahr einer möglichen Freisetzung von gefährlichen Stoffen“ (geringe Gewissheit) und „Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs“ (mittlere Gewissheit) eine mittlere Bedeutung. Die Bedeutung der weiteren Klimawirkungen ist gegenwärtig gering und wird sich mit Ausnahme der Klimawirkung „Schäden an gewerblicher und industrieller Infrastruktur durch klimatisch bedingte Extremereignisse“ (mittlere 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 kann der Energieverbrauch für Kühlung (mittlere Gewissheit), der zusätzliche Aufwand für Planungsprozesse für Betriebsabläufe (mittlere bis hohe Gewissheit) sowie die Beeinträchtigung von Produktionsprozessen und Logistik (mittlere Gewissheit) an Bedeutung gewinnen.

Den befragten Experten zufolge existieren ausreichend Möglichkeiten zur Anpassung. Genannt wurden 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.

Tabelle 11: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“

Industrie und Gewerbe				
Zentrale Klimasignale:		 Temperatur	 Flusshochwasser	
Zentrale Sensitivitäten:		Lage von Betriebsanlagen und Infrastrukturen, Wasser- und Energiebedarf von Produktionsprozessen, Just-in-Time-Produktion		
Handlungsfeld Anpassungskapazität:		Hoch		
		 Extremereignisse	 Globaler Klimawandel	
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit/ Analysemethode
Gefahr einer möglichen Freisetzung von gefährlichen Stoffen	Flusshochwasser	Gegenwart		Gering / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: +		
Schäden an gewerblicher und industrieller Infrastruktur durch klimatisch bedingte Extremereignisse	Flusshochwasser, Schneefall, Starkwind, Sturmfluten, Sturzfluten	Gegenwart		Mittel / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis +		
Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs	Flusshochwasser, Starkwind, Sturmfluten, Sturzfluten	Gegenwart		Mittel / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis +		
Beeinträchtigung von Produktionsprozessen und Logistik	Feuchtigkeit, Flusshochwasser, Niederschlag, Schneefall, Starkwind, Sturmfluten, Sturzfluten, Temperatur	Gegenwart		Mittel / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		
Beeinträchtigung der Produktion aufgrund von Wasserknappheit	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart		Mittel / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Energieverbrauch für Kühlung	Hitze, Temperatur	Gegenwart		Mittel / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Verfügbarkeit von Energie	Globaler Klimawandel	Gegenwart		Gering bis mittel/ Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Klimawirkungen auf Absatzmärkte	Globaler Klimawandel	Gegenwart		Gering bis mittel/ Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Planungsprozesse für Betriebsabläufe	Globaler Klimawandel	Gegenwart		Mittel bis hoch / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		

Legende

Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:

- gering
- mittel
- hoch

Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):

- ++ starke Änderung
- + Änderung
- ~ ungewiss

7.11 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 nennen Klimawirkungen in den folgenden Indikationsfeldern: „Energiebedarf“, „Energieumwandlung“, „Energieinfrastruktur“, „Verfügbarkeit von Primärenergieträgern“ sowie „Energieversorgung“. Diese Klimawirkungen umfassen „Bedarf an Heizenergie“, „Bedarf an Kühlenergie“, „Wasserkraft“, „Kühlwasser für thermische Kraftwerke“, „Windenergienutzung an Land und auf See“, „Schäden an Kraftwerken und Erzeugungsanlagen“, „Schäden an Leitungsnetzen“ sowie „Zuverlässigkeit der Energieversorgung“. Sie wurden mithilfe von Modelldaten, Proxyindikatoren und Experteninterviews operationalisiert (siehe Tabelle 12).

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 und im Falle eines starken Wandels in naher Zukunft eine mittlere Bedeutung zugeschrieben. Dank erfolgter Anpassung der Kühltechnologie sowie der Umstrukturierung des Handlungsfelds 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 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 könnte 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 eher Versorgungsengpässe infolge einer Zunahme des Kühlenergiebedarfs bei gleichzeitiger Beeinträchtigung der Stromproduktion mithilfe von Wasser- und thermischen Kraftwerken auftreten könnten.

Die entscheidende Auswirkung des Klimawandels auf die Energiewirtschaft findet sich jedoch im regulatorischen Bereich. Viele Experten schätzen die notwendige Umstrukturierung der Energiewirtschaft 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.

Tabelle 12: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Energiewirtschaft“

Energiewirtschaft				
Zentrale Klimasignale:		 Temperatur	 Flusshochwasser	
Zentrale Sensitivitäten:		 Wind	 Extremereignisse	
Handlungsfeld Anpassungskapazität:		hoch		
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit/ Analysemethode
Bedarf an Heizenergie	Temperatur	Gegenwart		Mittel / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Bedarf an Kühlenergie	Hitze, Temperatur	Gegenwart		Gering / Experteninter- views
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Wasserkraft	Niederschlag, Tempe- ratur, Trockenheit	Gegenwart		Mittel bis hoch / Wirkmodell
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Kühlwasser für thermische Kraftwer- ke	Hitze, Niederschlag, Temperatur, Trocken- heit	Gegenwart		Mittel / Wirkmodell
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Windenergienutzung an Land und auf See	Starkwind, Wind	Gegenwart		Gering / Wirkmodell, Ex- perteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~		
Schäden an Kraftwerken und Er- zeugungsanlagen	Blitz, Flusshochwas- ser, Schneefall, Stark- wind, Sturmfluten	Gegenwart		Gering / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis +		
Schäden an Leitungsnetzen	Blitz, Flusshochwas- ser, Schneefall, Stark- wind, Sturmfluten	Gegenwart		Mittel / Experteninter- views
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis +		
Zuverlässigkeit der Energieversor- gung	Blitz, Flusshochwas- ser, Hitze, Nieder- schlag, Schneefall, Starkwind, Sturmflu- ten, Temperatur	Gegenwart		Gering / Experteninter- views
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		

Legende

Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:

- gering
- mittel
- hoch

Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):

- ++ starke Änderung
- + Änderung
- ~ ungewiss

7.12 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 „Tourismuswirtschaft“ entwickelten Wirkungsketten wurden die folgenden drei Klimawirkungen analysiert (siehe Tabelle 13): „Betriebsunterbrechungen“, „Saisonale und regionale Nachfrageverschiebung“ und „Klimabedingte Anforderungen an touristische Infrastrukturen“. Die Operationalisierung erfolgte über Proxyindikatoren, Modelldaten und Experteninterviews.

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 klimabedingte 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. 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 Experten stufen die Anpassungskapazität der Tourismuswirtschaft als mittel bis hoch ein. Allerdings betonten 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 Vulnerabilität für das Handlungsfeld.

Tabelle 13: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“

Tourismuswirtschaft				
Zentrale Klimasignale:				
Zentrale Sensitivitäten:		Temperatur	Schnee	
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		Anzahl der Gästeübernachtungen, räumliche Lage touristischer Anbieter		
		mittel bis hoch		
				
		Niederschlag	Extremereignisse	
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung	Gewissheit/ Analysemethode	
Betriebsunterbrechungen	Flusshochwasser, Sturmfluten, Sturzfluten, Temperatur	Gegenwart	Gering / Indikatoren und Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Saisonale und regionale Nachfrageverschiebung	Feuchtigkeit, Hitze, Niederschlag, Schneefall, Strahlungsänderung, Temperatur	Gegenwart	Gering / Wirkmodell und Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		
Klimabedingte Anforderungen an touristische Infrastruktur	Feuchtigkeit, Hitze, Niederschlag, Schneefall, Strahlungsänderung, Temperatur	Gegenwart	Mittel / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel		Nahe Zukunft: Starker Wandel
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		
Legende				
Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:		Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):		
■ gering		++ starke Änderung		
■ mittel		+ Änderung		
■ hoch		~ ungewiss		

7.13 Handlungsfeld Finanzwirtschaft

Die Finanzwirtschaft, insbesondere die Versicherungswirtschaft aber auch die Bankenwirtschaft wird auf vielfältige Weise vom Klimawandel beeinflusst. Extremwetterereignisse wie Hagel, Hochwasser oder Starkwind, aber auch graduelle Änderungen von Temperatur, Niederschlag oder Meeresspiegel wirken sich zum einen direkt auf das bestehende Filialnetz der Versicherungen und Banken aus. Zum anderen wirken sie sich auf Versicherungsschäden, die Anforderungen an die Risikokalkulation und Versicherungsprämien, Investitionsschwerpunkte sowie Zinsen und Renditen aus. Dazu zählt auch die Rolle des Staates als ‚Versicherer letzter Instanz‘.





Für das Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“ wurden diese Klimawirkungen zusammengefasst betrachtet als „Auswirkungen des Klimawandels auf die Versicherungswirtschaft“ und „Auswirkungen des Klimawandels auf die Bankenwirtschaft“. Diese wurden durch Experteninterviews operationalisiert (siehe Tabelle 14).

Deutschlandweit haben klimatisch bedingte Extremereignisse bereits heute eine eher große Auswirkung auf den Versicherungssektor, während sie für die Bankenwirtschaft eine eher untergeordnete Rolle spielen und damit von einer geringen Auswirkung des Klimawandels ausgegangen wird. Für die Versicherungswirtschaft sind besonders Starkwind-, inklusive Hagel-, aber auch zunehmend Hochwasserereignisse von Bedeutung (mittlere bis hohe Gewissheit). Diese stehen gleichzeitig einer geringen Sensitivität gegenüber, da einerseits die öffentliche und private Vorsorge vor Elementarschäden und das Risikomanagement zunehmen und die Versicherungswirtschaft andererseits auf

einen gut funktionierenden Rückversicherungsmarkt zugreifen kann. Damit ergibt sich gegenwärtig eine geringe Bedeutung dieser 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. 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 (mittlere Gewissheit).

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.

Tabelle 14: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“

Finanzwirtschaft				
Zentrale Klimasignale:		 Temperatur  Meeresspiegelanstieg  Niederschlag  Extremereignisse		
Zentrale Sensitivitäten:		Versicherte Werte, Investitionen sowie gewährte Kredite in exponierten Gebieten		
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		hoch		
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung	Gewissheit/Analysemethode	
Auswirkungen des Klimawandels auf die Versicherungswirtschaft	Blitz, Flusshochwasser, Frost, Hagel, Hitze, Meeresspiegelanstieg, Niederschlag, Schneefall, Starkregen, Starkwind, Sturmfluten, Sturzfluten, Temperatur	Gegenwartig		Mittel bis hoch / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		
Auswirkungen des Klimawandels auf die Bankenwirtschaft	Blitz, Flusshochwasser, Frost, Hagel, Hitze, Meeresspiegelanstieg, Niederschlag, Schneefall, Starkregen, Starkwind, Sturmfluten, Sturzfluten, Temperatur	Gegenwartig		Mittel / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		
Legende				
Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:		Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):		
■ gering		++ starke Änderung		
■ mittel		+ Änderung		
■ hoch		~ ungewiss		

7.14 Handlungsfeld Menschliche Gesundheit

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





Auf den Menschen hat vor allem die Veränderung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, die Häufigkeit extremer Wetterereignisse und austauscharmer Wetterlagen Einfluss.

Insgesamt wurden vier von 14 identifizierten Klimawirkungen auf die menschliche Gesundheit genauer untersucht (siehe Tabelle 15). 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 Experteninterviews geführt.

In Bezug auf die 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 Gewissheit). Hohe Ozonkonzentrationen finden sich vor allem im Umland von Ballungsräumen. Der Trend des Rückgangs der Ozonvorläuferstoffe könnte der Ozonbelastung zukünftig weiter entgegenwirken. Bei vermehrter Hitze in Kombination mit starker Sonneneinstrahlung sind jedoch trotz verbesserter Luftqualität höhere Ozonkonzentrationen (aufgrund photochemischer Prozesse) zu erwarten (mittlere Gewissheit). Die Übertragung von Krankheitserregern hingegen lässt sich auf Grund komplexer Zusammenhänge und der Tatsache, dass sich die Forschung hier erst am Anfang befindet, kaum abschätzen. Es besteht die Gefahr, dass die Anzahl der Zecken durch klimabedingte Veränderung der Vegetation zunimmt (mittlere Gewissheit). Eine Überlastung der Rettungsdienste, der Krankenhäuser und Ärzte wird im Zuge des Klimawandels nicht erwartet. Erhöhte Anforderungen könnten im Zuge von Hitzewellen an die Gesundheitsinfrastruktur gestellt werden (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 vom demografisch bedingt zunehmenden Pflegebedarf und Fachkräftemangel sowie der Ausgestaltung der Basisversorgung insbesondere im ländlichen Raum beeinflusst werden. Bezüglich der Bekämpfung von Krankheitsüberträgern besteht eine mittlere Anpassungskapazität; sie hängt wesentlich davon ab, ob gemeinsame und einheitliche Strategien verfolgt werden und wie sehr in die Forschung investiert wird. Die Anpassung von stationären Einrichtungen zur Prävention hitzebedingter Folgen nimmt zu. Abschließend lässt sich eine mittlere Vulnerabilität der menschlichen Gesundheit in naher Zukunft gegenüber den klimatischen Veränderungen konstatieren.

Tabelle 15: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“

Menschliche Gesundheit					
Zentrale Klimasignale:		 Temperatur	 Hitze	 Ozonkonzentration	 Extremereignisse
Zentrale Sensitivitäten:		Disposition, Altersstruktur und Verhalten der Bevölkerung, Ausgestaltung der baulichen und natürlichen Umwelt, Landnutzung, Emission von gesundheitsschädlichen Stoffen			
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:		mittel bis hoch			
Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit/ Analysemethode	
Hitzebelastung	Hitze	Gegenwart		Mittel / Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Atembeschwerden durch bodennahe Ozon	Häufigkeit austauscharmer Wetterlagen, Hitze, Ozonkonzentration	Gegenwart		Mittel / Indikatoren	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~ bis ++			
Überträger von Krankheitserregern	Feuchtigkeit, Temperatur	Gegenwart		Mittel / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: + bis ++			
Belastung der Rettungsdienste, Krankhäuser und Ärzte	Feuchtigkeit, Flusshochwasser, Frost, Hagel, Häufigkeit austauscharmer Wetterlagen, Hitze, Niederschlag, Ozonkonzentration, Starkwind, Strahlungswetterlagen, Sturmfluten, Sturzfluten, Temperatur	Gegenwart		Gering / Experteninterviews	
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~ bis ++			

Legende

Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland:
 ■ gering
 ■ mittel
 ■ hoch

Entwicklung der Klimasignale bis zum Ende des Jahrhunderts (ferne Zukunft):
 ++ starke Änderung
 + Änderung
 ~ ungewiss

7.15 Querschnittsthemen „Bevölkerungs- und Katastrophenschutz“ und „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“

Es 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 aber insgesamt ein hohes Niveau aufweist, ist damit zu rechnen, dass er für die Herausforderungen der Klimaanpassung vorbereitet ist.

Das Querschnittsthema „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“ wurde hinsichtlich seiner Möglichkeiten, die Anpassungskapazität anderer Handlungsfelder zu unterstützen, untersucht, da die Raumplanung durch textliche und zeichnerische Festlegungen in den Regionalplänen großen

Einfluss auf die Anpassungskapazität der Gemeinden in allen Handlungsfeldern der Deutschen Anpassungsstrategie hat. Die Analyse der Regionalpläne hinsichtlich der Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten ermöglicht eine Bewertung der formalen Anpassungsmöglichkeiten 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, könnten die Anpassungsmöglichkeiten der Regionalplanung besser genutzt werden. Besonders beim Thema „Schutz der Berggebiete“ besteht Nachholbedarf in den Mittelgebirgen. 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 erhöhter fachlicher und finanzieller Unterstützungsbedarf.

Die Ergebnisse des Modellvorhabens „KlimaMORO“ und zahlreicher weiterer Vorhaben zeigen, dass die räumliche Planung auf regionaler Ebene mit ihren formellen und informellen Instrumenten einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung 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.

8 Integrierte Betrachtung

8.1 Vergleich der zentralen Aussagen der Handlungsfelder

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 Bedeutung⁸ 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 zum Beispiel einige Auswirkungen extremer Wetterereignisse, wie Flusshochwasser, 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 noch zu.

Aber auch die Bedeutung vieler anderer Klimawirkungen steigt in naher Zukunft. Während 52 der 72 betrachteten Klimawirkungen für die Gegenwart als gering bedeutend gewertet werden, wird in naher Zukunft nur noch für 48 Klimawirkungen im Fall eines schwachen Wandels und für elf Klimawirkungen im Fall eines starken Wandels eine niedrige Bedeutung gesehen. Die Zahl der als mittel bedeutend eingeschätzten Klimawirkungen steigt von 19 für die Gegenwart auf 24 im Fall eines schwachen Wandels oder 42 im Fall eines starken Wandels. Hoch bedeutende Klimawirkungen werden mit einer Ausnahme erst in naher Zukunft und nur für den Fall eines starken Wandels gesehen. Dann

⁸ Die Bedeutung der Klimawirkungen für Deutschland wurde vom Netzwerk Vulnerabilität bewertet.

aber wird 19 der 72 Klimawirkungen eine hohe Bedeutung beigemessen. Diese für einen starken Wandel in naher Zukunft als hoch bedeutend bewerteten Klimawirkungen können zudem im Durchschnitt mit einer höheren Gewissheit abgebildet werden als die anderen Klimawirkungen, auch wenn der Grad ihrer Gewissheit im Schnitt in einem mittleren Bereich ist.

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. Es folgt der Küsten- und Meeresschutz mit drei hoch bedeutenden Klimawirkungen im Fall eines starken Wandels. Jeweils zwei hoch bedeutende Klimawirkungen werden in den Handlungsfeldern „Wald- und Forstwirtschaft“, „Fischerei“ und „Menschliche Gesundheit“ gesehen.

Betrachtet man die Anpassungskapazität und die Dauer, die für eine Anpassung an den Klimawandel benötigt wird, für die genannten Handlungsfelder, 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 Maßnahmen jetzt 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.

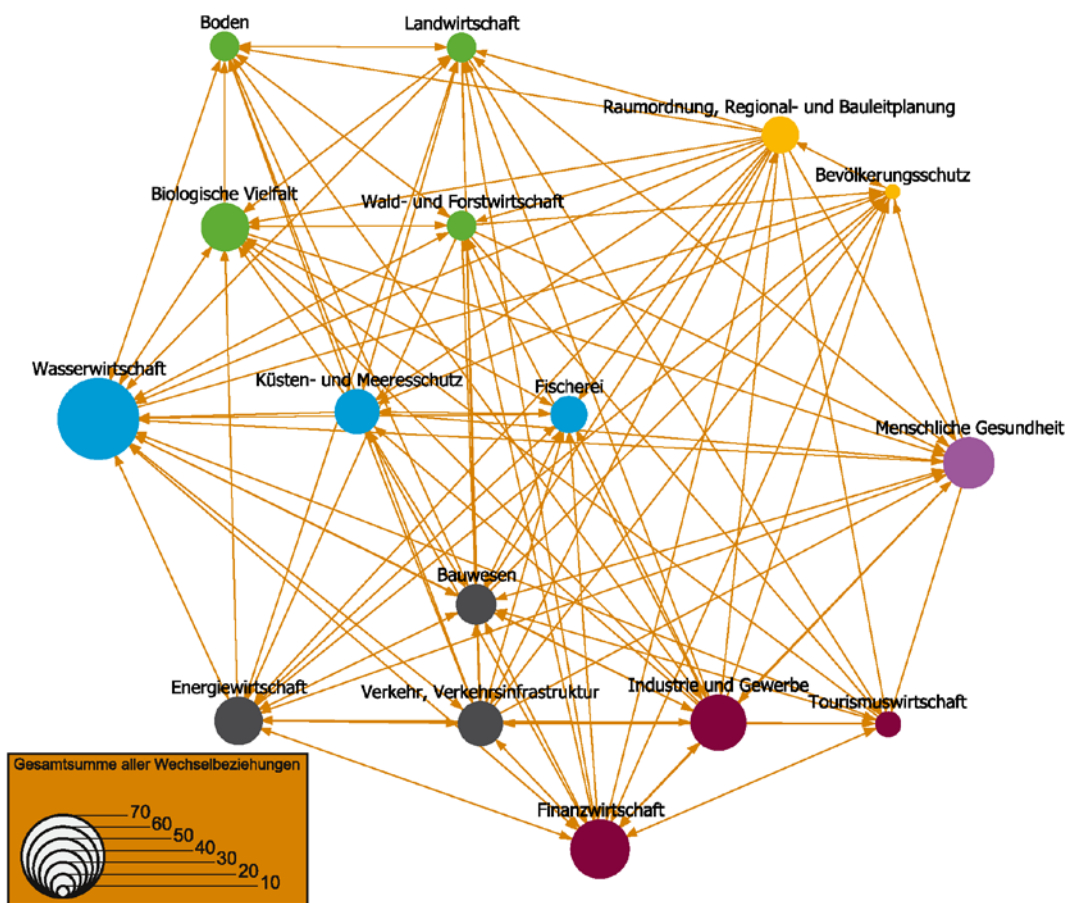
Eine im Vergleich mittlere bis hohe Vulnerabilität weisen neben dem Handlungsfeld „Bauwesen“ auch die „Biologische Vielfalt“ und die „Fischerei“ auf, weil sie eher niedrige Anpassungskapazitäten haben.

Abschließend wurde betrachtet, auf welche Systeme die im Netzwerk Vulnerabilität analysierten Klimawirkungen wirken. Dabei wurde zwischen Umwelt, Wirtschaft, Infrastrukturen und Gesundheit unterschieden. Die meisten Klimawirkungen konnten der Wirtschaft sowie der Umwelt zugeordnet werden. Grund dafür ist die im Netzwerk gewählte Betrachtung entlang der Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie, von denen viele einzelne Wirtschaftssektoren und natürliche Systeme, wie Boden, im Fokus haben. Die Querauswertung ergab, dass den Klimawirkungen auf Umwelt, Wirtschaft sowie Infrastrukturen für die Gegenwart im Durchschnitt noch eine geringe Bedeutung beigemessen wird. Die Klimawirkungen auf die Gesundheit werden hingegen schon heute im Schnitt als mittel bedeutend eingeschätzt. Im Falle eines schwachen Wandels bleiben sie in naher Zukunft von mittlerer Bedeutung, während die Mehrzahl von ihnen im Falle eines starken Wandels von hoher Bedeutung sein würde. Die Klimawirkungen auf die Gesundheit sind im Durchschnitt außerdem mit mittlerer Gewissheit bewertet. Sie haben damit nicht nur die höchste Bedeutung, sondern auch die im Vergleich zu Klimawirkungen auf andere Systeme höchste Gewissheit. **Nach Einschätzung des Netzwerks Vulnerabilität sind die Systeme „Gesundheit“, „Infrastrukturen“ und „Umwelt“ in naher Zukunft stärker vom Klimawandel betroffen als das System „Wirtschaft“.**

8.2 Verknüpfung der Handlungsfelder

Insgesamt wurden 636 Wirkungsbeziehungen zwischen einzelnen Handlungsfeldern für die Auswertung berücksichtigt. Dabei wurde auch die Richtung der Wechselwirkung in Betracht gezogen: nur Wirkung auf ein anderes Handlungsfeld (ausgehende Wirkung), nur Wirkung von einem anderen Handlungsfeld (eingehende Wirkung) oder gegenseitige Wechselwirkung (Überlappung von Handlungsfeldern mit gemeinsamen Auswirkungen). Die Ergebnisse werden in Form von Netzwerkdiagrammen visualisiert (siehe Abbildung 12).

Abbildung 12: Wirkungsbeziehungen zwischen den Handlungsfeldern



Hinweis: Die Größe der Kreise ist ein Maß für die Anzahl der Verbindungen eines Handlungsfeldes mit den anderen Handlungsfeldern (es sind mehr als eine Verbindung zwischen zwei Handlungsfeldern möglich, wenn mehrere Klimawirkungen Verknüpfungen bilden). Die Farbe der Kreise spiegelt die Zuordnung der Handlungsfelder zu den Clustern „Wasser“ (blau), „Land“ (grün), „Infrastrukturen“ (schwarz), „Wirtschaft“ (rot), „Gesundheit“ (lila) und „Raumplanung und Bevölkerungsschutz“ (gelb) wieder.

Das Cluster „Wasser“ umfasst die drei Handlungsfelder, die die Bewirtschaftung des Wassers und der aquatischen Ökosysteme zum Inhalt haben: „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft“, „Küsten- und Meeresschutz“ sowie „Fischerei“. „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft“ ist bei weitem das Handlungsfeld mit den meisten Wirkungsbeziehungen (67). Dabei überwiegen die von diesem Handlungsfeld ausgehenden Wirkungen sowie die direkten Wechselwirkungen. Wasserbezogene Klimawirkungen spielen auch eine große Rolle für die Energiewirtschaft (Wasserkraft, Kühlwasser), für Industrie und Gewerbe, für die Landwirtschaft, sowie (über die Wasserqualität und Schäden durch Hochwasser) für die Gesundheit.

Im Cluster „Land“ hat vor allem die biologische Vielfalt eine hohe Anzahl an Wirkungsbeziehungen (43). Wirkungsbeziehungen bestehen mit den Handlungsfeldern „Boden“, „Landwirtschaft“, „Wald- und Forstwirtschaft“, „Fischerei“ sowie „Küsten- und Meeresschutz“, aber auch mit dem Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“. Auch der Boden hat eine hohe Anzahl von Wirkungsbeziehungen (30). Die Handlungsfelder des primären Sektors (Land- und Forstwirtschaft) hängen unmittelbar von Boden und Wasser ab und stehen in enger Wechselbeziehung zur biologischen Vielfalt.

Weiterhin lässt sich ein Cluster „Infrastrukturen“ identifizieren, das die Handlungsfelder „Bauwesen“, „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ und „Energiewirtschaft“ zusammenfasst. Hier spielen vor allem Extremereignisse sowie die Wirkung des Wassers auf die Energieerzeugung eine Rolle.

Als viertes Cluster „Wirtschaft“ erscheinen die Handlungsfelder „Tourismwirtschaft“, „Industrie und Gewerbe“ und „Finanzwirtschaft“. Hier ist insbesondere die Finanzwirtschaft mit nahezu allen Handlungsfeldern vernetzt. Das Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ hängt vornehmlich von Klimawirkungen auf Energieversorgung und Verkehr ab. Im Tourismus überwiegen die direkten Wirkungen (zum Beispiel Rückgang der Schneebedeckung, Verschiebung der Hauptreisezeiten).

„Menschliche Gesundheit“ ist das Handlungsfeld mit den meisten eingehenden Wirkungen. Die meisten Klimawirkungen auf die Gesundheit sind dritter oder höherer Ordnung und kommen durch die Wirkung von Extremereignissen, einen Rückgang der Gewässerqualität, invasive Arten sowie eine veränderte Phänologie (Pollenflug) zustande.

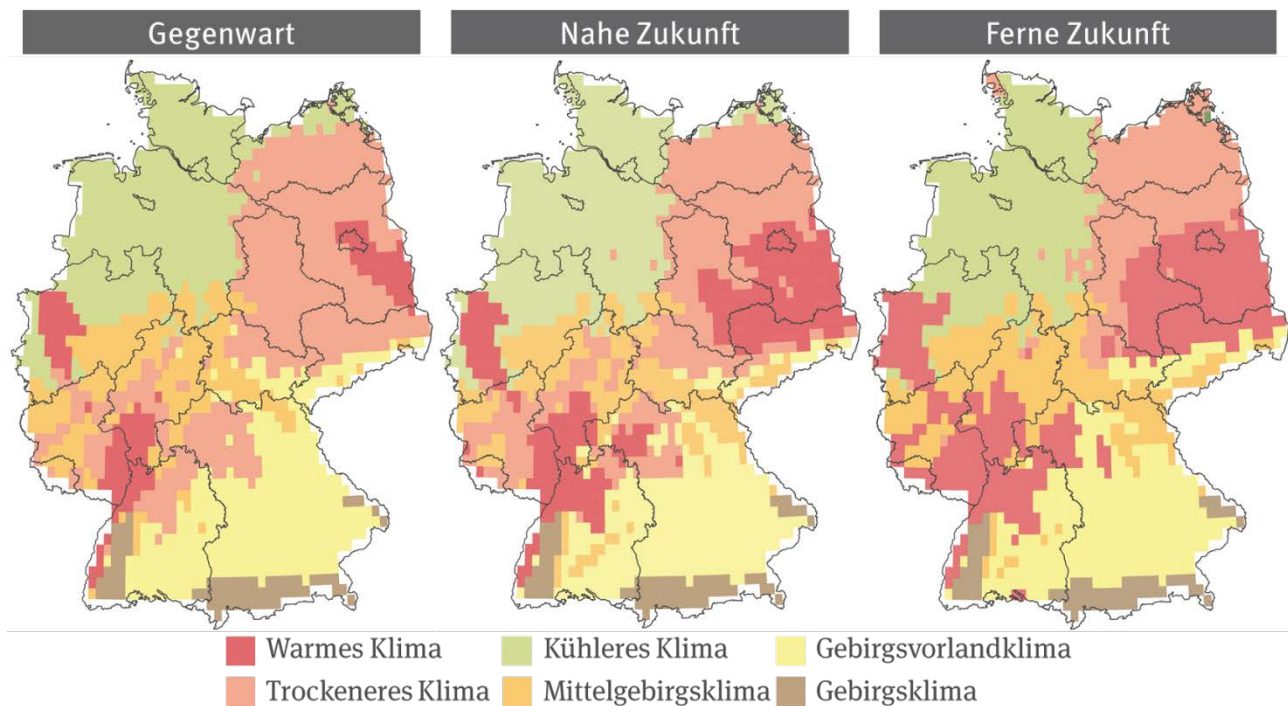
Als sechstes und letztes Cluster erscheinen die Querschnittsthemen „Bevölkerungsschutz“ und „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“. Hier spiegelt sich ihre Rolle bei der Minderung von Klimawirkungen und zur Steuerung von Klimaanpassungsmaßnahmen mit Blick auf nahezu alle Handlungsfelder wider.

Als ein Ergebnis kann festgehalten werden, dass insbesondere für die Bereiche Wasser, Energie, biologische Vielfalt und menschliche Gesundheit eine handlungsfeldübergreifende Strategie für die Planung von Anpassungsmaßnahmen notwendig erscheint. Des Weiteren scheint die Raumplanung, bedingt aber auch die Finanzwirtschaft aufgrund ihrer intensiven Verknüpfung für die Planung und Steuerung von Anpassungsmaßnahmen relevant zu sein.

8.3 Implikationen für die Klimaraumtypen

Um räumliche Schwerpunkte der gegenwärtigen und zukünftigen klimatischen Veränderungen zu identifizieren, wurden über eine Clusteranalyse diejenigen Klimaraumtypen identifiziert, die hinsichtlich der Merkmalsausprägung einer Reihe von Klimasignalen in sich möglichst homogen und gegenüber anderen Klimaraumtypen möglichst heterogen sind (siehe Abbildung 13). Um Aussagen über die mögliche Entwicklung der Klimaraumtypen treffen zu können, wurde die Clusteranalyse für jede der drei Zeitschienen „Gegenwart“, „Nahe Zukunft“ und „Ferne Zukunft“ getrennt durchgeführt. Klimasignale, die in die Berechnung der Klimaraumtypen einfließen, sind Starkwind, Starkregen, Heiße Tage, Tropennächte, Frosttage, Durchschnittstemperatur (Winter), Durchschnittstemperatur (Sommer), Trockenperioden (Winter), Trockenperioden (Sommer), Niederschlag (Jahreszeitmittel Winter) und Niederschlag (Jahreszeitmittel Sommer). Das Ergebnis bilden sechs Klimaraumtypen für jede der Zeitschienen. Im Hinblick auf eine zusammenfassende Betrachtung der verwendeten Parameter weisen Flächen gleicher Farbe ein ähnliches Klima auf. Sie können auch hinsichtlich der zu erwartenden klimatischen Entwicklung voneinander unterschieden werden. Die nachstehend verwendeten Begriffe zur Bezeichnung der Klimaraumtypen als „ähnlich betroffene Räume“ beziehen sich dabei aber nicht auf vorhandene effektive oder genetische Klimaklassifikationen eines globalen Maßstabs, sondern bezeichnen nur die Klimaraumtypen, die sich auf Basis einer statistischen Analyse der vorgenannten Parameter ergeben haben. Die Bezeichnungen der Klimaraumtypen sind demnach rein deskriptiv zu verstehen und keine allgemein gültige Klimaklassifikation: Warmes Klima (dunkelroter Klimaraumtyp), Trockeneres Klima (hellroter Klimaraumtyp), Kühleres Klima (grüner Klimaraumtyp), Mittelgebirgsklima (oranger Klimaraumtyp), Gebirgsvorlandklima (gelber Klimaraumtyp) und Gebirgsklima (brauner Klimaraumtyp). Da die Ermittlung der Klimaraumtypen ausschließlich über die Clusterung von Klimaparametern von der Gegenwart bis hin zur fernen Zukunft geschehen ist, werden für die Charakterisierung der Klimaraumtypen die Trends der Veränderung der Klimasignale herangezogen, ergänzt durch die Verteilung der räumlichen Schwerpunkte der Klimawirkungen sowie – sofern möglich – die generellen Trends in der Veränderung der sozio-ökonomischen Faktoren. So konnten die wichtigsten Klimawirkungen für ähnlich betroffene Räume hervorgehoben und ihr sozio-ökonomisches Entwicklungspotential bewertet werden.

Abbildung 13: Kartographische Darstellung der Klimaraumtypen für Deutschland zur Zuordnung „ähnlich betroffener Räume“



Die Clusteranalyse wurde auf Basis der berechneten Klimasignale (50. Perzentil) für die Zeitscheiben „Gegenwart“, „nahe Zukunft“ und „ferne Zukunft“ durchgeführt, also für ein Szenario eines mittleren Wandels. Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von: Deutscher Wetterdienst 2013

Insbesondere **Regionen mit überdurchschnittlich warmem Klima (dunkelroter Klimaraumtyp)** 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. Hitze bedroht vor allem die menschliche Gesundheit. Ballungsregionen, in denen sich der urbane Wärmeinseleffekt durch die starke Bebauung und Bodenversiegelung sowie den klimatisch bedingten Temperaturanstieg noch verstärkt, sind innerhalb der warmen Regionen also besonders betroffen. Hitze und Trockenheit werden aber zunehmend auch die Forst- und Landwirtschaft sowie die Verkehrsinfrastruktur beeinträchtigen. Insofern sind auch in den ländlichen Regionen mit warmem Klima starke, größtenteils negative Klimawirkungen zu erwarten. Häufig genannte Regionen bei den Auswirkungen von Heißen Tagen in allen Handlungsfeldern sind im dunkelroten Klimaraumtyp Berlin, Frankfurt am Main, Stuttgart sowie der Rhein-Ruhr-Verdichtungsraum. Gegenwärtig erstreckt sich der dunkelrote Klimaraumtyp hauptsächlich in Räumen mit Verdichtungsansätzen (Rheinschiene, Berlin), könnte sich in der fernen Zukunft aber – insbesondere in Ostdeutschland – stärker in den ländlichen Raum ausdehnen und insbesondere dort für die Land- und Forstwirtschaft bedeutend werden.

Regionen mit trockenerem Klima (hellroter Klimaraumtyp) 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. Dies wird vor allem die Wasser-, Land- und Forstwirtschaft beeinträchtigen. Die räumliche Ausprägung dieses Klimaraumtyps zeigt große Bereiche Ostdeutschlands, wie die Küstengebiete Mecklenburg-Vorpommerns (in der fernen Zukunft), weite Teile Sachsen-Anhalts, die

Einzugsgebiete der Elbe (insbesondere Spree/Havel), Brandenburg und Thüringen sowie Nürnberg beziehungsweise Mittelfranken (Gegenwart und nahe Zukunft). Der Klimaraumtyp hat seine größte zusammenhängende Ausdehnung in Ostdeutschland. In der Gegenwart erstreckt er sich auch über einige Teilräume in West- und Süddeutschland, wird aber in diesen Regionen wie auch im südlichen Ostdeutschland in Zukunft vom dunkelroten Klimaraumtyp („warmes Klima“) abgelöst.

Regionen mit kühlerem Klima (grüner Klimaraumtyp) sind geprägt von Starkregen und Starkwind, gemäßigten Temperaturen und einer geringen Anzahl an Frost-, aber auch Heißen Tagen. Künftig wird hier entsprechend den Klimaprojektionen das Schadenspotenzial extremer Wetterereignisse wie Flusshochwasser in vielen Handlungsfeldern deutlich zunehmen. Zum Ende des Jahrhunderts können infolge des Meeresspiegelanstiegs erhöhte Sturmfluten auftreten. Darüber hinaus können insbesondere der Anstieg der Winterniederschläge und der Rückgang der Trockentage in den Wintermonaten die Stadtentwässerung in diesen Gebieten vor neue Herausforderungen stellen. Der grüne Klimaraumtyp dehnt sich über ganz Nordwestdeutschland aus und schließt die Nord- und Ostseeküste Schleswig-Holsteins mit ein. In der Gegenwart erstreckt er sich auch über die Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns. Hier wird der Klimaraumtyp in Zukunft jedoch allmählich vom hellroten Klimaraumtyp („Trockeneres Klima“) abgelöst. Räumliche Schwerpunkte bilden Hamburg, Bremen und die Städte und Landkreise entlang der Flüsse Weser, Ems und Elbe.

Für **Regionen mit Mittelgebirgsklima (orangener Klimaraumtyp)** 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 in Zukunft deutlich zunehmen, aber seltener als Schnee fallen – mit den entsprechenden Folgen für die Wasserwirtschaft. Durch die sinkende Schneesicherheit verlieren die Mittelgebirge an Attraktivität für den Wintersport. Gleichzeitig kann die im Vergleich zu anderen Regionen geringe Anzahl an Heißen Tagen, die jedoch in Zukunft deutlich zunehmen wird, den Sommertourismus fördern. Entsprechend der Bezeichnung dieses Klimaraumtyps umfasst die räumliche Ausdehnung vor allem die Mittelgebirgsregionen. Diese wächst von der Gegenwart bis in die ferne Zukunft, sodass in der fernen Zukunft ein zusammenhängendes Band durch die Mitte Deutschlands verläuft, das große Teile des Mittelgebirgsgürtels abdeckt. Eine Identifizierung von klaren räumlichen Schwerpunkten bezüglich der hier charakteristischen Klimaparameter innerhalb dieses Klimaraumtyps lässt sich aus der Untersuchung der Klimawirkungen nicht ableiten. Jedoch können Regionen wie der Bayerische Wald, das Sauerland und der Thüringer Wald genannt werden. Insbesondere in den Handlungsfeldern „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft“ und „Tourismuswirtschaft“ kann eine hohe Betroffenheit konstatiert werden.

Regionen mit Gebirgsvorlandklima (gelber Klimaraumtyp) sind geprägt von überdurchschnittlichen Sommerniederschlägen, einer großen Zahl von Tagen mit Starkregen sowie vielen Frosttagen. Die Sommertemperaturen nehmen hier vermutlich deutlich zu. Das wird dann vor allem die Energienachfrage für Kühlung in diesen wirtschaftlich eher starken Regionen erhöhen. Das prognostizierte Siedlungs- und Verkehrsflächenwachstum insbesondere in den Voralpen kann die Auswirkungen des Klimawandels noch weiter verstärken. Der gelbe Klimaraumtyp deckt in erster Linie den Voralpenbereich ab, erstreckt sich jedoch auch in einem Band entlang des nördlichen Rands des Thüringer Walds und des Erzgebirges. Der Klimaraumtyp ist im zeitlichen Verlauf sehr stabil und wird lediglich im Randbereich zur Mittelgebirgsschwelle in der fernen Zukunft vom violetten Klimaraumtypen abgelöst.

Regionen mit Gebirgsklima (brauner Klimaraumtyp) haben viele Tage mit Starkregen und Frost sowie hohe Niederschlagswerte. Es ist zu erwarten, dass die Stark- und Winterniederschläge zunehmen. Damit werden häufigere und intensivere Überschwemmungen und Sturzfluten verbunden sein. Eine erwartete überdurchschnittlich starke Erwärmung (bei geringem Ausgangsniveau) wird negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben. Die Ausdehnung des braunen Klimaraumtyps be-

schränkt sich auf den Alpenbereich und Teile des Schwarzwaldes. Die räumliche Ausdehnung ist bis in die ferne Zukunft konstant, aber es kommt zu einer relativen Verschiebung der Klimaparameter.

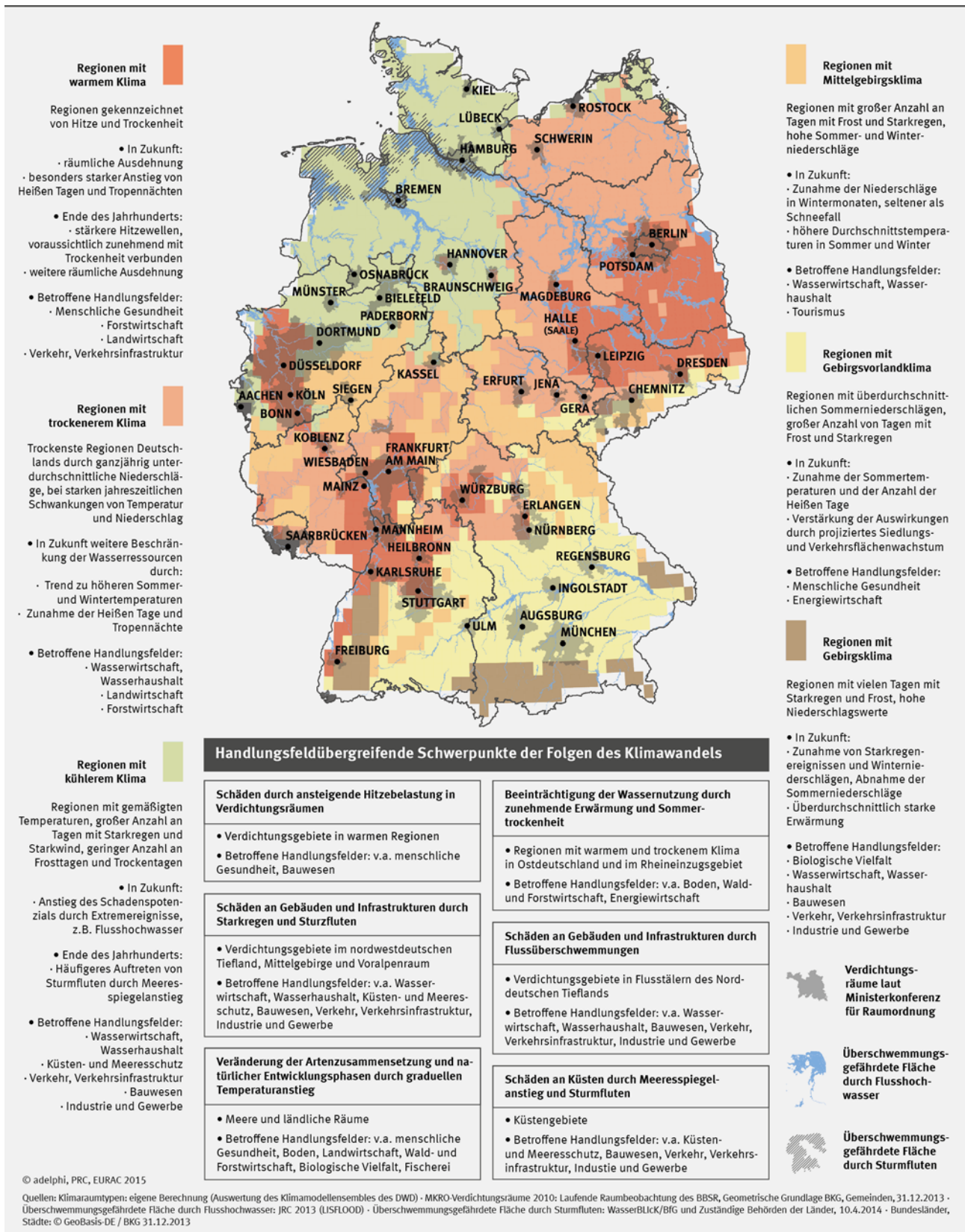
8.4 Gesamtbewertung

Eine weitere Verstärkung des Klimawandels in den kommenden Jahrzehnten erhöht das Schadenspotenzial für Natur, Gesellschaft und Wirtschaft. In vielen Handlungsfeldern sind bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts Beeinträchtigungen zu erwarten. In Anbetracht dessen, dass für viele der zentralen Klimasignale gerade gegen Ende des Jahrhunderts eine deutlich größere Änderung erwartet wird, ist davon auszugehen, dass die Stärke und damit auch die Bedeutung vieler Klimawirkungen für Deutschland weiter zunehmen werden.

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Analysen lassen sich sechs handlungsfeldübergreifende Schwerpunkte ableiten (siehe Abbildung 14):

1. **Schäden durch ansteigende Hitzebelastung in Verdichtungsräumen:** Klimawirkungen wie die direkte Hitzebelastung von Personen und die Beeinträchtigung des Stadtklimas und der Luftqualität sowie des Innenraumklimas in Gebäuden haben in der nahen Zukunft, je nach Geschwindigkeit des Klimawandels, eine hohe Bedeutung für Deutschland. Aber auch Hitzeschäden an Straßen, Schieneninfrastrukturen und Startbahnen oder Beeinträchtigungen der Kühlwasserverfügbarkeit für thermische Kraftwerke können in naher Zukunft eine mittlere Bedeutung erreichen.
2. **Beeinträchtigung der Wassernutzung durch zunehmende Erwärmung und vermehrte Sommertrockenheit:** Eine Klimawirkung, die direkt hiermit verknüpft ist und die, je nach Geschwindigkeit des Klimawandels, in der nahen Zukunft eine hohe Bedeutung für Deutschland aufweist, ist die Beeinträchtigung des Bodenwassergehalts und des Sickerwassers. Klimawirkungen mit einer mittleren Bedeutung für Deutschland in der nahen Zukunft sind etwa Trockenschäden in der Landwirtschaft und Hitze- und Trockenstress in der Wald- und Forstwirtschaft.
3. **Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Starkregen und Sturzfluten in urbanen Räumen:** Klimawirkungen, die diesen Bereich betreffen und die in naher Zukunft eine hohe Bedeutung für Deutschland bekommen können, sind etwa die potenzielle Überschwemmung und Unterspülung von Straßen und Schieneninfrastrukturen, die Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs, Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Sturzfluten oder auch Beeinträchtigungen des Kanalnetzes und von Kläranlagen.
4. **Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Flussüberschwemmungen:** Flussüberschwemmungen können eine Reihe von Klimawirkungen zur Folge haben, die in Deutschland in naher Zukunft eine hohe Bedeutung haben und die vergleichbar zu potenziellen Schäden durch Starkregen und Sturzfluten sind. Darunter fallen Überschwemmung und Unterspülung von Straßen und Schieneninfrastrukturen, potenzielle Beeinträchtigungen des landgestützten Warenverkehrs, Schäden an Gebäuden oder auch Beeinträchtigungen des Kanalnetzes und von Kläranlagen.

Abbildung 14: Regionale Betroffenheit und handlungsfeldübergreifende Folgen des Klimawandels in Deutschland (nahe Zukunft)



5. **Schäden an Küsten:** Schäden an Küsten werden zunehmend durch einen Anstieg des Meeresspiegels und einen dadurch bedingten erhöhten Seegang und steigende Sturmflutgefahr beeinflusst. Sie sind vor allem in der fernen Zukunft von Bedeutung. Doch auch in der nahen Zukunft und insbesondere unter Annahme einer Szenariokombination mit starkem Wandel können Schäden durch Sturmfluten an Verkehrsflächen und Gebäuden sowie Beeinträchtigungen des Warenverkehrs bereits eine hohe Bedeutung haben.
6. **Veränderung der Zusammensetzung und der natürlichen Entwicklungsphasen von Arten:** Klimawirkungen mit einer potenziell in naher Zukunft für Deutschland hohen Bedeutung sind die Verschiebungen des marinen Artenspektrums sowie Veränderungen des Wachstums, der Reproduktion und der Sterblichkeit von Fischbeständen, die Ausbreitung invasiver Arten und Verschiebungen agrophänologischer Phasen und von Wachstumsperioden.

Eine hohe Anpassungskapazität kann dazu beitragen, die Vulnerabilität einer Region trotz starker Klimawirkungen abzumildern, wenn sie auch für Anpassungsmaßnahmen genutzt wird. Während die zunächst durch Auswirkungen des Klimawandels relativ stärker betroffenen Ballungsräume häufig aufgrund einer im Vergleich hohen Wirtschaftskraft und ihrer Bevölkerungsstruktur eine vergleichsweise hohe Anpassungskapazität aufweisen, findet sich in strukturschwachen Regionen eine eher geringe Anpassungskapazität. Hierunter fallen vor allem peripher gelegene Regionen mit starken strukturellen Defiziten sowie hochverdichtete Regionen mit strukturellen Schwächen.

Auf Basis einer Zusammenführung der Bewertung der Klimawirkungen und der qualitativen Einschätzung der Anpassungskapazität in den Handlungsfeldern lässt sich eine Einschätzung der Vulnerabilität je Handlungsfeld und darauf aufbauend eines Gesamtwertes der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel für die nahe Zukunft vornehmen. Die Ergebnisse der durchgeführten Analysen zeigen, dass Deutschland im Mittel aller Handlungsfelder eine mittlere Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel aufweist. Dabei ist jedoch zu beachten, dass bereits Aussagen zur Vulnerabilität einzelner Handlungsfelder aufgrund der Zusammenfassung von Bewertungen und Erkenntnissen unterschiedlicher Qualität zwangsläufig eine eher grobe Abschätzung darstellen.

9 Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf

9.1 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 30 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, Expertenwissen) 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 nur 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.

9.2 Methodische Empfehlungen

Erste Empfehlung: Expertennetzwerk einbeziehen

Die gute ressortübergreifende und transdisziplinäre Zusammenarbeit im Netzwerk Vulnerabilität war entscheidend für das Gelingen des Vorhabens. Eine so umfassende Vulnerabilitätsanalyse konnte nur umgesetzt werden, weil sich Experten vieler Behörden und Institutionen mit ihrem Wissen, ihren Daten und Modellen daran beteiligt haben. Dabei hat der Transfer von Wissen nicht nur die Arbeit des Netzwerks Vulnerabilität befruchtet. Auch die beteiligten Behörden und Institutionen haben von den Prozessen im Netzwerk profitiert. So haben die Diskussionen im Netzwerk neue Kooperationen zwischen den Netzwerkpartnern sowie den Austausch von Modellen und Daten befördert.

Auch für Vulnerabilitätsanalysen unterhalb der Bundesebene ist es zu empfehlen, ein Netzwerk von Experten, die Fachwissen zu allen betrachteten Handlungsfeldern vereinen, zu beteiligen. Denn ein solches Netzwerk verbessert nicht nur das Problemverständnis, sondern auch die Wahrnehmung von Problemfeldern. Die Konsultation von Experten kann helfen, ‚Blind Spots‘ aufzudecken, also Klimawirkungen, denen sich die Bearbeiter der Analyse nicht bewusst sind.

Zweite Empfehlung: Einheitliche Methodik verwenden auf allen Ebenen und für alle Handlungsfelder

Ein Vergleich der Ergebnisse von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien zwischen Handlungsfeldern und Regionen wird wesentlich erleichtert, wenn sie das gleiche Konzept und die gleiche Methodik verwenden. Das Netzwerk Vulnerabilität hat hierfür eine Methode entwickelt, die nicht nur für alle Handlungsfelder, sondern auch auf einem breiten Spektrum räumlicher Ebenen Verwendung finden kann. So können die Ressorts und die Bundesländer Detailanalysen in einzelnen Themenbereichen und Regionen so durchführen, dass sie direkt an die Ergebnisse des Netzwerks anschließen

und bei einer Wiederholung der Vulnerabilitätsanalyse des Bundes berücksichtigt werden können. Eine einheitliche Methodik für Vulnerabilitätsanalysen von Bund, Ländern und Regionen hätte zudem den Vorteil, dass die Interpretation und Kommunikation der Ergebnisse erleichtert würden. Auch könnten Datenlücken geschlossen werden, die die quantitative Analyse einiger Klimawirkungen zurzeit noch verhindern.

Dritte Empfehlung: Methodik evaluieren und weiterentwickeln

In einem dynamischen Forschungsfeld wie der Klimafolgenforschung, ist es wichtig, neue Erkenntnisse in die eigene Methodik integrieren zu können, damit diese State of the Art bleibt. Dazu gehört, die eigene Methodik zu evaluieren und für neue Forschungsergebnisse zu öffnen. Die erste Vulnerabilitätsstudie im Auftrag des Umweltbundesamts (Zebisch et al. 2005) beispielsweise hatte bereits zum Ziel, für verschiedene Handlungsfelder ein räumlich explizites Bild der Vulnerabilität Deutschlands zu liefern. Auch wenn diese erste Studie vom Zeit- und Ressourcenaufwand wesentlich reduzierter war, besteht doch methodisch eine hohe Konsistenz zu der vorliegenden Studie des Netzwerks Vulnerabilität. Die nun vorliegende Studie kann als eine konsequente Weiterentwicklung der Studie von 2005 betrachtet werden, die sich vor allem durch die Etablierung des Behördennetzwerkes von einer rein wissenschaftlichen Studie zu einer Koproduktion von Wissen weiterentwickelt hat.

Vierte Empfehlung: Vulnerabilitätsanalyse regelmäßig wiederholen

Die Analyse der Vulnerabilität auf Bundesebene sollte in einigen Jahren wiederholt werden. Dies bringt mehrere Vorteile mit sich: Erstens ermöglicht es, in der Zwischenzeit die identifizierten Forschungsbedarfe zu adressieren und neue Erkenntnisse bei der wiederholten Bewertung der Vulnerabilität zu berücksichtigen. Zweitens wird bei einer regelmäßig durchgeführten Vulnerabilitätsanalyse auf Bundesebene die Kooperation mit den Behörden und anderen Stakeholdern gefestigt. Gleichzeitig können neue Partner gewonnen werden, die die Studie mit ihrem Wissen und ihrer Perspektive bereichern können. Drittens würden die Verankerung einer regelmäßigen Vulnerabilitätsanalyse in der Deutschen Anpassungsstrategie oder einem ähnlichen Strategiepapier und eine Institutionalisierung des Netzwerks Vulnerabilität dem Themenbereich ‚Vulnerabilität und Anpassung‘ auf Bundesebene noch mehr Stabilität verleihen. Das Problemfeld würde konsequent und regelmäßig bearbeitet und so unabhängig von politischen Zyklen seine Bedeutung im Politikgeschehen behalten, was der Wichtigkeit des Themas angemessen wäre.

Fünfte Empfehlung: Handlungsfelder klar definieren und gegeneinander abgrenzen

Die Studie des Netzwerks Vulnerabilität hat gezeigt, dass die in einer Vulnerabilitätsanalyse betrachteten Handlungsfelder möglichst klar beschrieben und gegeneinander abgegrenzt werden müssen. So können Doppelarbeit und analyseinterne Widersprüche vermieden werden, wo Klimawirkungen mehreren Handlungsfeldern zugeordnet werden können. Auch erleichtert es die Analyse von Wechselwirkungen zwischen den Handlungsfeldern, wenn klar definiert werden kann, welche Klimawirkung welchem Handlungsfeld oder welchen Handlungsfeldern zugeordnet werden muss. Bei der Abgrenzung der Handlungsfelder ist zu beachten, dass diese nicht so groß gefasst werden, dass Klimawirkungen durch sehr allgemeine Betrachtungen verloren gehen. Ebenfalls berücksichtigt werden sollte die Unterscheidung zwischen Handlungsfeldern, die vom Klimawandel betroffen sind, und Querschnittsthemen, die zwar auch eine eigenen Vulnerabilität aufweisen, vor allem aber zur Anpassung der Gesellschaft (sprich anderen Handlungsfeldern) beitragen können.

Sechste Empfehlung: Ergebnisse und Unsicherheiten deutlich kommunizieren

Unsicherheiten bestehen bei der Analyse und der Bewertung von (künftigen) Vulnerabilitäten immer. Einerseits ist die Zukunft nie mit abschließender Gewissheit vorherzusagen. Andererseits werden in der Regel so komplexe Systeme betrachtet, dass sie nicht vollständig in Modelle übersetzt werden

können. Hinzu kommt, dass jede Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsstudie normative Entscheidungen und Bewertungen voraussetzt, die stets unter bestimmten Annahmen getroffen werden. Die Wissenschaft ist bemüht, diese Unsicherheiten zu reduzieren. Gleichzeitig aber müssen sie dokumentiert und kommuniziert werden, da nur dann die Ergebnisse einer Studie vom Betrachter richtig eingeschätzt und interpretiert werden können.

Siebte Empfehlung: Internationale Ebene einbeziehen

Die Prozesse und Ergebnisse des Netzwerks Vulnerabilität haben nicht nur auf nationaler Ebene Bedeutung. Auch international wird ihnen großes Interesse entgegengebracht. So hat das Vorhaben bereits andere nationale Vulnerabilitätsanalysen inspiriert. Es kann auf europäischer Ebene und darüber hinaus als Beispiel und Anknüpfungspunkt für weitere Entwicklungen dienen.

10 Quellenverzeichnis

- Bundesanstalt für Gewässerkunde (2013): Datenlieferung zu seeseitigen Überflutungsflächen im Rahmen des Projekts „Netzwerk Vulnerabilität“.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2012) (Hrsg.): Trends der Siedlungsflächenentwicklung. Status Quo und Projektion 2030. BBSR-Analysen KOMPAKT 09/2012. Bonn.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2014): Datenlieferung zu Landnutzungsszenarien im Rahmen des Projekts „Netzwerk Vulnerabilität“.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011) (Hrsg.): 30-Hektar-Ziel realisiert – Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung. BMVBS Forschungen, Heft 148. Berlin.
- Deutscher Wetterdienst (2013): Datenlieferung zu Klimaparametern sowie Klimaänderungen/Klimaprojektionen im Rahmen des Projekts „Netzwerk Vulnerabilität“.
- Distelkamp, M.; Großmann, A.; Hohmann, F.; Lutz, C.; Ulrich, P. und Wolter, M. I. (Verf.); Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung, Osnabrück (Hrsg.) (2009): PANTA RHEI REGIO. Ein Modellsystem zur Projektion der künftigen Flächeninanspruchnahme in Deutschland und zur Folgenabschätzung fiskalischer Maßnahmen. Osnabrück. Online verfügbar unter: <http://edoc.difu.de/edoc.php?id=Q0234517>, aufgerufen am 25.02.2015.
- Distelkamp, M.; Mohr, K.; Siedentop, S. und Ulrich, P. (2011): Supplement zur Veröffentlichung „30-Hektar-Ziel realisiert – Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung“ (BMVBS Forschungen, Heft 148). Osnabrück, Stuttgart.
- Hoymann, J. und Goetzke, R. (2014): Die Zukunft der Landnutzung in Deutschland – Darstellung eines methodischen Frameworks. In: Raumforschung und Raumordnung 72(3), S. 211-225
- Joint Research Centre (2013): Datenlieferung zu LISFLOOD im Rahmen des Projekts „Netzwerk Vulnerabilität“.
- Schmitt, Hanna (2014): Analyse der Anpassungskapazität der Regionalplanung an den Klimawandel. Masterarbeit an der Technischen Universität Dortmund.
- Zebisch, M, Grothmann, T, Schröter, D, Haße, C, Fritsch, U, Cramer, W (2005): Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, PIK Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes.

