Die
Bundesregierung

Fortschrittsbericht zur

Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel

ENTWURF

Vulnerabilitätsanalyse

(Anhang 1 des Fortschrittsberichts)

Stand: 26.05.2015

Bericht zur Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel

basierend auf Arbeiten des Netzwerks Vulnerabilität (2011-2015)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ... 3

Tabellenverzeichnis ... 5

1 Ziel, Prozess und Methodik ... 6

2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Handlungsfelder ... 13

2.1 Handlungsfeld „Boden“ ... 15

2.2 Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ ... 20

2.3 Handlungsfeld „Landwirtschaft“ ... 24

2.4 Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“ ... 28

2.5 Handlungsfeld „Fischerei“ ... 33

2.6 Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“ ... 35

2.7 Handlungsfeld „Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt“ ... 38

2.8 Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ ... 43

2.9 Handlungsfeld „Bauwesen“ ... 47

2.10 Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ ... 51

2.11 Handlungsfeld „Energiewirtschaft“ ... 56

2.12 Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“ ... 60

2.13 Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“ ... 62

2.14 Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“ ... 64

2.15 Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“ ... 68

2.16 Handlungsfeld „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“ ... 69

3 Handlungsfeldübergreifende Auswirkungen des Klimawandels ... 74

3.1 Vom Klimawandel ähnlich betroffene Räume Deutschlands ... 74

3.2 Thematische Cluster und ihre zentralen Klimawirkungen ... 75

3.2.1 Cluster „Wasser“ ... 76

3.2.2 Cluster „Land“ ... 78

3.2.3 Cluster „Infrastrukturen“ ... 79

3.2.4 Cluster „Wirtschaft“ ... 80

3.2.5 Cluster „Gesundheit“ ... 81

3.2.6 Cluster „Raumplanung und Bevölkerungsschutz“ und allgemeine Anpassungskapazität ... 82

3.3 Handlungsfeldübergreifende thematische und räumliche Schwerpunkte 83
3.4 Erkenntnisse für ein zukünftiges Vorgehen 86

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vulnerabilitätskonzept des Netzwerks Vulnerabilität 8

Abbildung 2: Wirkungsketten des Handlungsfelds „Industrie und Gewerbe“ 10

Abbildung 3: Erläuterungen zu den Karten der Klimawirkungen 14

Abbildung 4: Klimawirkung „Bodenerosion durch Wasser“ basierend auf Modellergebnissen zu „Potenzielle Erosionsgefährdung der Ackerböden durch Wasser“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 18

Abbildung 5: Klimawirkung „Bodenerosion durch Wind“ basierend auf Modellergebnissen zu „Potenzielle Erosionsgefährdung der Ackerböden durch Wind“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 18

Abbildung 6: Klimawirkung „Ausbreitung invasiver Arten“ basierend auf Modellergebnissen für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 23

Abbildung 7: Klimawirkung „Agrophänologischer Phasen“ basierend auf einem Wirkmodell für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 27

Abbildung 8: Klimawirkung „Waldbrandrisiko“ basierend auf einem Wirkmodell für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 31

Abbildung 9: Klimawirkung „Sturmfluten“ basierend auf dem Indikator „Potenzielle Überschwemmungsgebiete durch Sturmfluten“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 37

Abbildung 10: Klimawirkung „Auswirkungen auf Kanalsystem und Kläranlagen“ basierend auf dem Indikator „Starkregen auf versiegelten Flächen“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 41

Abbildung 11: Klimawirkung „Überschwemmung und Unterspülung von Straßen und Schieneninfrastrukturen“ basierend auf dem Indikator „Potenzielle Schäden an Verkehrsinfrastruktur durch Sturzfluten“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 46

Abbildung 12: Klimawirkung „Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Flusshochwasser“ basierend auf dem Indikator „Siedlungsflächen und Bevölkerungsdichte in potenziellen Überschwemmungsflächen“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 50

Abbildung 13: Klimawirkung „Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs“ basierend auf dem Indikator „Potenzielle Schäden an Verkehrsinfrastrukturen durch Starkwind“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 54

Abbildung 14: Klimawirkung „Bedarf an Heizenergie“ basierend auf dem Indikator „Heizgradtage und Siedlungsfläche“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 58

Abbildung 15: Klimawirkung „Saisonale und regionale Nachfrageverschiebung“ basierend auf Modellergebnissen zur „Durchschnittliche Anzahl der Badetage pro Saison“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 61

Abbildung 16: Klimawirkung „Hitzebelastung“ basierend auf dem Indikator „Hitze in Siedlungen“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050) 67

Abbildung 17: Berücksichtigung der von der Ministerkonferenz für Raumordnung (2013) vorgegebenen Anpassungserfordernissen in den Regionalplänen 73

Abbildung 18: Klimaraumtypen in Deutschland zur Kennzeichnung „ähnlich betroffener Räume“ 74

Abbildung 19: Abbildung der Wechselbeziehungen zwischen den Handlungsfeldern 76

Abbildung 20: Typisierung der Kreisregionen in Deutschland nach ausgewählten siedlungsstrukturellen, ökonomischen und sozialen Merkmalen (Abbildung noch in Bearbeitung) 83

Abbildung 21: Regionale Betroffenheit und handlungsfeldübergreifende Folgen des Klimawandels in Deutschland (nahe Zukunft) 85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Symbole der Klimasignale und ihre Bedeutung 15
Tabelle 2: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Boden“ 20
Tabelle 3: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ 24
Tabelle 4: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Landwirtschaft“ 28
Tabelle 5: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“ 32
Tabelle 6: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Fischerei“ 35
Tabelle 7: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“ 38
Tabelle 8: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt“ 42
Tabelle 9: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ 47
Tabelle 10: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Bauwesen“ 51
Tabelle 11: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ 55
Tabelle 12: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Energiewirtschaft“ 59
Tabelle 13: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“ 62
Tabelle 14: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“ 64
Tabelle 15: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“ 68
Tabelle 16: Klimasignale im Cluster „Wasser“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 15 Klimawirkungen im Cluster „Wasser“ 77
Tabelle 17: Klimasignale im Cluster „Land“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 21 Klimawirkungen im Cluster „Land“ 78
Tabelle 18: Klimasignale im Cluster „Infrastrukturen“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 18 Klimawirkungen im Cluster „Infrastrukturen“ 79
Tabelle 19: Klimasignale im Cluster „Wirtschaft“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 14 Klimawirkungen im Cluster „Wirtschaft“ 80
Tabelle 20: Klimasignale im Cluster „Gesundheit“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 4 Klimawirkungen im Cluster „Gesundheit“ 82

1 Ziel, Prozess und Methodik

Im Aktionsplan Anpassung (Bundesregierung 2011) wurde als Grundlage für die Priorisierung von klimatisch bedingten Gefährdungen und von Handlungserfordernissen eine aktuelle handlungsfeldübergreifende und nach einheitlichen Maßstäben erstellte Vulnerabilitätsanalyse für Deutschland gefordert. **Die Analyse der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel ist eine wissenschaftliche Querschnittsaufgabe.** Sie verlangt die Kooperation verschiedener Fachdisziplinen und Behörden sowie die Integration regionaler und handlungsfeldspezifischer Expertise. **Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und das Umweltbundesamt haben daher 2011 im Auftrag der Bundesregierung die Aufgabe übernommen, das „Netzwerk Vulnerabilität" aufzubauen.** Alle Bundesoberbehörden und -institutionen waren eingeladen, sich zu beteiligen. Folgende **16 Behörden und Institutionen** sind dem gefolgt:

- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)
- Bundesamt für Naturschutz (BfN)
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW)
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
- Deutscher Wetterdienst (DWD)
- Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen-Institut)
- KfW
- Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (PT-DLR)
- Robert Koch-Institut (RKI)
- Umweltbundesamt (UBA)

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**. **Unterstützt wurde das Netzwerk von einem wissenschaftlichen Konsortium.** Dieses erarbeitete – im Auftrag des Umweltbundesamtes und in enger Abstimmung mit den Bundesoberbehörden und -instituten im Netzwerk Vulnerabilität –die wissenschaftlichen Ergebnisse, und bereitete die Entscheidungsgrundlagen und Analyseschritte der Vulnerabilitätsanalyse vor. Die Behörden und Instituten des Netzwerks unterstützen die Untersuchung durch Daten, Modellergebnisse, Expertenwissen und Bewertungen im Rahmen ihrer eigenen Ressourcen. Die Behörden des Netzwerks leisten diese neue und wissenschaftlich anspruchsvolle Aufgabe derzeit noch ohne zusätzliche Ressource aus ihrem Bestandswissen, welches z.T. durch eigene Forschungsaktivitäten genährt wird. Einbezogen wurden zudem mehr als 40 externe Wissenschaftler und Stakeholder. Zur Qualitätssicherung wurden die beteiligten Behörden zur Kommentierung und Bewertung der aufgearbeiteten Kenntnisstände aufgefordert.

Alle Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) einzubeziehen, erforderte eine kontinuierliche, ressortübergreifende und interdisziplinäre Kommunikation, die im Abschlussbericht des

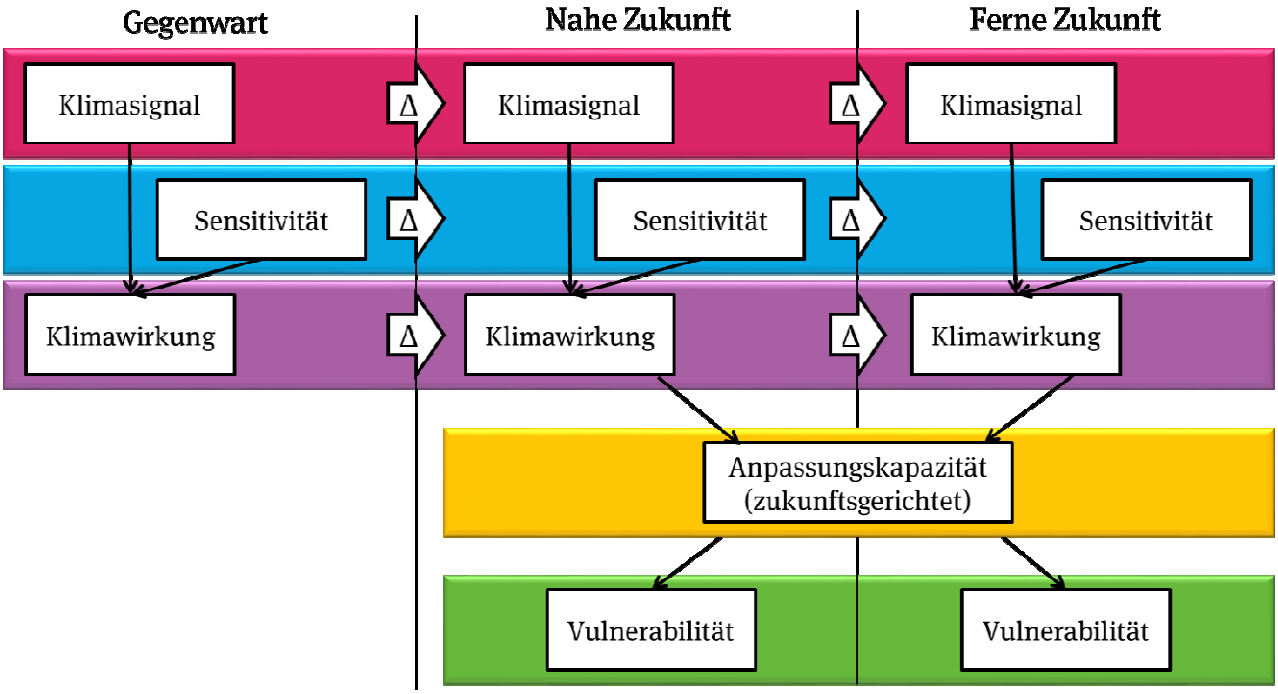
Vorhabens des Konsortiums (Abschlussbericht Netzwerk Vulnerabilität 2015[1]) dokumentiert ist. **Dem Auftrag der Bundesregierung folgend wurde eine handlungsfeldübergreifende Analysemethodik entwickelt und verwendet. Sie erlaubte es, auf der Basis des durch das Netzwerk Vulnerabilität erhobenen Kenntnisstands (dokumentiert in** Abschlussbericht Netzwerk Vulnerabilität) **mittels eines einheitlichen Vorgehens und einheitlicher Kriterien, handlungsfeldspezifische und -übergreifende Aussagen zu treffen. Diese dienen im Folgenden als eine Grundlage für eine zielgerichtete Anpassungspolitik und leisten einen wesentlichen Beitrag zur Fortschreibung des Aktionsplans Anpassung sowie als Orientierung für andere Akteure, indem sie Hinweise zu weiteren Handlungserfordernissen geben (siehe Kapitel E 2, Anhang 2 des Fortschrittberichts).** Weiterführende sektorale oder regionale Vulnerabilitätsanalysen können diese Untersuchung als methodischen Rahmen nutzen und inhaltlich ergänzen.

Basis der Methodik war das Vulnerabilitätskonzept des Intergovenmental Panel on Climate Change (IPCC; Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen; Weltklimarat), wie es im Assessment Report 4 2007 (AR4; Vierter Sachstandsbericht) beschrieben wird. Danach ist Vulnerabilität das Maß der Anfälligkeit eines Systems gegenüber dem Klimawandel, sowie die Unfähigkeit damit umzugehen. **Die Vulnerabilität wird beeinflusst durch das Klima (Klimasignale[2]), durch die Empfindlichkeit der betroffenen Systeme (Sensitivität) sowie durch deren Möglichkeiten, sich an den Wandel anzupassen (Anpassungskapazität).** Dieses Konzept wurde für die vorliegende Vulnerabilitätsanalyse so umgesetzt, dass die Sensitivität eines Systems zu einer definierten Zeit bestimmt, welche Auswirkung das dann wirksame Klimasignal hat. **Der Begriff „Klimawirkung“ beschreibt daher in dieser Analyse für die Gegenwart die Wirkung des heutigen Klimas auf das heutige System und für die Zukunft die Wirkung des zukünftigen Klimas auf ein zukünftiges System.** Die Anpassungskapazität kann nur zukünftig, wenn sie zu konkreten Anpassungsmaßnahmen genutzt wurde, die Auswirkungen des Klimawandels verringern. Daher können auch nur für die Zukunft Aussagen zur Vulnerabilität getroffen werden (siehe Abbildung 1).

[1] Verweis auf Zitation des Abschlussberichtes des Vorhabens „Netzwerk Vulnerabilität“ ist noch in Klärung.

[2] Mit Klimasignale sind die Ausprägung der klimatischen Parameter, wie Niederschlag, in einem Zeitraum gemeint, inkl. Ausmaß und Geschwindigkeit der Klimaänderungen sowie klimatischer Extremereignisse. Hochwasser, Sturzfluten, Sturmfluten und Meeresspiegelanstieg sind Klimawirkungen 1. Ordnung im Handlungsfeld Wasser und Küste. Sie werden in den anderen Handlungsfeldern als Klimasignale benutzt. Unter Sensitivität werden nicht-klimatische Einflussfaktoren oder Eigenschaften verstanden, die ein System empfindlich gegenüber dem Klimawandel machen. Anpassungskapazität ist das aus heutiger Sicht abschätzbare Potential für zukünftige Anpassung. Nur wenn dieses Potential auch für Anpassung eingesetzt wird, wird es die zukünftige Vulnerabilität tatsächlich vermindern.

Abbildung 1: Vulnerabilitätskonzept des Netzwerks Vulnerabilität



Die Untersuchung erfolgte in folgenden Zeiträumen:

- **Gegenwart**
- **nahe Zukunft (2021 bis 2050)**
- **ferne Zukunft (2071 bis 2100)**

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

- **Starker Wandel**: Für die Klimaprojektionen wurde grundsätzlich das 85. Perzentil der Ergebnisse des Klimamodellensembles des DWD[3] verwendet. Weiterer Ausgangspunkt ist eine

[3] Das Klimamodellensemble des DWD umfasst 19 regionale Klimaprojektionen bis Ende des Jahrhunderts auf der Grundlage des Emissionsszenarios A1B (Überblick über die Ergebnisse siehe Fortschrittsbericht, Kapitel D1, 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

relativ starke sozioökonomische Entwicklung, unter anderem mit einem durchschnittlichen jährlichen Wirtschaftswachstum von 1,1 Prozent, einer durchschnittlichen täglichen Flächenneuinanspruchnahme von 59 Hektar und einem Bevölkerungsrückgang auf 78,68 Millionen Einwohner im Jahr 2030[4].

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

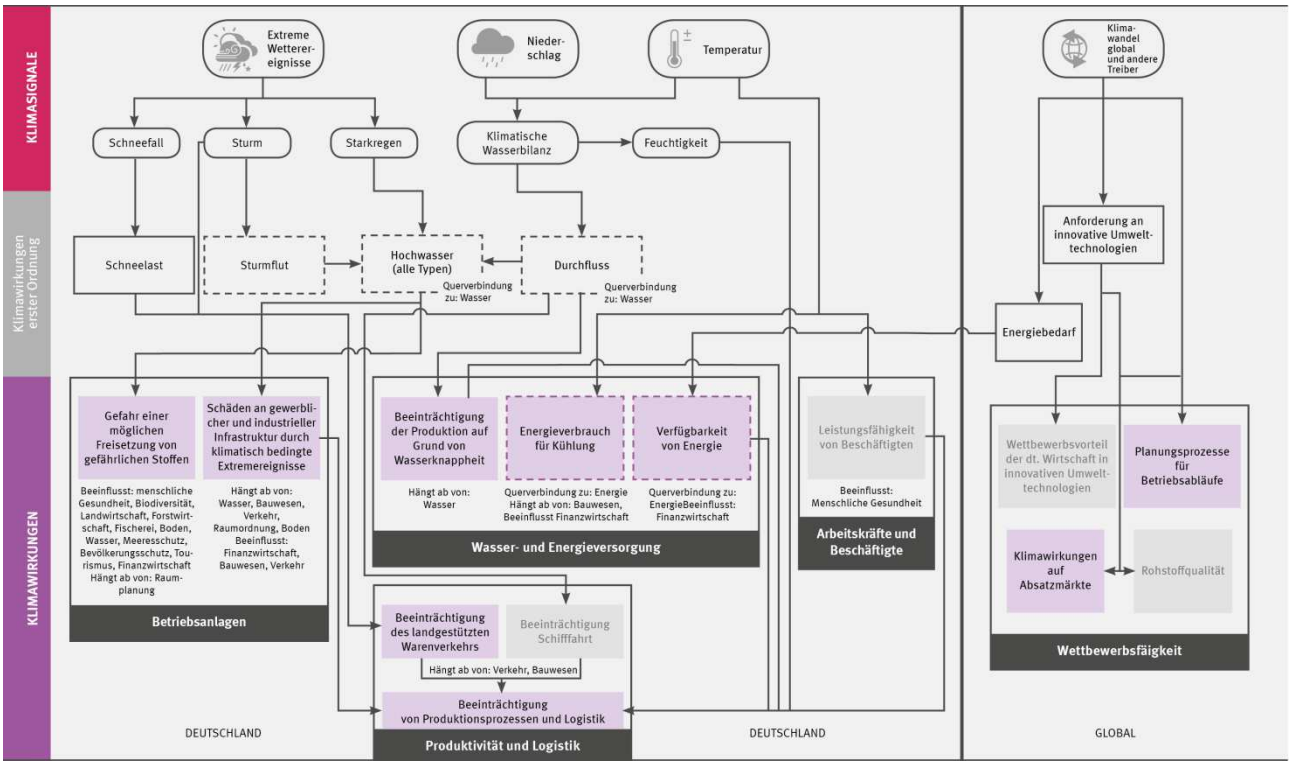
Für die ferne Zukunft lässt sich die sozioökonomische Entwicklung nur sehr unsicher projizieren. Daher basierte die Analyse im Zeitraum 2071 bis 2100 nur auf den Klimaprojektionen (zur Diskussion der Unsicherheit der Klimaprojektionen siehe Kap. D1 des Fortschrittberichts)**.**

Um die Klimawirkungen zu analysieren, wurden für jedes Handlungsfeld Wirkungsketten erstellt. Diese benennen die relevanten Klimasignale und die dadurch beeinflussten Klimawirkungen inklusive Hinweise auf Wechselbeziehungen zu anderen Handlungsfeldern. Soweit möglich, berücksichtigen die Wirkungsketten die Struktur und Ergebnisse des DAS-Monitoringsystems. Ein Beispiel für eine solche Wirkungskette zeigt Abbildung 2.

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.

[4] 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.

Abbildung 2: Wirkungsketten des Handlungsfelds „Industrie und Gewerbe“



Die ovalen Formen zeigen die Klimasignale, in Kästchen sind Klimawirkungen erster Ordnung[5] (weiße Kästchen, zum Beispiel Hochwasser) und zweiter Ordnung zu finden. Die grün markierten Klimawirkungen zweiter Ordnung wurden als potentiell relevante Klimawirkungen für die weitere Analyse ausgewählt; die rot markierten Klimawirkungen nicht. Die Auswahl wurde von den Bundesoberbehörden und -instituten des Netzwerks gemeinsam getroffen. Allen Klimawirkungen zweiter Ordnung wurden zudem Indikationsfeldern zugeordnet (orange Kästchen), die weitestgehend denen des Monitoringberichts entsprechen.

Für jedes Handlungsfeld wurden von den Bundesoberbehörden und -instituten im Netzwerk Vulnerabilität die für Deutschland potenziell relevanten Klimawirkungen ausgewählt. Als „potenziell relevant“ galt eine Klimawirkung, wenn sie eine soziale, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle oder flächenhafte Bedeutung für Deutschland hat. Die potenzielle Relevanz wurde für die Handlungsfelder selbst sowie handlungsfeldübergreifend bewertet. Insgesamt wurden 88 Klimawirkungen von den Oberbehörden als potenziell relevant eingeschätzt (Details siehe Abschlussbericht Netzwerk Vulnerabilität). Bei der weiteren Bearbeitung wurden sehr ähnliche Klimawirkungen zusammengefasst, so dass **für 72 Klimawirkungen die Stärke und - soweit möglich - räumliche Verteilung der heutigen und zukünftigen Ausprägungen bestimmt wurde.** Um die relevanten Auswirkungen des Klimawandels qualitativ einzuschätzen und – sofern möglich – zu quantifizieren, wurden folgende drei Methoden verwendet:

1. Quantifizierung der Wirkungsketten basierend auf Wirkmodellen

Soweit Wirkmodelle aus wissenschaftlichen Untersuchungen vorlagen, die die komplexen Zusammenhänge zwischen Klimasignal und Auswirkungen des Klimawandels abbilden, wurden deren Er-

[5] Auswirkungen erster Ordnung sind vor allem Klimawirkungen, wie „Flusshochwasser“ oder „Sturzfluten“, die für das betrachtete Handlungsfeld spezifische Klimawirkungen (zweiter Ordnung) verursachen, etwa „Schäden an Infrastrukturen“. Klimawirkungen 1. Ordnung können in anderen Handlungsfeldern auch als Klimasignal genutzt werden.

gebnisse genutzt, wenn die Daten in einer entsprechenden räumlichen Auflösung (möglichst Landkreisebene) und deutschlandweit flächendeckend vorlagen. In den Handlungsfeldern „Boden“ und „Forstwirtschaft“ wurden von den Netzwerkpartnern Thünen-Institut für Waldökosysteme und Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) neue Wirkmodelle für einzelne Klimawirkungen entwickelt. **Insgesamt flossen in die Quantifizierung von 16 der 72 betrachteten Klimawirkungen[6] Modellergebnisse ein.**

2. Indikatorenbasierte Analysen

Wo wissenschaftliche Wirkmodelle bisher nicht verfügbar sind, wurden – soweit möglich – die Klimawirkungen mittels einfacher Indikatoren betrachtet. Dies geschah überwiegend auf der Ebene der Landkreise. Dabei wurden Klimadaten (oder Daten zu Auswirkungen erster Ordnung) mit Sensitivitätsdaten verschnitten[7]. Dazu wurden die Daten auf einer linearen Skala mit acht Klassen eingetragen und normalisiert[8]. Die Normalisierung erlaubt wichtige vergleichende Aussagen über die räumlichen Muster der Klimawirkungen sowie über deren Entwicklung. **Bei der Operationalisierung von 23 Klimawirkungen konnten indikatorenbasierte Analysen angewendet werden**.

3. Abfragen von Expertenwissen durch Interviews

Gab es weder Modellergebnisse noch verwendbare Indikatoren, wurden pro Handlungsfeld meist drei bis vier Experten befragt. Dies geschah anhand eines Interviewleitfadens (Details siehe Abschlussbericht Netzwerk Vulnerabilität). **Interviews mit Experten wurden für die Einschätzung von 40 Klimawirkungen geführt.**

Zusätzlich wurden die Experten um eine Aussage gebeten, wie sicher sie sich in ihrer Bewertung sind. Zusammen mit dem Grad der Übereinstimmung der Aussagen unterschiedlicher Experten konnte so die Gewissheit[9] eingeschätzt werden. Auch die Ergebnisse von berechneten Indikatoren können aus verschiedensten Gründen mit Unsicherheit behaftet sein. **Quellen von Unsicherheit können auf Ebene des Systemverständnisses, des gewählten Indikators oder Modells und der verwendeten Daten liegen.** Die erhobenen Daten weisen dabei in unterschiedlichem Maße und in Bezug auf unterschiedliche Aspekte Unsicherheiten auf. **Daher wurden für jede** über Modelle oder Indikatoren berechnete **Klimawirkung die größten Unsicherheitsfaktoren identifiziert und die Gewissheit abgeleitet** (siehe Tabellen 1 bis 14).

Basierend auf der quantitativen bzw. qualitativen Abschätzung der Klimawirkungen beurteilten die Bundesoberbehörden und -institutionen – unter Berücksichtigung sozialer, ökonomischer, ökologischer, kultureller und flächenmäßiger Kriterien – für jede Klimawirkung, ob

---

[6] **Einige Klimawirkungen wurden über verschiedene Methoden operationalisiert**, sodass die Summe der über Wirkmodelle, Proxyindikatoren und Experteninterviews operationalisierten Klimawirkungen nicht die Anzahl der betrachteten Klimawirkungen ergibt.

[7] Beispielsweise wurden im Handlungsfeld auf Landkreisebene „Tourismuswirtschaft“ Übernachtungszahlen mit potenziellen Überschwemmungsflächen durch Flusshochwasser verschnitten. Dazu wurden für jeden Landkreis die normalisierten Klimasignaldaten mit den normalisierten Sensitivitätsdaten multipliziert.

[8] Bei einer Normalisierung werden Variablen (hier: Indikatoren) unterschiedlicher Einheiten auf einer dimensionslosen Skala abgebildet, um sie miteinander verschneiden zu können. Im Fall der vorliegenden Analyse erfolgte die Normalisierung über das Min-Max-Verfahren. Das heißt, der niedrigste Wert wurde dem Wert Null und der höchste ursprüngliche Wert dem Wert Eins zugewiesen. Alle anderen Werte der Variablen wurden der Skala zwischen Null und Eins zugeordnet. Dies geschah über die Gegenwart und die nahe Zukunft (schwacher und starker Wandel), sodass ein höherer realer Wert in der Zukunft gegenüber der Gegenwart auch nach der Normalisierung höher ist. Anschließend wurden die normalisierten Werte in acht Klassen geteilt.

[9] Als Gewissheit wird in Anlehnung an IPCC (2007) der Grad des Vertrauens in die Ergebnisse bezeichnet.

diese eine geringe, mittlere oder hohe Bedeutung für Deutschland haben kann. Die Beurteilung, wie bedeutend die Klimawirkung für Deutschland ist, erfolgte für die Gegenwart und für die nahe Zukunft für die Szenarien starker und schwacher Wandel. Für die ferne Zukunft wurde ausschließlich auf Basis der Klimamodellergebnisse beurteilt, wie stark sich die Klimasignale, und damit die dadurch beeinflussten Klimawirkungen, zwischen der nahen und fernen Zukunft verändern können.

Ebenfalls durch Experteninterviews wurden die heute abschätzbaren Anpassungskapazitäten ermittelt, die zukünftig dabei helfen können, die Vulnerabilität des Klimawandels zu verringern, wenn sie für die Anpassung eingesetzt werden. Es wurde nicht die Anpassungskapazität pro Klimawirkung sondern die handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität eingeschätzt. Diese 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, nicht die tatsächlich vorhandenen wirtschaftlichen und technischen Kapazitäten und Möglichkeiten der Ressorts, bestimmter Institutionen oder einzelner Akteure berücksichtigt.** Auch ließ sich nur für die nahe Zukunft eine Einschätzung der Anpassungskapazität vornehmen. **Die Vulnerabilität eines Handlungsfeldes ergibt sich aus der Zusammenfassung der im Netzwerk durchgeführten Bewertung der Bedeutung der Klimawirkungen dieses Handlungsfeldes abzüglich der handlungsfeldspezifischen Anpassungskapazität. Die Aussage zur Vulnerabilität eines Handlungsfeldes beruht daher auf einer sehr starken Zusammenfassung von Bewertungen und Erkenntnissen unterschiedlicher Qualität und ist daher eine eher grobe Abschätzung.**

Zusätzlich wurden die Anpassungskapazitäten der Raumordnung und des Bevölkerungsschutzes untersucht. Beim Handlungsfeld Raumordnung konnte gezeigt werden, wie stark die formelle Regionalplanung bereits das Thema „Anpassung an den Klimawandel“ berücksichtigt. Es war nicht möglich den Stand beim Bevölkerungsschutz in vergleichbarer Weise darzustellen, da eine entsprechende Datenlage (aufgrund subsidiärer Strukturen und mangels entsprechender Auskunftspflichten) auf Bundesebene nicht verfügbar ist.

Durch eine handlungsfeldübergreifende Auswertung der bedeutenden Klimawirkungen wurden die räumlichen und thematischen Schwerpunkte des Klimawandels bestimmt. Auf Basis einer Analyse der Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Handlungsfeldern wurden sechs Cluster gebildet. Die Wechselbeziehungen bilden Kaskadeneffekte ab, d.h. dass Klimawirkungen in einem Handlungsfeld zu Klimawirkungen in einem anderen Handlungsfeld führen, oder berücksichtigen, dass sich Klimawirkungen in verschiedenen Handlungsfeldern gleichen.

2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Handlungsfelder

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.

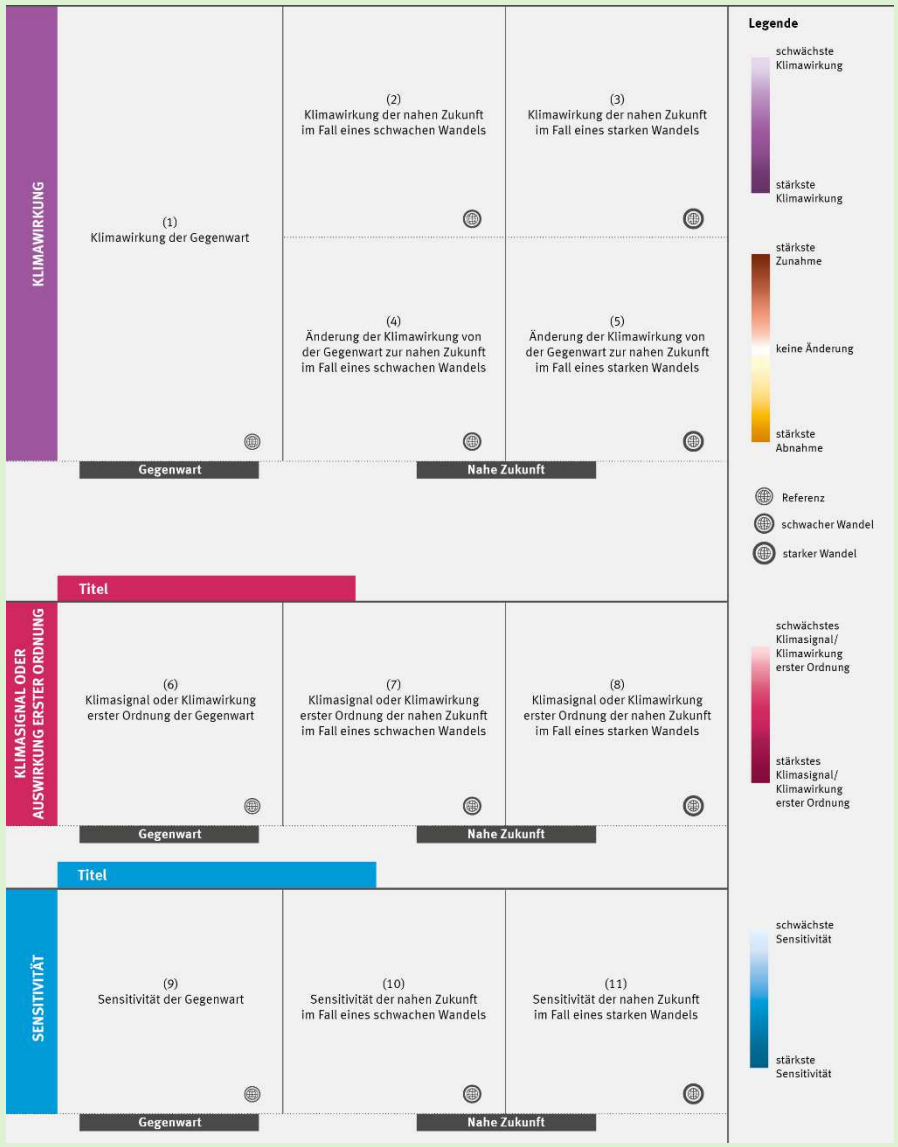
Im folgenden Kapitel werden für jedes Handlungsfeld die Auswirkungen des Klimawandels dargestellt und die Vulnerabilität des Handlungsfeldes hergeleitet.

Die Unterkapitel zu den Handlungsfeldern sind nach folgenden Punkten strukturiert:

- zentrale klimatisch bedingte Ursachen (Klimasignale), die die jeweiligen Klimawirkungen im Handlungsfeld beeinflussen,
- handlungsfeldspezifische Faktoren, die bestimmen, wie stark der Klimawandel die Klimawirkungen im jeweiligen Handlungsfeld beeinflusst (Sensitivität),
- Stärke und - soweit möglich - räumliche Verteilung der heutigen und zukünftigen Ausprägungen der untersuchten Klimawirkungen des Handlungsfeldes,
- Bedeutung der Klimawirkungen für die Gegenwart und Zukunft,
- Anpassungskapazität im Handlungsfeld, also seine Möglichkeiten, mit den Folgen des Klimawandels zukünftig umzugehen, sowie
- Vulnerabilität des Handlungsfeldes in naher Zukunft unter Berücksichtigung der Bedeutung der Klimawirkungen und der Anpassungskapazität.

In jedem Absatz werden die dort dargestellten Klimawirkungen unterstrichen. Für Klimawirkungen, die auf Indikatoren oder Wirkmodellen basieren, werden am Ende jedes Handlungsfeldes ausgewählte Ergebnisse in Kartenform wiedergegeben. Dies vermittelt einen Eindruck der räumlichen Muster der Klimawirkungen. Gleichfalls in Kartenform werden die Klimasignale und die Sensitivität dargestellt (siehe Abbildung 3), um einen Eindruck der Stärke und räumlichen Muster der wichtigsten Einflussfaktoren auf das Gesamtergebnis zu erhalten.

Abbildung 3: Erläuterungen zu den Karten der Klimawirkungen



Die Kartenblätter zu den berechneten Klimawirkungen bestehen in der Regel aus elf Karten: Im oberen Teil des Kartenblattes ist die Klimawirkung dargestellt (Farbe: Lila). Die große Karte links zeigt die **Klimawirkung der Gegenwart/Referenzperiode (1)**. In der Mitte und rechts oben ist die **Klimawirkung der nahen Zukunft im Falle eines schwachen Wandels (2) und eines starken Wandels (3)** abgebildet. Direkt darunter befinden sich Karten, die jeweils die **Änderung der Klimawirkung von der Gegenwart zur nahen Zukunft (4 und 5)** abbilden.

Die Karten im mittleren und unteren Teil des Kartenblattes stellen die Berechnungsgrundlage der Klimawirkung dar. Zunächst wird im mittleren Teil das Klimasignal oder die Klimawirkung erster Ordnung abgebildet (Farbe: Rot). Klimasignale bilden rein klimatische Parameter ab. Sie können aus mehreren Parametern zusammengesetzt sein (zum Beispiel eine Kombination aus heißen Tagen und Tropennächten), dann wurden die Parameter auf einer Skala von null bis eins normalisiert und pro Landkreis additiv zusammengeführt. Klimawirkungen erster Ordnung sind Klimawirkungen anderer Handlungsfelder, die hier als Klimasignal fungieren und auch nicht-klimatische Parameter berücksichtigen, etwa Hochwasser. Das **Klimasignal beziehungsweise die Klimawirkung erster Ordnung wird für die Gegenwart (6) und die nahe Zukunft im Fall eines schwachen (7) oder starken (8) Wandels** abgebildet.

Ähnlich verhält es sich mit der Sensitivität. Die Karten dazu sind im unteren Teil des Kartenblattes dargestellt (Farbe: Blau). Auch hier können ein oder mehrere additiv verschnittene Parameter kartiert sein, und es wird zwischen der **Sensitivität der Gegenwart (9) und der nahen Zukunft im Fall eines schwachen (10) oder starken (11) Wandels** unterschieden. Welche Daten als Sensitivität und Klimasignal/Klimawirkung erster Ordnung verwendet wurden, zeigen die Titel über den jeweiligen Karten. Für Klimawirkungen, die über Modelle operationalisiert wurden, werden keine Karten zur Berechnungsgrundlage gezeigt.

Wenn für Sensitivität und Auswirkung erster Ordnung genaue Informationen zu Lage und Ausbreitung (Geodaten) vorlagen, werden diese in den Karten dargestellt. In der Regel werden Sensitivitäten und Klimasignale/Auswirkungen erster Ordnung jedoch normalisiert, das heißt dimensionslos (siehe Kapitel 1), abgebildet. Klimawirkungen wurden immer normalisiert.

Die **Normalisierung** erfolgte jeweils über die Gegenwart und die nahe Zukunft (beide Szenariokombinationen), um die Änderung mit der Zeit darstellen zu können. Alle Klimasignale, Sensitivitäten und Klimawirkungen wurden auf einer achtstufigen Skala abgebildet. Die Klasse mit der dunkelsten Farbe zeigt jeweils die höchste Sensitivität oder Klimawirkung beziehungsweise das stärkste Klimasignal. Die Klasse mit dem hellsten Farbton entspricht dem geringsten Klimasignal beziehungsweise der geringsten Sensitivität und Klimawirkung. Die Änderungskarten weisen Abnahmen und Zunahmen der Klimawirkung zwischen der Gegenwart und der nahen Zukunft in verschiedenen Farben aus. Bei einer Änderung von nur einer Klasse wird keine Änderung angezeigt.

Die Abschnitte zu den Handlungsfeldern werden jeweils von einer Überblickstabelle abgeschlossen. Die Tabellen benennen die einflussreichsten Klimasignale (siehe Tabelle 1) 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 (siehe Kapitel 1). 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 Klimaprojektionen (siehe Kapitel D1) und KLIWAS[10].

Tabelle 1: Symbole der Klimasignale und ihre Bedeutung

Symbol	Bedeutung	Symbol	Bedeutung	Symbol	Bedeutung
	Temperatur		Seegang		Schnee
	Niederschlag		Sturmflut		Starkregen
	Extremereig-nisse		Trockenheit		Flusshochwas-ser
	CO_2-Konzentration		Globaler Kli-mawandel		Hitze
	Meeresspiegel-anstieg		Wind		Ozon-konzentration

2.1 Handlungsfeld „Boden“

Viele entscheidende biologische, chemische oder physikalische Prozesse im Boden werden durch das Klima beeinflusst. Der Klimawandel wirkt sich daher unmittelbar auf den Boden aus, beispielsweise auf den Bodenwasserhaushalt, den Bodenstoffhaushalt oder die Bodenerosion. Besonders die Mittel- und Extremwerte von Temperatur und Niederschlag sowie die jährlichen Wetterverläufe sind für viele Prozessabläufe im Boden maßgeblich.

Wichtige Funktionen besitzt der Boden als Lebensraum für Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen, als Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen. Darüber hinaus besitzt der Boden als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung eine zentrale Funktion. Art und Bedeckung der Boden sowie die Bodennutzung beeinflussen entscheidend, wie stark der Klimawandel auf den Boden wirkt.

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

Als Indikatoren für die Veränderung des Bodenwasserhaushaltes dienen die effektive klimatische Wasserbilanz[11] der Hauptvegetationsperiode und die Sickerwasserrate. Beide Größen sind in Deutschland größtenteils positiv. Allerdings haben sich beide Indikatoren bereits unter den gegenwärtigen Klimaveränderungen verändert, insbesondere im nordostdeutschen Tiefland und in wärmebegünstigten Niederungen. Diese Gebiete weisen bereits heute eine phasenweise negative Wasserbilanz und eine phasenweise geringe bis gänzlich fehlende Grundwasserneubildung auf. Bei einem trockenen Klimaszenario würde sich in der nahen Zukunft dieser Effekt auf Regionen in Rheinland-Pfalz, Hessen und Nordbayern ausweiten. Die stärksten Auswirkungen wären auf Flächen mit sandigen Böden mit einer typisch geringen Wasserspeicherkapazität zu erwarten. Zudem würde das bei einem trockenen Klimaszenario verringerte Wasserdargebot in Mooren den Abbau organischer Substanz und damit die Freisetzung von Treibhausgasen beschleunigen

Die Böden Deutschlands sind bereits gegenwärtig durch Bodenerosion gefährdet. Wasser als Auslöser für Bodenerosion betrifft vor allem Hangbereiche in den deutschen Mittelgebirgen sowie im Alpenvorland (siehe Abbildung 4). Wind hingegen kann besonders die Böden im norddeutschen Tiefland, an den Küsten sowie auf den Kammbereichen der Mittelgebirge beeinträchtigen (siehe Abbildung 5). Die Abbildungen spiegeln diese Klimawirkungen nur undeutlich wieder, da diese Prozesse sehr kleinräumig differenziert stattfinden. In naher Zukunft kann sich die Bodenerosion durch Wasser und Wind bei einem starken Wandel geringfügig verstärken. Hangrutschungen finden in Deutschland – außer in den Alpen und in einigen Gebieten der Mittelgebirge – aufgrund der meist ausreichenden Vegetationsbedeckung - bislang eher selten statt. In naher Zukunft wird eine verstärkte Wassersättigung der Böden im Frühjahr nach der Schneeschmelze erwartet; dies kann in gebirgigen Regionen zu größeren Hangrutschungsgefährdungen führen. Im Hochgebirge werden darüber hinaus durch das Schmelzen der Gletscher Hänge instabil, was ebenso die Gefahr einer Hangrutschung erhöht.

Die organische Substanz in Böden steht in enger Verbindung mit der Qualität und Menge von ober- und unterirdischer Streu. Streu (als Nahrung für Bodentiere und Mikroorganismen), Bodenklima und Substrateigenschaften der Böden bestimmen, wie die organische Substanz durch mikrobielle Aktivitäten oder chemisch verändert wird. Es wird erwartet, dass sich durch den projizierten Anstieg der Lufttemperaturen die an die bodenorganische Substanz gebundenen Prozesse beschleunigen. In naher Zukunft wird sich der Gehalt an organischer Bodensubstanz daher vor allem dort abnehmen, wo die Bodentemperatur deutlich steigt und gleichzeitig organische Substanz leicht abbaubar vorliegt. Diese Bedingungen treffen zum Beispiel auf sandige, primär humusarme Böden im nordostdeutschen Tiefland zu, andererseits auch auf humusreiche organische Böden in Norddeutschland. Je nach Produktivität der Vegetation und bei ausreichender Bodenfeuchte kann sogar mehr organische Substanz in Böden angereichert werden. Insgesamt betrachtet gilt, dass eine veränderte Bodennutzung eine wesentlich größere Rolle für die organische Bodensubstanz und den Stickstoff- und Phosphorhaushalt spielt, als heutige oder künftige Klimaänderungen.

Aus den hier dargestellten klimatischen Wirkungen ergeben sich Beeinträchtigungen der Produktionsfunktion des Bodens. Diese Funktion ist das Ergebnis vielfältiger Bodeneigenschaften und –prozesse, die von der Temperatur- und Feuchteverhältnissen sowie durch technische und fremdstoffbedingte Einwirkungen in Verbindung mit der Landnutzung gesteuert werden. Aufgrund des poten-

[11] Die **klimatische Wasserbilanz** kennzeichnet die Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Verdunstung (Evapotranspiration). **Die effektive klimatische Wasserbilanz** ist Bestandteil der Methode zur Abschätzung des ackerbaulichen Ertragspotentials, bemessen nach dem Müncheberger Soil Quality Rating (SQR). Dabei werden neben rein klimatischen Standorteigenschaften auch bodenkundliche Kennwerte zum Bodenwasserspeicher berücksichtigt. Das bodenkundliche Wasserdargebot setzt sich aus der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum und dem mittleren kapillaren Aufstieg zusammen.

ziell häufigeren und längeren Auftretens sommerlicher Trockenperioden können insbesondere niederschlagsarme Gebiete und Gebiete mit sandigen Böden mit geringer Feuchtespeicherung in naher und insbesondere in ferner Zukunft durch Beeinträchtigungen der Produktionsfunktion des Bodens betroffen sein.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Alle analysierten Klimawirkungen auf den Boden sind bereits in der Gegenwart Realität. Für die nahe Zukunft wurden alle untersuchten klimatischen Auswirkungen bei einem starken Wandel als bedeutsam für Deutschland bewertet. Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt sind bereits heute in einigen Regionen Deutschlands deutlich feststellbar. Beim Szenario „starker Wandel“ kann es in naher Zukunft zu signifikanten Trockenheitseffekten kommen (mittlere bis hohe Gewissheit). Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Bodenaktivität (geringe Gewissheit) sowie die organische Bodensubstanz und den Stoffhaushalt (geringe Gewissheit) werden bereits für die Gegenwart und für die nahe Zukunft angenommen. Erwartet wird, dass sich bei einem weiteren Temperaturanstieg und der damit verbundenen zunehmenden Trockenheit viele Prozesse im Boden bis zum Ende des Jahrhunderts stark ändern.

Der Boden ist als Ressource für verschiedene andere Handlungsfelder entscheidend. Er steht insbesondere zu den Handlungsfeldern Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Biologische Vielfalt in enger Wechselwirkung. Ohne Berücksichtigung der Veränderungen in den anderen Handlungsfeldern ist eine allgemeine Einschätzung der Anpassungsfähigkeit des Handlungsfelds Boden schwierig, da die Fähigkeit zur Anpassung auch stark von der Bodennutzung abhängt. Die Anpassungskapazität des Handlungsfelds „Boden“ wird insbesondere mit Blick auf die Bodennutzung als mittel eingestuft.

Vulnerabilität

Unter Berücksichtigung der mittleren Anpassungskapazität ergibt sich für das Handlungsfeld Boden eine mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

Tabelle 2 fasst die Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden zusammen.

Abbildung 4: Klimawirkung „Bodenerosion durch Wasser“ basierend auf Modellergebnissen zu „Potenzielle Erosionsgefährdung der Ackerböden durch Wasser“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

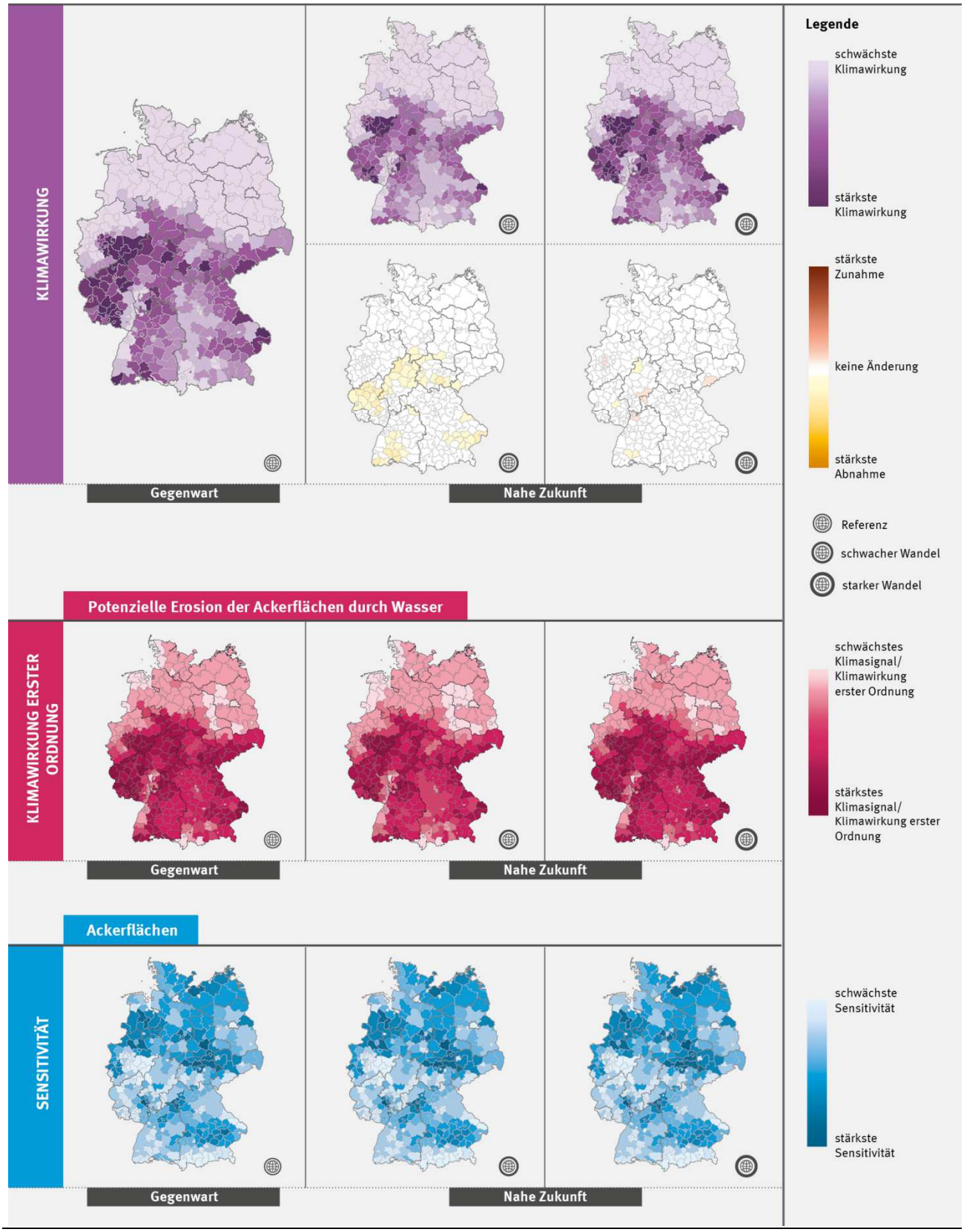


Abbildung 5: Klimawirkung „Bodenerosion durch Wind“ basierend auf Modellergebnissen zu „Potenzielle Erosionsgefährdung der Ackerböden durch Wind“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

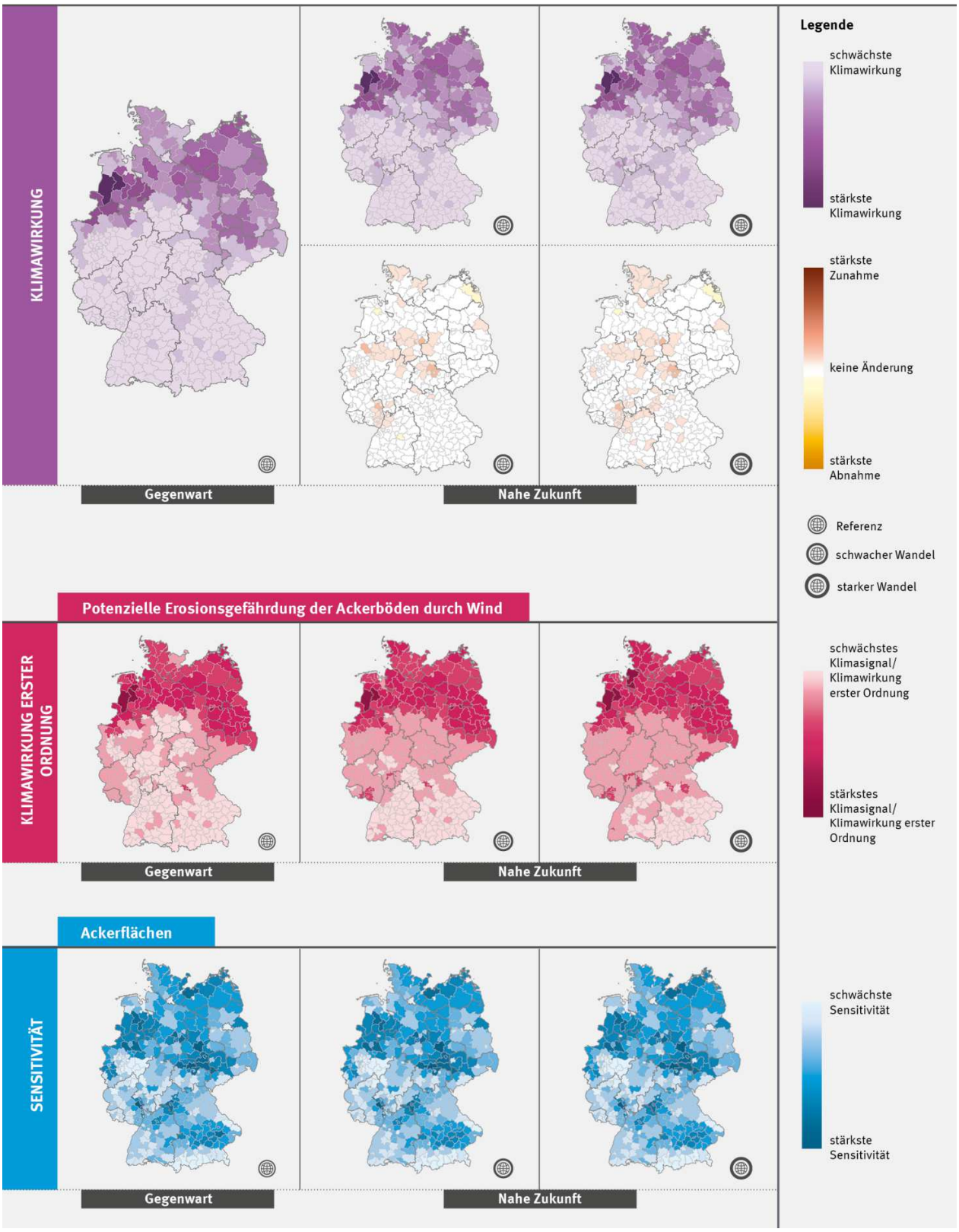


Tabelle 2: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Boden“

Boden

Zentrale Klimasignale:	Temperatur, Trockenheit, Niederschlag, Extremereignisse
Zentrale Sensitivitäten:	Bodenart und Bodenstruktur, Bodenbedeckung und -nutzung, Bodenfeuchte und Hangneigung
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:	mittel

Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit / Analysemethode
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 / 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 / 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

2.2 Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“

Änderungen bei Temperatur und Niederschlag sowie die Zunahme extremer Wetterereignisse, 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. Dies wiederum hat Folgen für alle Ebenen der Biodiversität: erstens Vielfalt der Ökosysteme (dazu gehören Lebensgemeinschaften, Lebensräume und Landschaften), zweitens die Vielfalt von Arten und Populationen und drittens die genetische Vielfalt innerhalb der Arten.

Je nach Habitatanspruch und Anforderungen der Arten, wirkt sich der Klimawandel sehr unterschiedlich auf die einzelnen Arten bzw. Artengruppen aus. Jene, die in Deutschland ihre südliche Verbreitungsgrenze haben, werden voraussichtlich stärker betroffen sein, ebenso wie Arten mit be-

sonderen Ansprüchen an Habitate (beispielsweise Amphibien, montane/alpine Arten, Singvögel). Neben dem Klimawandel wirken zahlreiche weitere Faktoren wie Landnutzung, speziell intensive Formen der Landbewirtschaftung, Fragmentierung der Landschaft durch Verkehrswege und Siedlungsflächen, Eutrophierung, Lebensraumverlust etc. auf die Biodiversität ein.

Invasive[12]Arten verändern und beeinträchtigen viele naturnahe Ökosysteme. Zudem stehen sie in Konkurrenz zu Arten, die natürlich in Mitteleuropa vorkommen. Aktuell ergeben sich in einer Modellstudie[13] für 30 ausgewählte invasive Arten beziehungsweise potenziell invasive Arten vor allem Schwerpunktgebiete in den großen Ballungsgebieten, im mitteldeutschen Trockengebiet (vorrangig in Sachsen-Anhalt) und im Vorland des Erzgebirges. In naher Zukunft ist damit zu rechnen, dass sich invasive Arten verstärkt etablieren und ausbreiten (siehe Abbildung 6). Dies wiederum korreliert erkennbar mit dem Temperaturanstieg. Somit kann die Ausbreitung gegen Ende des Jahrhunderts mit steigender Temperatur erheblich zunehmen.

Wahrscheinlich ist weiterhin, dass sich – im Zuge des Klimawandels – die klimatische Komponente der Areale von Arten verschieben. Durch diese Verschiebung kann es, je nach klimatischen Ansprüchen einer Art sowohl zu einer Verkleinerung der Areale wie auch zu einer Ausdehnung der Areale kommen. Bezogen auf Gefäßpflanzenarten finden sich artenreichere Gegenden derzeit vor allem in den Alpen, im Alpenvorland, in den süddeutschen und zentralen Mittelgebirgen sowie im Erzgebirge. In naher Zukunft kann es durch die Verschiebung von Arealen lokal zu Artenverlusten von heute dort auftretenden Arten kommen, wie in Ostdeutschland und im Rheintal. Zugleich ist es möglich, dass als Folge des Klimawandels sich bisher nicht in einer Raumeinheit vorkommende Arten neu ansiedeln können. Dies gilt insbesondere für Süddeutschland und die zentralen Mittelgebirgsregionen. Da die Verschiebung der Areale von Arten maßgeblich durch die Temperatur bestimmt wird, ist anzunehmen, dass sich gegen Ende des Jahrhunderts der Artenumbau deutlich fortsetzt. Bei einem starken Wandel in ferner Zukunft würde der durchschnittliche Artenverlust stark steigen, wie Modellrechnungen zeigen.

Die Klimawirkung auf Biotope und Habitate kann im Falle einer starken Erwärmung verbunden mit einem Rückgang der Sommerniederschläge zu einer Beeinträchtigung von wassergebunden Biotopen führen. Hier sind vor allem kleinere Biotope, wie Moore, Tümpel und kleine Fließgewässer, mit geringem Pufferpotential betroffen. Indirekt können Biotope und Habitate stark durch eine Intensivierung der Landnutzung beeinträchtigt werden, die insbesondere durch den Anbau von Energiepflanzen im Zuge von Klimaanpassungsmaßnahmen stattfindet.

Als Ökosystemleistungen gelten direkte und indirekte Beiträge der Ökosysteme für das wirtschaftliche, materielle, gesundheitliche oder psychische menschliche Wohlergehen. Derzeit sowie bei einem schwachen Wandel bis zur Mitte des Jahrhunderts dürften die meisten Ökosystemleistungen nur gering vom Klimawandel betroffen sein. Auch wenn einzelne Arten gefährdet sind und es zu Artenverschiebungen kommen kann, bleiben die wichtigsten Ökosystemleistungen wahrscheinlich weiter gewährleistet. Stärker betroffen können Ökosystemleistungen mit engem Bezug zu Wasser und Boden, wie die wasserregulierende Funktion oder die CO_2-Senkenfunktion von Mooren (Pufferfunktion), sein. Bei einem starken Wandel bis zur Mitte des Jahrhunderts sowie in ferner Zukunft kann die Veränderung von Ökosystemleistungen insgesamt an Bedeutung zunehmen. Zum Beispiel leisten

[12] Invasive Arten sind gebietsfremde Tier- oder Pflanzenarten, die unerwünschte Auswirkungen auf andere Arten, Lebensgemeinschaften oder Biotope haben und auch oft ökonomische oder gesundheitliche Probleme verursachen (Quelle: Bundesamt für Naturschutz 2015).

[13] Kleinbauer, Ingrid; Dullinger, Stefan; Klingenstein, Stefan; May, Rudolf; Nehring, Stefan; Essl, Franz (2010): BfN Skript 275: Ausbreitungspotenzial ausgewählter neophytischer Gefäßpflanzen unter Klimawandel in Deutschland und Österreich. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

intakte Auengebiete als Ökosysteme im Hochwasserschutz wichtige Dienste. Insgesamt sind räumliche Schwerpunkte nicht spezifizierbar.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Bei einem starken Wandel können sich invasive Arten mit erheblichen negativen Folgen für natürlich vorkommende Arten und Ökosysteme bereits in naher Zukunft stärker als bisher ausbreiten (mittlere bis hohe Gewissheit). Den anderen ausgewählten Klimawirkungen auf die biologische Vielfalt wird eine mittlere Bedeutung für Deutschland für die nahe Zukunft bei einem starken Wandel beigemessen. Alle Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt können sich in der fernen Zukunft insbesondere durch einen weiteren Anstieg der Temperatur erheblich verstärken.

Die Möglichkeiten der Menschen, auf die natürliche Anpassung Einfluss zu nehmen, werden im Bereich invasiver Arten und Verschiebung von Arealen als eher gering eingeschätzt. Biotopvernetzung und die Schaffung und das angepasste Management von Schutzgebieten sind wichtige Instrumente für den Erhalt der Biologischen Vielfalt gerade auch unter sich wandelnden Klimabedingungen, weitere Anstrengungen sind aber notwendig, um den Artenwandel aufzuhalten. Zugleich erschweren Zielkonflikte etwa mit der Landwirtschaft oder der Verkehrsplanung das Einleiten wirksamer Anpassungsmaßnahmen. Bei den Ökosystemleistungen werden dagegen die Möglichkeiten, die natürliche Anpassung an den Klimawandel durch Maßnahmen zu unterstützen, als mittel bis hoch eingeschätzt.

Vulnerabilität

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Anpassungskapazität ergibt sich im Hinblick auf die Ausbreitung invasiver Arten sowie auf die Verschiebung der Vorkommen von Lebensräumen und Arten eine hohe bis mittlere Vulnerabilität. Dagegen besteht bezüglich der Veränderung von Ökosystemleistungen eine geringere bis mittlere Vulnerabilität in naher Zukunft.

Tabelle 3 fasst die Auswirkungen des Klimawandels auf das Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ zusammen.

Abbildung 6: Klimawirkung „Ausbreitung invasiver Arten“ basierend auf Modellergebnissen für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

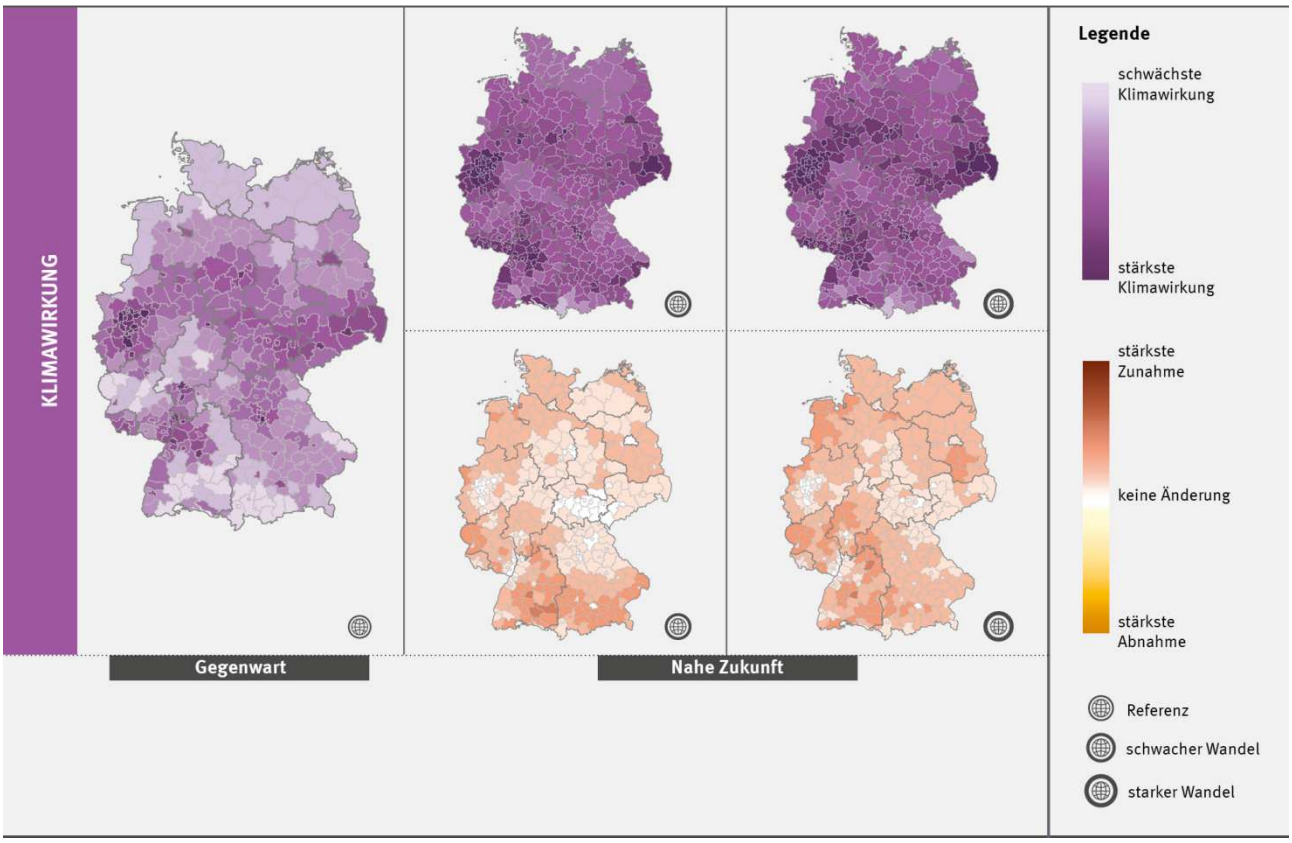


Tabelle 3: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“

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 bis hoch / Wirkmodell
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Areale von Arten	Niederschlag, Temperatur	Gegenwart		Mittel bis hoch / 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 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

2.3 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, beispielsweise durch Veränderungen der Agrophänologie oder das Auftreten von Hitze- und Frostschäden. Der kontinuierliche Anstieg der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre bringt zum Teil einen „düngenden“ Effekt auf die Pflanzenproduktion mit sich. Extreme Wetterereignisse können auch die Tiergesundheit beeinträchtigen.

Vor allem die angebauten Fruchtarten sowie die Beschaffenheit der Böden (Pedosphäre) bestimmen, wie stark der Klimawandel auf die Landwirtschaft wirkt. Die grobe räumliche Betroffenheit lässt sich durch den Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen in den jeweiligen Regionen abschätzen.

Eine bedeutende Klimawirkung im Handlungsfeld „Landwirtschaft“ ist die Verschiebung der agrophänologischen Phasen[14] (siehe Abbildung 7). Bereits heute haben steigende Durchschnittstemperaturen dazu geführt, dass die Wachstumsperiode vieler Nutzpflanzen früher beginnt und teilweise auch später endet. Bei einem schwachen Wandel ist in naher Zukunft insbesondere im Rheintal sowie im Südwesten Deutschlands ein noch früherer Vegetationsbeginn zu erwarten. Im Falle eines starken Wandels kann sich dieser Effekt auch auf Teile Bayerns ausweiten, die sich vergleichsweise stark erwärmen. Die zum Ende des Jahrhunderts prognostizierte Erwärmung kann dazu führen, dass sich die Wachstumsperioden noch weiter verlängern. Einige Kulturpflanzenarten (z.B. Zuckerrüben) sowie Grünland profitieren von längeren Wachstumsperioden, d.h. für die Landwirtschaft ist dies ein positiver Effekt. Allerdings kann sich durch die Verschiebung und Verlängerung der Wachstumsperiode auch die Gefahr von Frostschäden erhöhen, sowie die Qualität bestimmter Fruchtarten beeinträchtig sein.

Bislang beobachtete Schwankungen der landwirtschaftlichen Erträge beruhen im Wesentlichen auf klimatischen Einflüssen, wie etwa jährlich variierenden mittleren Temperaturen in den Hauptwachstumszeiten sowie Hitze- und Trockenperioden. Diese dürften sich im Zuge des Klimawandels weiter verstärken. Dabei zeigen sich deutliche regionale Unterschiede. So sind bisher beobachtete Ertragsschwankungen im Osten höher als im Westen Deutschlands. Ursache dafür ist die stärkere Reaktion auf Jahre mit wenig Niederschlag aufgrund der leichten, sandigen Böden im Osten, in Verbindung mit einem schon heute eher trockenen Klima.

Ob sich bei moderaten Temperaturerhöhungen die Wachstumsbedingungen verbessern, hängt von der ausreichenden Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode ab Steht nicht genügend Wasser zur Verfügung, können sich die Wachstumsbedingungen auch insgesamt verschlechtern. Bei Getreidearten, deren Entwicklung durch Temperatursummen bestimmt wird, kann eine Temperaturerhöhung zu einer Entwicklungsbeschleunigung führen, die die Kornfüllung beeinträchtigt und dadurch zu Ertragsverlusten führt. Bei den in Deutschland wichtigsten Nutzpflanzenarten, Silomais und Winterweizen, ist laut Modellergebnissen davon auszugehen, dass die Erträge konstant bleiben bzw. leicht zurückgehen können. Unter Annahme eines starken Wandels kann es zu Produktionsrückgängen in Nord- und Ostdeutschland kommen. Allerdings kann der Klimawandel für andere Sorten, etwa Körnermais, auch Erntegewinne mit sich bringen. Im Ausmaß ihrer Wirkung schwer einzuschätzen ist dabei die Wirkung des höheren CO_2-Gehaltes der Umgebungsluft. Zwar fördert ein höherer CO_2-Gehalt potenziell die Photosynthese, die Effizienz der Wassernutzung und damit den Zuwachs an Biomasse. In Abhängigkeit der Fruchtart und anderen Faktoren (Wasser- und Nährstoffversorgung) führt das aber nicht automatisch zu höheren Erträgen.

Hitzeschäden an derzeitig in Deutschland genutzten Arten betreffen vor allem nicht bewässerte Sommerkulturen mit Ertragsoptimum bei eher moderaten Temperaturen, wie Sommergetreide oder Zuckerrüben. Diese sind in der Gegenwart und der nahen Zukunft vor allem im Rheintal sowie in Ostdeutschland zu erwarten. Bei einem starken Wandel nimmt die Wahrscheinlichkeit von Hitzeschäden vor allem im Süden Deutschlands zu. Schäden durch Wechselfröste lassen sich heute und in der Mitte des Jahrhunderts bei schwachem Wandel vor allem im Alpenvorland und in Süddeutschland beobachten, würden bei einem starken Wandel aber deutschlandweit abnehmen.

Mildere Winter würden außerdem dazu beitragen, dass sich viele Schadorganismen stärker vermehren, ausbreiten und/oder mehrere Generationen ausbilden können und so die Wahrscheinlichkeit von Schäden durch Schädlingsbefall zunehmen kann. Auf der anderen Seite dürften sich auch die

[14] Agrophänologische Phasen bezeichnen die phänologischen Phasen von Agrarpflanzen. Phänologische Phasen sind hervorstechende Wachstumsstufe, zum Beispiel der Beginn der Blüte.

Bedingungen für Nützlinge verbessern. Wie ein neues Gleichgewicht zwischen Schädlingen und Nützlingen aussehen kann, ist weitgehend unbekannt.

Schäden durch Extremereignisse, wie Hagelstürme, sind für die landwirtschaftliche Produktion ebenfalls relevant. Häufen sich Schäden durch extreme Wetterereignisse, kann dies den hiesigen Agrarsektor belasten. Eindeutige Aussagen zu aktuellen oder zukünftigen Trends der Häufigkeit und Intensität solcher Ereignisse lassen sich jedoch nicht treffen.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Die Verschiebung der agrophänologischen Phasen und der Wachstumsperiode, mit teilweise positiven Effekten für die Landwirtschaft, ist bereits gegenwärtig bedeutsam für die landwirtschaftliche Praxis und wird voraussichtlich in naher und insbesondere in ferner Zukunft noch an Bedeutung gewinnen (mittlere bis hohe Gewissheit). Insgesamt sind negative Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft in Deutschland nur bei einem starken Wandel in naher Zukunft deutlich zu erkennen.

Der Agrarsektor in Deutschland ist insgesamt in der Lage, die künftigen klimabedingten Herausforderungen zu bewältigen. Für alle Klimaregionen sind geeignete Managementmaßnahmen (z.B. Bodenbearbeitung; Fruchtfolgegestaltung) vorhanden und es werden fortlaufend neue Sorten zur Verfügung gestellt. Da außerdem die Bewirtschaftungszeiträume in der Landwirtschaft meist kurz sind, kann sie voraussichtlich gut und auch kurzfristig auf veränderte Bedingungen reagieren. Allerdings gibt es möglicherweise auch Problemfelder. So können etwa in Teilen der Landwirtschaft die finanziellen Ressourcen fehlen, wobei Kredite hier eine Lösungsfunktion übernehmen können; teilweise fehlen auch die rechtlichen Rahmenbedingungen, um sich durch umfangreichere technische Maßnahmen (etwa Bewässerung) anzupassen.

Vulnerabilität

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

Eine Übersicht über die Auswirkungen des Klimawandels auf das Handlungsfeld „Landwirtschaft“ bietet Tabelle 4. Bei den Klimawirkungen Agrophänologische Phase und Wachstumsperiode sowie Ertrag können Klimaänderungen auch zu höheren Erträgen führen.

Abbildung 7: Klimawirkung „Agrophänologischer Phasen“ basierend auf einem Wirkmodell für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

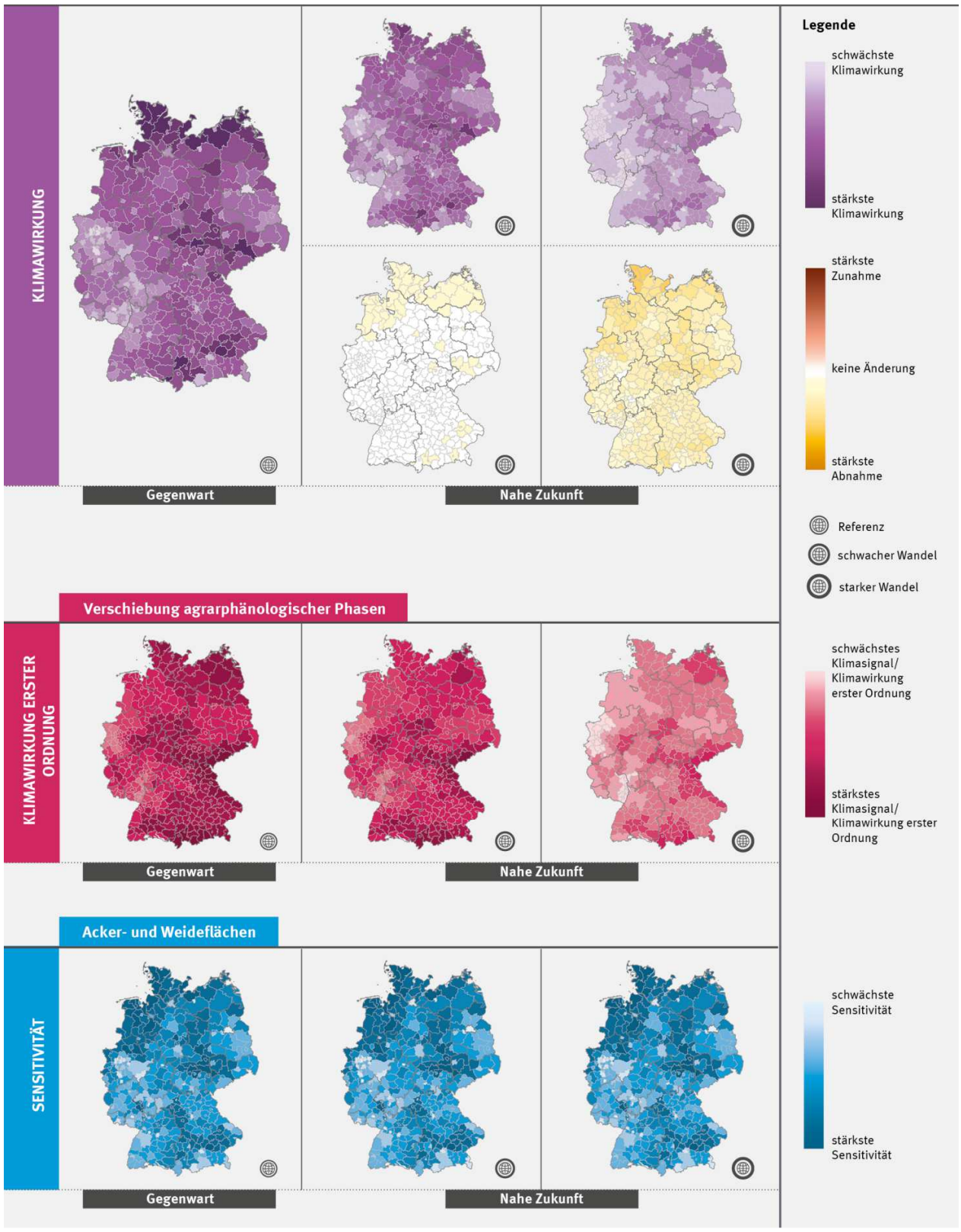


Tabelle 4: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Landwirtschaft“

Landwirtschaft

Zentrale Klimasignale:	Temperatur, Trockenheit, Niederschlag, Extremereignisse
Zentrale Sensitivitäten:	Fruchtarten (nicht bewässerte Sommerkulturen haben eine hohe Sensitivität), Bodenart (weniger fruchtbare, sandige Böden haben eine hohe Sensitivität)
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:	mittel bis hoch

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:
- gering
- mittel
- hoch

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

2.4 Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“

Die Wald- und Forstwirtschaft ist eng mit dem Wasser- und Nährstoffangebot der Böden verbunden. Die klimatischen und standörtlichen Bedingungen bestimmen das Spektrum möglicher Baumarten und deren Ertragspotenzial. Extremwetterereignisse wie Sturm können Wälder dauerhaft schädigen. Hitzewellen und Trockenheit können das Auftreten von Hitze- und Trockenstress, sowie von Waldbränden beeinflussen. Zudem kann der Temperaturanstieg dazu führen, dass sich die Baumartenareale nach Norden und in höhere Lagen verschieben. Das Auftreten von Schadorganismen, wie Borkenkäfern und Pilzkrankheiten, wird maßgeblich durch den Verlauf von Temperatur und Niederschlägen sowie der Länge der Vegetationsperiode bestimmt. Es ist für das Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“ eine besonders bedeutende Klimawirkung.

Die Standorteigenschaften, das Alter der Bäume und die Artenzusammensetzung beeinflussen entscheidend, wie stark der Klimawandel auf die Wald- und Forstwirtschaft wirkt. Für das Waldbrandrisiko spielen zudem die Bodenart und der Unterwuchs eine zentrale Rolle. Baumhöhen und Bestandsdichte sind wichtige Faktoren für potenzielle Schäden durch Wetterextreme. Unterschiedliche Einflüsse können sich gegenseitig verstärken. Eventuelle Vorbelastungen – etwa durch Trockenheit – haben bedeutendes Gewicht für Beeinträchtigungen durch Schadorganismen.

Schon heute zeigt sich klar, dass der Osten Deutschlands – besonders das südliche Brandenburg und das nördliche Sachsen – ein erhöhtes Waldbrandrisiko aufweist. Dieses ist besonders hoch in Kiefernwäldern. Eine entscheidende Rolle spielt die Kombination aus warmen, trockenen Sommern, sandigen Böden mit geringer Wasserrückhaltefähigkeit und einer entsprechend trockenen Streuauflage. Die Tage mit erhöhtem Waldbrandrisiko können bei einem starken Wandel bis zur Mitte des Jahrhunderts bundesweit um bis zu 50 Prozent zunehmen. Weitere betroffene Gebiete mit erhöhtem Waldbrandrisiko wären zusätzlich der Osten Niedersachsens, der Westen Sachsen-Anhalts, Teile von Rheinland-Pfalz sowie das Rheintal (siehe Abbildung 8).

Für Schäden durch Hitze- und Trockenstress sind besonders Trockenzeiten im Frühling kritisch, da für die Fruchtbildung ein hoher Wasserbedarf besteht, sowie im Sommer bei voller Belaubung bzw. Benadelung der Bäume und maximaler Transpirationsoberfläche. Am stärksten sind davon die Baumarten Buche und Fichte betroffen. Derzeit spielen Hitze- und Trockenstress für die gesunde Entwicklung der Wälder noch eine eher geringe Rolle. Es gibt lediglich Einzeljahre, die problematisch sind. Davon erholt sich der Wald jedoch rasch. Nur bei einem starken Wandel würden die Schäden deutlich zunehmen. Die regionalen Schwerpunkte für Schäden durch Hitze- und Trockenstress liegen im Südwesten und Osten Deutschlands.

Da die Temperatur das Waldbrandrisiko sowie den Hitze- und Trockenstress maßgeblich beeinflusst, dürfte dieses Risiko in ferner Zukunft weiter wachsen. Verstärkt wird dieses durch vermutlich abnehmende Sommerniederschläge.

Die Auswirkungen von Trockenheit deutscher Wälder auf die Nutzfunktion, wie die Erlöse aus der Holznutzung, zeigen sich in Berechnungen zur Veränderung der effektiven Wasserbilanz einzelner Baumarten. Für die Fichte kann die Wasserverfügbarkeit großräumig nicht mehr ausreichend sein, um gute Wachstumsbedingungen zu haben. Nur die Alpen und das Alpenvorland, der Schwarzwald und die höheren Lagen der Mittelgebirge würden nach dieser Berechnung noch günstige Bedingungen für die Fichte aufweisen. Auch der Großteil der Kiefer-Standorte würde in naher Zukunft als zu trocken gelten. Günstig würden die Bedingungen nur im Osten Bayerns, im Schwarzwald und im Harz bleiben. Mit am stärksten wäre die Buche betroffen. Hier können die Standorte entlang einer Achse von Rheinland-Pfalz über Hessen bis hin nach Ostdeutschland großflächig trocken oder sehr trocken werden (vor allem im Fall eines starken Wandels).

Schäden durch Schadorganismen können sowohl durch Schädlinge hervorgerufen werden, deren Ausbreitung vor allem an Vernässung und hohe Luftfeuchtigkeit gebunden ist (Pilzkrankheiten), als auch Schädlinge wie Insekten (Borkenkäfer), deren Ausbreitung eng mit der Temperaturerwärmung zusammenhängt. Bei einem starken Wandel ist in naher Zukunft mit einem potenziell deutlich früheren Borkenkäferbefall (5 bis12 Tage) zu rechnen. Auch Schäden durch Pilze (Wurzel- und Stammerkrankungen) können bei Laubbäumen zunehmen. Die räumlichen Schwerpunkte liegen in der Gegenwart und bei einem schwachen Wandel in naher Zukunft im Südwesten (Oberrheingraben), in Ostdeutschland (südliches Brandenburg, nördliches Sachsen) und im Osten Bayerns. Bei einem starken Wandel können weite Teile Deutschlands mit Ausnahme der höheren Mittelgebirge und Norddeutschlands von einer Zunahme des Befalls betroffen sein.

Schäden des Waldbestands durch Extremwetterereignisse werden vor allem durch Starkwind hervorgerufen. Die Anfälligkeit gegenüber Sturmschäden wird darüber hinaus auch durch den Aufbau und

die Zusammensetzung des Waldbestandes beeinflusst. Die Schäden fallen bereits in der Gegenwart zum Teil deutlich aus. Für die nahe Zukunft sind die Klimaprojektionen bezüglich Starkwinds sehr unsicher. Räumliche Schwerpunkte sind in der Gegenwart und vermutlich auch in naher Zukunft die Mittelgebirge und das Alpenvorland. Unter den Baumarten sind Fichtenreinbestände besonders von Schäden durch Extremwetterereignisse betroffen.

Die Temperaturerwärmung kann zu einer Veränderung der Baumartenzusammensetzung führen. Regionale Schwerpunkte sind sehr schwer abzuschätzen, da kleinräumige lokale Standortbedingungen und die Bewirtschaftung die Auswirkungen stark modifizieren können. Unter den Baumarten ist besonders die Fichte, aber auch die Buche betroffen. Baumarten wie Eiche und Tanne weisen eine geringere Empfindlichkeit gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels auf. Während in der Gegenwart nur eine geringe Betroffenheit festzustellen ist, kann die Veränderung der Baumartenzusammensetzung, vor allem bei einem starken Wandel, deutlich zunehmen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schutzfunktion der Wälder (Schutz vor Naturgefahren und Klimaschutz durch Kohlenstoffspeicherfähigkeit) sind in der Gegenwart und bei einem schwachen Wandel in naher Zukunft eher gering ausgeprägt, können bei einem starken Wandel allerdings zunehmen. Geschädigte Waldbestände können eine geringere Schutzfunktion gegenüber Naturgefahren bieten und die Kohlenstoffspeicherfunktion kann bei Schädigungen zurückgehen. Die räumlichen Schwerpunkte liegen für Naturgefahren in den Mittelgebirgen und im Alpenraum, bei der Kohlenstoffspeicherfunktion vor allem im Osten Deutschlands.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Für die Wald- und Forstwirtschaft lässt sich festhalten, dass bei einem starken Klimawandel in naher Zukunft alle betrachteten Funktionen und Prozesse deutlich unter dem Klimawandel leiden können. Da viele Klimawirkungen temperaturbeeinflusst sind, kann das Schadenspotential bis Ende des Jahrhunderts nochmals deutlich ansteigen. Dies betrifft insbesondere Nutzfunktionen, wie die Erlöse aus der Holznutzung, die bei einem starken Wandel erheblich zurückgehen können (mittlere bis hohe Gewissheit). Schäden durch Schadorganismen sind bereits heute mit einem deutlichen und in naher Zukunft hohen Gefahrenpotential behaftet (geringe Gewissheit). Das Schadgeschehen wird heute und voraussichtlich auch in naher Zukunft durch Sturmschäden dominiert.

Beim Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“ bestehen vielfältige Optionen, um sich an den Klimawandel anzupassen. Hier spricht man von passiver oder aktiver Anpassung, wobei Anpassungsoptionen entweder durch die Selbstregulation des Waldes oder durch menschliche Aktivitäten eröffnet werden. Dazu zählt respektive die Anpassung von Arten oder der Umbau von Wäldern, wie beispielsweise der Umbau von für die Holzproduktion angelegten Fichtenreinbeständen in Mischwälder. Im Gegensatz zu Fichtenreinbeständen sind Buchenwälder natürliche Reinbestände, die nicht durch Umbau unterstützt werden können. Die starke Streuung des Waldbesitzes fordert den Einsatz einer Vielzahl von Maßnahmen, die den unterschiedlichen Besitzformen, Managementstrategien und Flächengrößen gerecht werden. Zu den begrenzenden Faktoren gehören insbesondere die hohen Kosten eines Waldumbaus, die langen Anpassungszeiten sowie ein potenzieller Interessenskonflikt zwischen Aktivitäten zugunsten der forstlichen Produktion und dem Naturschutz. Insofern werden die Möglichkeiten zur Anpassung als mittel eingeschätzt.

Vulnerabilität

Für die Wald- und Forstwirtschaft ergibt sich aufgrund der bereits heutigen Betroffenheit sowie der langen Anpassungszeiten eine mittlere bis teilweise hohe Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

Tabelle 5 fasst die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wald- und Forstwirtschaft zusammen.

Abbildung 8: Klimawirkung „Waldbrandrisiko“ basierend auf einem Wirkmodell für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

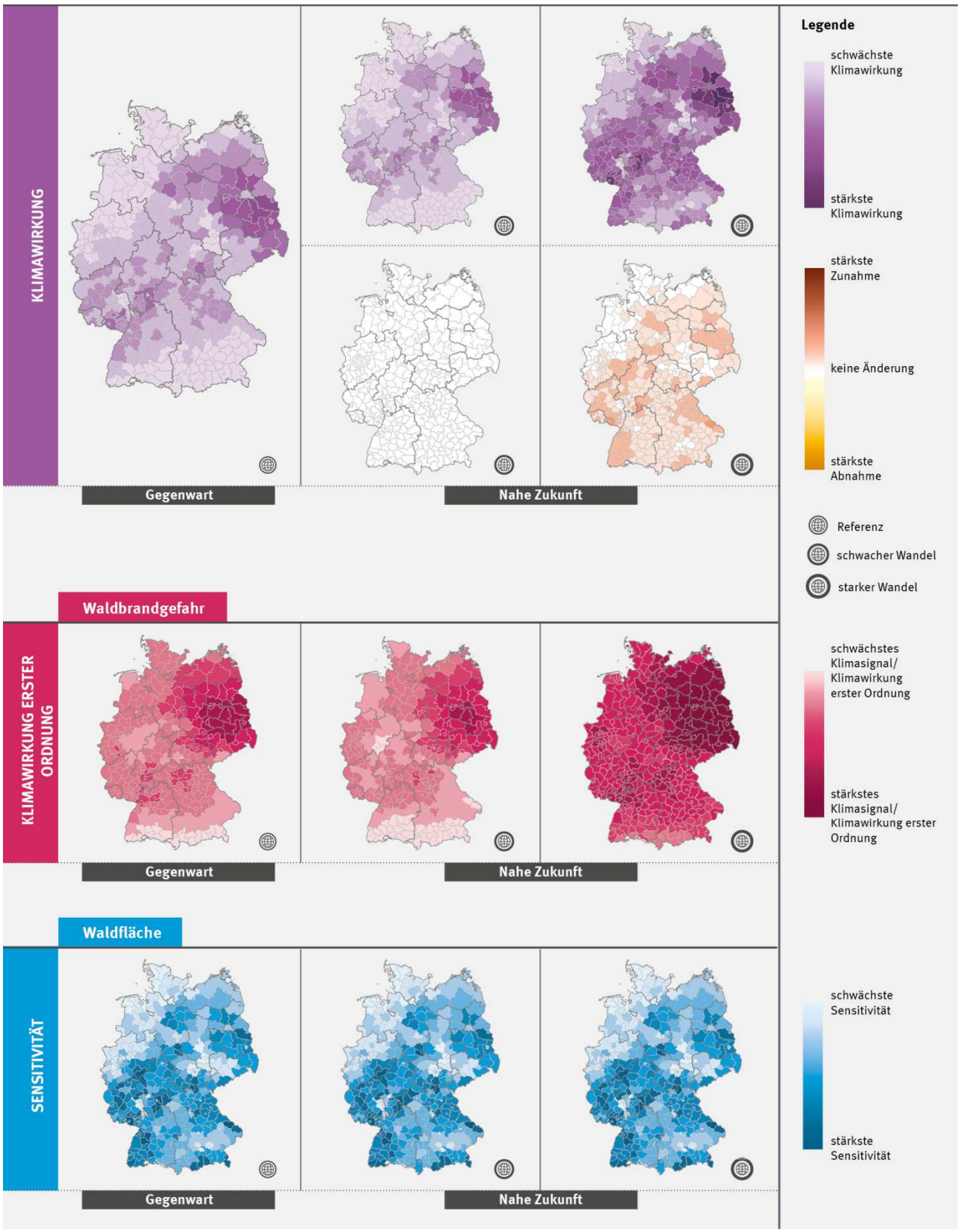


Tabelle 5: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“

Wald- und Forstwirtschaft

Zentrale Klimasignale:	Temperatur; CO_2-Konzentration; Niederschlag; Extremereignisse
Zentrale Sensitivitäten:	Baumartenzusammensetzung, Alter der Bäume; Bestandsdichte, Baumhöhe; Bodenart und Unterwuchs; Eventuelle Vorschäden; Anteil der forstwirtschaftlichen Fläche pro Landkreis
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:	mittel

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 bis hoch / 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 bis hoch / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Waldbrandrisiko	Feuchtigkeit, Hitze, Niederschlag, Temperatur, Trockenheit, Wind	Gegenwart		Mittel bis hoch / 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:
- gering
- mittel
- hoch

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

2.5 Handlungsfeld „Fischerei“

Klimatische bedingte Änderungen von Temperatur, Niederschlag und CO_2-Konzentrationen beeinflussen die Strömungssysteme beziehungsweise die Durchmischung und den Wasserstand sowie den Zustand der Gewässer. All dies wirkt sich wiederum auf die Artenzusammensetzung aus, auf die Reproduktion, Wachstum und Sterblichkeit der Fischbestände sowie deren Fangbedingungen.

Erhöht sich der Meeresspiegel und nehmen damit Sturmfluten zu, vergrößert sich die Gefahr, dass küstennahe Produktionsstätten und -ketten überflutet werden (s. Handlungsfeld Bauwesen, Küste, Industrie und Gewerbe), und Schäden an Aquakulturen entstehen. Durch eine Zunahme an Sturmereignissen und des Seegangs können sich die Fangbedingungen auf dem Meer verschlechtern.

Wie stark sich der Klimawandel auf die Fischereiwirtschaft auswirkt, hängt unter anderem davon ab, welche Arten gefangen beziehungsweise gezüchtet werden, wie hoch die Fangzahlen sind und wie stark die Eutrophierung[15] der Gewässer ist. Ein nachhaltiges ökosystemgerechtes Fischereimanagement kann die Widerstandsfähigkeit (Resilienz) von Fischbeständen gegen die Auswirkungen des Klimawandels deutlich erhöhen. Fischbestände, die nachhaltig bewirtschaftet werden und Biomassen aufweisen, die oberhalb des Maximalen Nachhaltigen Ertrags (Maximum Sustainable Yield), liegen, weisen eine wesentlich höhere Resilienz gegenüber dem Klimawandel auf, als überfischte Bestände, die sich in einem schlechten Erhaltungszustand befinden. Sie sind in Abhängigkeit von der Intensität des Klimawandels stärker gefährdet.

Die folgenden Aussagen beziehen sich in erster Linie auf die Seefischerei. Doch auch die Binnenfischerei kann vom Klimawandel betroffen sein, etwa durch eine eingeschränkte Wasserverfügbarkeit und -qualität oder durch zunehmende Extremwetterereignisse mit Stoffeintrag in Becken und Teiche. Hier besteht Forschungsbedarf, um die Klimawirkungen und Anpassungsmöglichkeiten genauer bestimmen zu können.

Insbesondere die Erhöhung der Wassertemperatur und die Abnahme des Sauerstoffgehalts, der sich vor allem in Gewässern mit wenig Seegang auswirkt, können die Artenzusammensetzung im Meer verändern. Heimische Fischarten wandern in nördlichere Gewässer ab und wärmeadaptierte Fischarten rücken aus südlicheren Regionen nach. Ein schwacher Wandel in naher Zukunft würde nur geringfügig das Auftreten solcher gebietsfremden Arten fördern. Allerdings kann sich diese Entwicklung bei einem starken Wandel verstärken. Da die Temperatur der Hauptfaktor für die Artenverschiebung ist, wächst mit dem Klimawandel bis zum Ende des Jahrhunderts die Wahrscheinlichkeit, dass gebietsfremde Arten zunehmen beziehungsweise sich die Artenspektren verändern. Eine Erhöhung des Salz- und Säuregehalts des Meers kann dazu führen, dass das Artenspektrum dezimiert wird. So wird die Versauerung der Meere durch höhere CO_2-Gehalte, vermutlich bereits in den nächsten 20 Jahren, die Bestände vieler mariner Arten beeinflussen. Hinzu kommt, dass die Temperatur auch das Wachstum, die Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen steuert. Dadurch können die Bestände heimischer Fischarten in ferner Zukunft zusätzlich reduziert werden.

Tritt bereits in naher Zukunft ein starker Wandel auf, dürften veränderte Fangbedingungen erheblich im gesamten Küstenraum an Bedeutung gewinnen. Neben einer Veränderung der Sensitivität (beispielsweise steigende Treibstoffkosten, höhere Anforderungen an zertifizierte Fischereiprodukte) ist dies auf die räumliche Verschiebung der Fischpopulationen und veränderte Seegangsbedingungen zurückzuführen. Von den veränderten Fangbedingungen können vor allem kleinere und mittlere Betriebe negativ betroffen sein.

[15] Eutophierung bezeichnet eine durch menschliche Aktivitäten verursachte Anreicherung des Wassers mit Nährstoffen. Dies bewirkt ein beschleunigtes Wachstum von Algen und höheren Formen pflanzlichen Lebens (Quelle: Umweltbundesamt 2015).

Die Temperatur ist eine wesentliche klimatische Einflussgröße auf potenzielle Schäden an Aquakulturen. Viele Fischarten, zum Beispiel Lachs, benötigen kaltes Frischwasser für die Aufzucht und sind von steigenden Temperaturen beeinträchtigt. Steigende Wassertemperaturen können sich insbesondere in Gewässern, die durch Eutrophierung bereits vorbelastet sind, negativ auf Arten und Lebensräume auswirken. Es ist daher davon auszugehen, dass in naher Zukunft bei einem schwachen Wandel die potenziellen Schäden an Aquakulturen zunehmen, zum Beispiel durch eine höhere Infektionsanfälligkeit der Aquakulturen. Dies würde sich bei einem starken Wandel und in ferner Zukunft vermutlich noch verstärken.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Bereits in naher Zukunft kann die Fischerei hinsichtlich aller untersuchten Auswirkungen deutlich vom Klimawandel beeinträchtigt werden. Bei einem starken Wandel können das Wachstum, die Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen sowie das Auftreten gebietsfremder Arten und die Änderung des Artenspektrums zu schwerwiegenden Veränderungen der Fischerei führen (alle geringe Gewissheit). Wenn die projizierte starke Veränderung des Meeres, hinsichtlich Wassertemperatur, Meeresspiegelanstieg, Strömungsveränderung, Seegangerhöhung, etc. eintritt, können alle betrachteten Klimawirkungen in ferner Zukunft noch erheblich verstärkt werden.

Die Möglichkeiten, sich an den Klimawandel anzupassen, werden für das Handlungsfeld „Fischerei“ als gering bis mittel eingestuft. Sie unterscheiden sich nach Betriebsgröße und regionalem Bezug. Größere Betriebe gelten als anpassungsfähiger als kleine. Außerdem ist es wahrscheinlich, dass Fischereibetriebe an der Ostsee stärker von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen wären als Fischereibetriebe im Nordseegebiet. Denn zum einen sind die dortigen Fischbestände anfälliger gegenüber einer Erhöhung der Wassertemperatur. Zum anderen bietet die Ostsee weniger Möglichkeiten, Fangverluste bestimmter Fischbestände durch andere Fischarten zu kompensieren. Dies kann dazu führen, dass Fischereibetriebe an der Ostsee mehr Anstrengungen zur Anpassung unternehmen müssen.

Vulnerabilität

Aufgrund der erwarteten klimabedingten Änderungen beim Fischbestand und der Artenverbreitung und -zusammensetzung sowie der geringen bis mittleren Anpassungskapazität ergibt sich für die Fischerei eine mittlere bis hohe Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

Tabelle 6 fasst die Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischerei zusammen.

Tabelle 6: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Fischerei“

Fischerei

Zentrale Klimasignale:	Temperatur; Meeresspiegel-anstieg; CO_2-Konzentration; Niederschlag; Seegang
Zentrale Sensitivitäten:	Fischarten, Fischbestände
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:	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, Meeresspiegel-anstieg, Niederschlag, Seegang, Temperatur	Gegenwart			Gering / 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

2.6 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 eine damit verbundene gute Nähr- und Sauerstoffsituation. Änderungen im Salzgehalt sowie Temperatur-, Strahlungs-, Niederschlags- und CO_2-Änderungen haben Einfluss auf die Wasserqualität und damit auf die Sterblichkeit von Fischbeständen, das Artenspektrum und die Verbreitung invasiver Arten (siehe Handlungsfeld Fischerei).

Für den Küstenschutz sind insbesondere ein steigender Meeresspiegel sowie Sturmfluten entscheidend. Bei erhöhtem Meeresspiegel treten Sturmflutwasserstände häufiger auf und die bisherigen Maximalwerte können überschritten werden. Dadurch werden auch die Wirkungen des Seegangs vergrößert. Als Folge können vor allem Lockermaterialküsten erodieren und Landverluste auftreten

sowie Küstenbauwerke und -infrastrukturen[16] geschädigt werden. Auch die Entwässerung der Marschgebiete wird durch einen erhöhten Meeresspiegel zunehmend erschwert. Der Meeresspiegel an der Nord- und Ostsee ist in den letzten Jahrzehnten konstant um ein bis zwei Millimeter im Jahr angestiegen. Dazu trägt auch eine leichte Landsenkung im deutschen Küstenraum bei. Änderungen im Sturmflutgeschehen (Häufigkeit, Intensität) wurden bisher nicht beobachtet.

Die Betroffenheit der Küstenregionen durch den Klimawandel hängt wesentlich davon ab, ob Küsten(schutz)bauwerke vorhanden sind und von der Art und Qualität dieser Bauwerke. Zudem ist die Entwicklung der dem Festland vorgelagerten Sandbänke und, an der Nordsee, des Wattenmeeres bedeutend: Steigt der Meeresspiegel schneller, als Sandbänke und Watt „mitwachsen“ können, werden die Schäden an den Küstenbauwerken und Küsten höher ausfallen. Besonders im Falle des „Ertrinkens“ des Wattenmeers droht der Festlandsküste eine erhöhte Überflutungs- und Erosionsgefahr.

In der Gegenwart und bei einem schwachen Wandel in naher Zukunft betreffen Überflutungen durch Sturmfluten vorrangig die Ostseeküste sowie nicht deichgeschützten Vorländer und nordfriesischen Halligen an der Nordseeküste. Bei einem starken Wandel hingegen können die Schäden durch sturmflutbedingte Überflutungen auch hinter den Deichen auftreten. Die Marschflächen an der Nordseeküste in Niedersachsen und Schleswig-Holstein sowie die Städte Bremen und Hamburg müssten beim starken Wandel als sturmflutgefährdet gelten, wenn es zu Überströmungen und Deichbrüchen kommt. Darüber hinaus wird die Entwässerung der Marschgebiete durch einen erhöhten Meeresspiegel zunehmend erschwert. Auch die Ostseeküsten wären – wenn auch räumlich deutlich weniger gravierend – betroffen (siehe Abbildung 9).

In der Gegenwart wird die Belastung von Küsten(schutz)bauwerken aufgrund von Sturmfluten und des Meeresspiegelanstiegs sowohl an der Ostsee als auch an Nordsee als gering angesehen. In der nahen Zukunft kann diese Belastung im Küstenraum der Nordsee zunehmen. Für die Ostsee wird von einer geringeren Veränderung für die Belastung von Bauwerken und Infrastrukturen ausgegangen.

Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten verursachen Küstenerosionen und führen so zu naturräumlichen Schäden, Strand- und Landverlusten. An der Ostseeküste gibt es einen kontinuierlichen Küstenrückgang, zum Beispiel an Kliffküsten. An der Nordseeküste sind bislang keine eindeutig auf Klimaänderungen zurückzuführenden Küstenschäden zu erkennen. Nur bei einem starken Wandel ist es bis Mitte des Jahrhunderts wahrscheinlich, dass die Schäden deutlich zunehmen. Betroffen wären vor allem die Nordseeinseln.

Gegen Ende des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus wird sich der Anstieg des Meeresspiegels wahrscheinlich signifikant beschleunigen. Zudem können – gegen Ende des Jahrhunderts – besonders im Winter häufiger Stürme auftreten. Dann würden die klimabedingten Belastungen der Bauwerke sowie die Schäden an den Küsten weiter zunehmen.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Alle untersuchten Klimawirkungen beim Küsten- und Meeresschutz können bereits in naher Zukunft mit hohen Gefährdungen für den Küstenraum verbunden sein: die zunehmende Belastung von Küstenbauwerken und die Gefährdung von Infrastrukturen, die verstärkte Küstenerosion verbunden mit Strand- und Landverlusten sowie steigende Überschwemmungsgefahren durch Sturmfluten (alle geringe Gewissheit). Dies gilt für einen starken Klimawandel

[16] Im Folgenden bezieht sich der Begriff Infrastruktur auf die physische Infrastruktur. Gemeint sind also Gebäude, Bauwerke, Konstruktionen oder Anlagen.

bereits in der nahen Zukunft sowie aufgrund des erwarteten steigenden Meeresspiegels verstärkt in der fernen Zukunft.

Die Möglichkeiten, sich an den Klimawandel anzupassen, werden für das Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“ als hoch eingestuft. Der Küstenschutz gilt in Deutschland als gut ausgebaut. Es wird somit angenommen, dass er bei entsprechender baulicher Anpassung auch künftige, erhöhte Belastungen auffangen kann. Zudem trägt ein kontinuierliches Monitoring dazu bei, klimabedingte Veränderungen frühzeitig zu erkennen.

Vulnerabilität

Abschließend betrachtet ergibt sich für den Küstenschutz aufgrund der hohen Anpassungskapazität eine geringe bis mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft. Für die ferne Zukunft wird durch einen verstärkten Meeresspiegelanstieg eine mittlere bis hohe Vulnerabilität angenommen.

Tabelle 7 fasst die Auswirkungen des Klimawandels auf den Küsten- und Meeresschutz zusammen.

Abbildung 9: Klimawirkung „Sturmfluten“ basierend auf dem Indikator „Potenzielle Überschwemmungsgebiete durch Sturmfluten“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

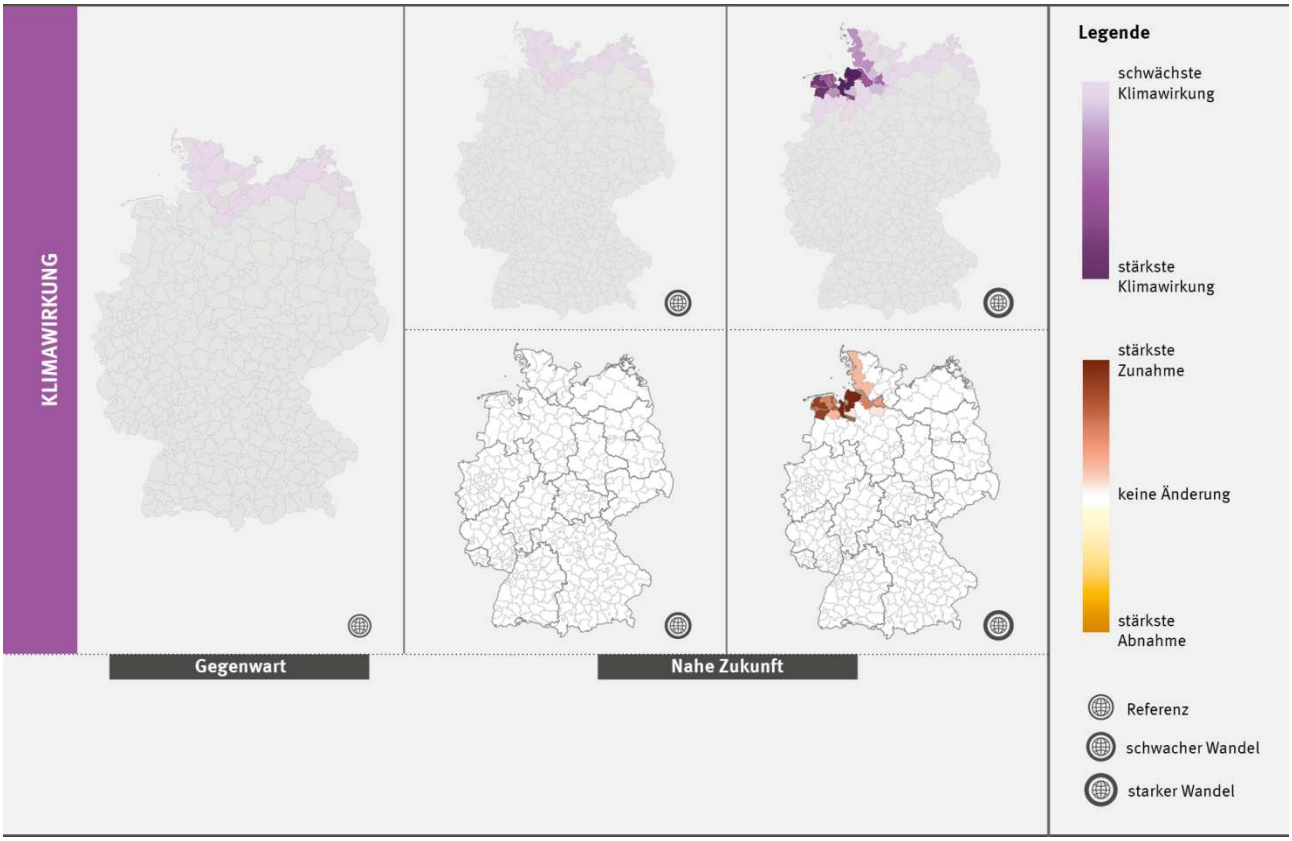


Tabelle 7: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“

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 / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Schäden an Küsten (naturräumliche Veränderungen)	Meeresspiegelanstieg, Starkregen, Sturmflut, Seegang	Gegenwart		Gering / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Sturmfluten	Sturmflut	Gegenwart		Gering / Indikatoren
		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

2.7 Handlungsfeld „Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt“

Veränderungen der saisonalen Verteilung des Niederschlags, aber auch Veränderungen der Niederschlagsmengen wie Starkregenereignisse oder Trockenperioden haben einen direkten Einfluss auf den Wasserhaushalt und damit auch auf die Wasserwirtschaft. Die Wasserverfügbarkeit für ökonomische und ökologische Nutzungen verringert sich alleine schon durch steigendende Verdunstung bei steigenden Temperaturen. Höhere Wassertemperaturen haben meist negative Auswirkungen auf die Wasserqualität, dies hat Auswirkungen auf die Gewässerbiologie und kann bei einem gleichzeitig steigenden Wasserbedarf zu Problemen bei der Wasserversorgung führen.

Der Wasserbedarf wie auch die Wasserverfügbarkeit werden sehr stark von der Landnutzung, der Bevölkerungsdichte, der wirtschaftlichen Entwicklung und der Art der Wassernutzung beeinflusst. Neben natürlichen Faktoren bestimmt die Beschaffenheit der Bodenoberfläche wie hoch der Anteil des oberirdischen Abflusses und der Grundwasserneubildung ist. Die Landnutzung beeinflusst durch den Eintrag von Nährstoffen, beispielsweise Nitrat und Phosphor, oder Schadstoffen, wie Pflanzenschutzmittel, sehr stark die Wasserqualität von Grund- und Oberflächenwasser. Die Wassernutzungen, wie Kühlwasser oder Prozesswasser, werden in den betroffenen Handlungsfeldern diskutiert (siehe Handlungsfelder Boden, Energie, Industrie und Gewerbe, Tourismus).

Große überschwemmungsgefährdete Gebiete für Flusshochwasser liegen aufgrund der geringen Reliefunterschiede im Norddeutschen Tiefland. Von Sturzfluten[17] sind besonders Regionen mit starken Reliefunterschieden in Süddeutschland bedroht. Gegenwärtig ist nicht feststellbar, dass Hochwasser klimawandelbedingt häufiger auftreten, jedoch wird eine Zunahme der Starkregentage beobachtet. Aufgrund hoher Unsicherheit in der Projektion von Niederschlägen, könnte in naher Zukunft die Hochwassergefährdung in den verschiedenen Flusseinzugsgebieten sowohl ab- als auch zunehmen. Insbesondere aufgrund steigender Winterniederschläge werden in naher Zukunft Hochwasserereignisse als Folge langanhaltender Niederschläge oder Starkregenereignisse, die mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zunehmen werden, voraussichtlich häufiger werden. So wird in naher Zukunft mit einer Zunahme der mittleren jährlichen Hochwasserabflüsse im Rheineinzugsgebiet (unterhalb Maxau) sowie im Elbeeinzugsgebiet gerechnet. Der Trend zu häufigeren Hochwässern wird sich bis Ende des Jahrhunderts vermutlich verschärfen.

Für die nahe Zukunft werden nur geringe Veränderungen des mittleren jährlichen Wasserdurchflusses in den großen Einzugsgebieten erwartet: Bei einem feuchtem Klimaszenario kann der Durchfluss leicht steigen und bei einem trockenen Klimaszenario würde es zu geringen Rückgängen kommen. Nur in den Einzugsgebieten von Weser, Neckar und Ruhr, sowie der Spree/Havel, kann dann der Durchfluss um bis zu 30 Prozent geringer sein. Insbesondere in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts kann eine Verminderung des jährlichen Wasserdurchflusses in den Einzugsgebieten der Elbe und – je nach ausgewählter Klimaprojektion – auch der Donau relevant werden. Bereits in naher Zukunft kann im Oberlauf der Donau häufigeres und intensiveres Niedrigwasser auftreten, welches in der fernen Zukunft auch auf die Elbe, den Rhein und die gesamte Donau zutreffen kann.

Das Management von kleineren Talsperren, die sowohl der Trinkwasserversorgung als auch dem Hochwasserschutz dienen, stellt sich bereits auf einen veränderten saisonalen Abfluss ein. In einigen Regionen wird es tendenziell trockener, insbesondere zum Ende des Winters und im Frühjahr. Die Situation kann von großen Talsperren gut kompensiert werden, während kleinere Talsperren im Sommer mit Niedrigwasser und damit einhergehenden Gewässergüteproblemen zu kämpfen haben. Dennoch müssen im Winter Rückhalteräume für den Hochwasserschutz vorgehalten werden, was die speicherbaren Trinkwasserressourcen reduziert. Dieser Zielkonflikt zwischen Trinkwasserversorgungssicherheit und Hochwasserschutz wird sich durch trockene Frühjahre und zunehmende extreme Niederschlagsereignisse in Zukunft vermutlich verstärken.

Die Wasserverfügbarkeit aus Grund- und Oberflächenwasser, beispielsweise für die Trinkwasserversorgung, ist aufgrund des großen Wasserdargebots in Deutschland grundsätzlich hoch. Die Trinkwasserversorgung wird in Deutschland zu über 70 Prozent aus Grund- und Quellwasser gedeckt. Zum Schutz der Trinkwasserversorgung werden in Deutschland Wasserschutzgebiete ausgewiesen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass der chemische Zustand vieler Grundwasserkörper nach Wasserrahmenrichtlinie als schlecht zu bewerten ist. Besonders in Ballungsgebieten übersteigt der Wasserbedarf das Wasserdargebot, so dass Fernversorgungsleitungen für einen Ausgleich zwischen Mangel- und Überschussgebieten sorgen. In Teilen Süddeutschlands haben kleinere Wasserversorger im Sommer Probleme die Versorgung – auch aufgrund schlechter Wasserqualität und einer dynamischen Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung mit hohem Bedarf – sicher zu stellen. Insbesondere im Osten Deutschlands könnte die Wasserverfügbarkeit in naher und verstärkt in ferner Zukunft

[17] Eine Sturzflut ist eine spezielle Form von Hochwasser. Sie ist von kurzer Dauer und steilem Anstieg mit einer relativ hohen Hochwasserspitze. Sie wird von einem Regen hoher Intensität erzeugt, der über einem kleinen Einzugsgebiet niedergeht (Quelle: Umweltbundesamt 2015).

deutlich abnehmen, da sich bei einem starken Klimawandel die Grundwasserneubildung und der gebietsbürtige Abfluss[18] verringern können.

Starkregen sind eine Herausforderung für die Stadtentwässerung, insbesondere dort, wo ein hoher Versieglungsgrad und Mischkanalisation vorliegt (siehe Abbildung 10). Eine Überlastung der städtischen Kanalsysteme und Kläranlagen kann durch Beeinträchtigung der Gewässerqualität gesundheitliche und ökologische Schäden verursachen. Dies betrifft bereits heute viele Ballungsgebiete. Bei einem starken Wandel können in Zukunft häufiger Starkregen auftreten und auch die Stadtentwässerung in größere Regionen, wie zum Beispiel im Emsland, in Westfalen und Ostwestfalen, können dann mit Herausforderungen konfrontiert werden.

Der Gewässerzustand der meisten Binnengewässer wird vor allem durch die Landnutzung und den damit bestimmten Stoffeintrag beeinflusst. Der Klimawandel hat im Vergleich hierzu nur eine geringe Auswirkung. Aber er kann in mehrfacher Hinsicht negativ auf den ökologischen Zustand eines Gewässers wirken, insbesondere hinsichtlich der Temperatur und des Sauerstoffgehalts. In naher Zukunft können daher höhere Temperaturen, durch Hochwasser und Starkregen bedingte Stoffeinträge oder durch Niedrigwasser verursachte Aufkonzentrationen dazu führen, dass sich der Gewässerzustand verschlechtert oder die Bemühungen bei der Verminderung der Nährstoffeinträge aus der Landnutzung weniger erfolgreich sind (siehe Handlungsfeld Tourismus).

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Bereits gegenwärtig für Deutschland bedeutende Wirkungen des Klimawandels mit hohem Schadenspotential für die Wasserwirtschaft und den Wasserhaushalt sind die durch Starkregen oder langandauernde, großflächige Niederschläge verursachten Überschwemmungen durch Flusshochwasser, Überflutungen durch Sturzfluten und urbane Überschwemmungen durch Starkregen (alle mittlere bis hohe Gewissheit). In naher und insbesondere ferner Zukunft können die Häufigkeit und Intensität dieser Ereignisse durch den erwarteten Anstieg der Winterniederschläge und sommerlichen Starkregenereignisse zunehmen. Alle anderen betrachteten Klimawirkungen sind von steigenden Temperaturen und verringerten Niederschlägen, insbesondere durch Trockenheit verursacht. Hier wird das Gefährdungspotential für die nahe Zukunft nur unter einem starken Wandel als bedeutend eingeschätzt. Diese Gefährdung kann gegen Ende des Jahrhunderts allerdings deutlich ansteigen.

Im Bereich der Wasserwirtschaft ist eine tendenziell mittlere bis hohe Anpassungskapazität an klimawandelbedingte Veränderungsprozesse gegeben. Begünstigende Faktoren in Deutschland sind die hohe technische und administrative Kompetenz und das hohe Wasserdargebot, auch wenn dieses in den Sommermonaten abnehmen wird. Maßnahmen und Instrumente für eine Anpassung stehen weitestgehend bereit. Trotzdem ist die Verbesserung des Gewässerzustands schwierig und langwierig.

Vulnerabilität

Insgesamt können bereits in naher Zukunft mittlere bis hohe Gefährdungen durch die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft und den Wasserhaushalt zum Tragen kommen bei einer mittleren bis hohen Anpassungskapazität. Zusammenfassend ergibt sich damit für die Wasserwirtschaft und den Wasserhaushalt eine mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

Einen Überblick über die Klimawirkungen des Handlungsfeldes „Wasserwirtschaft, Wasserhausalt“ bietet Tabelle 8.

[18] Dieser Wert entspricht dem vieljährigen jährlichen Mittel der Differenz aus Niederschlag minus Verdunstung pro Raumeinheit.

Abbildung 10: Klimawirkung „Auswirkungen auf Kanalsystem und Kläranlagen“ basierend auf dem Indikator „Starkregen auf versiegelten Flächen“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

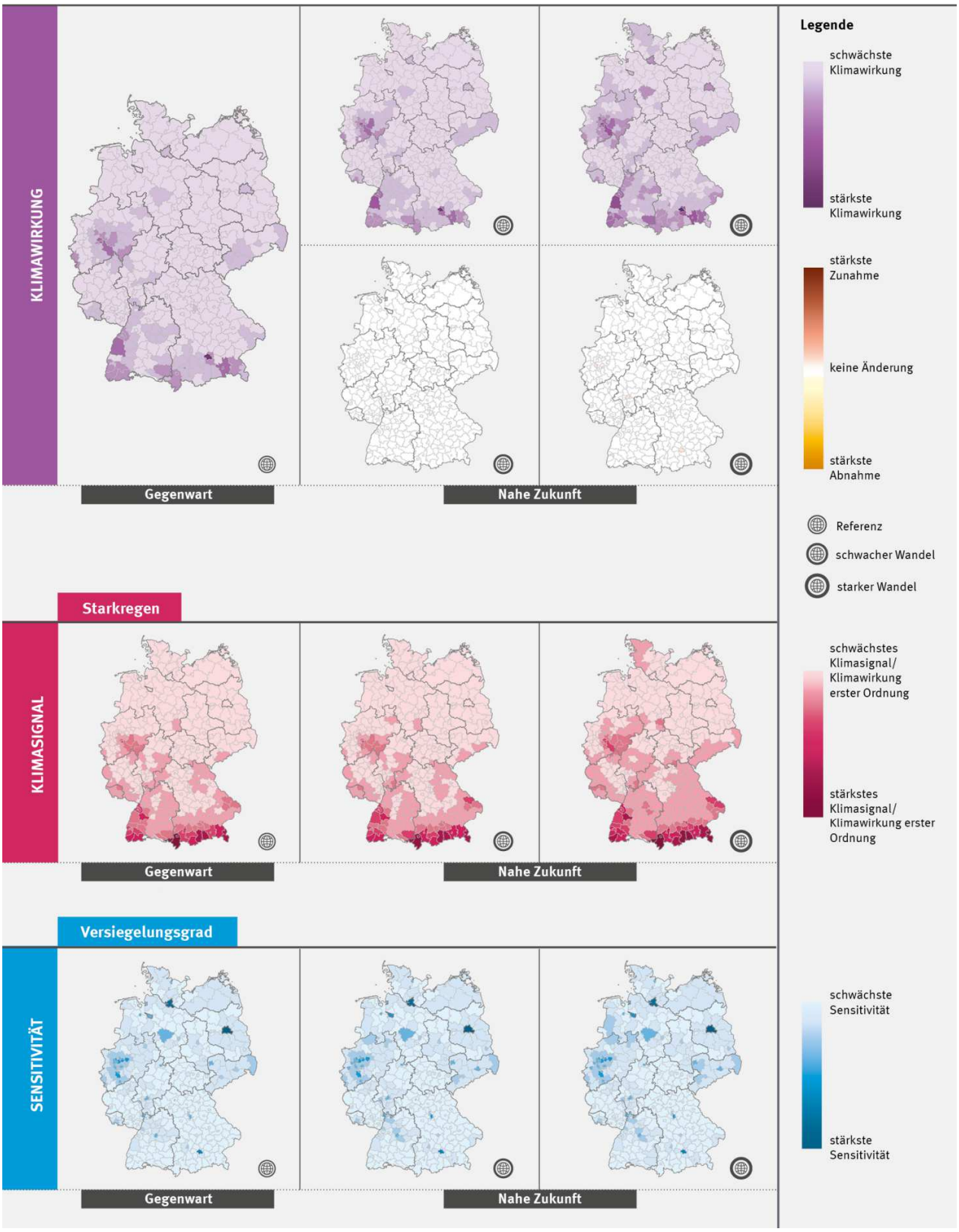


Tabelle 8: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt“

Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt

Zentrale Klimasignale: Temperatur, Niederschlag, Trockenheit, Flusshoch-wasser, Starkregen

Zentrale Sensitivitäten: Landnutzung, Bevölkerungsdichte, Nutzungsarten

Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität: mittel bis hoch

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

2.8 Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“

Klimaänderungen können den Verkehr und die Verkehrsinfrastruktur (kommunale, Landes- und Bundesstraßen, Autobahnen, Bahntrassen und -flächen, Binnen- und Seeschifffahrtsstraßen sowie Flughäfen) erheblich treffen. So erhöhen Hitze und Frost die Unfallgefahr und können direkte Schäden an Straßen und Schieneninfrastrukturen verursachen. Extremwetter, wie etwa Starkregen oder Trockenheit, können den Verkehrsablauf durch Überschwemmungen, Hoch- oder Niedrigwasser in Schifffahrtsstraßen behindern. Letzteres beschränkt die Abladetiefen der Schiffe und verringert somit die Transportkapazität. Auch Hochwasser kann dazu führen, dass die Schiffbarkeit nicht mehr oder nur noch eingeschränkt möglich ist. Andere Wetterextreme, wie Hagel und Stürme, erhöhen die Unfallgefahr und beeinträchtigen die Verkehrsinfrastruktur, indem sie beispielsweise hochragende Signalanlagen beschädigen oder die Stromversorgung von Verkehrsträgern unterbrechen, insbesondere von Schieneninfrastrukturen.

Wie stark sich der Klimawandel auf den Verkehrsablauf und die Verkehrsinfrastruktur auswirkt, hängt maßgeblich davon ab, wo die entsprechend genutzten Flächen liegen, wie robust die Verkehrsinfrastruktur gestaltet ist und ob Ausweichtrassen vorhanden sind.

Durch hitzebedingte Schäden an Straßen, Schieneninfrastrukturen und Startbahnen gefährdete Regionen sind gegenwärtig und in naher Zukunft bei einem schwachen Wandel vor allem Rhein-Ruhr, Oberrhein, Rhein-Main und das östliche Deutschland. Bei einem starken Wandel können sich hitzebedingte Schäden flächendeckend ausweiten. Davon ausgenommen wären lediglich der Küstenraum, die Mittelgebirge und Alpen. Da die Temperatur voraussichtlich gegen Ende des Jahrhunderts verstärkt steigt, können hitzebedingte Schäden an der Verkehrsinfrastruktur dann nochmals deutlich zunehmen.

Frostbedingte Schäden an Straßen, Schieneninfrastrukturen und Startbahnen treten heute vor allem in Gebirgen und in deren Nähe auf, wie die Landkreise am Alpenrand und im Bayerischen Wald. Für die nahe Zukunft ist aufgrund des erwarteten Rückgangs an Frosttagen mit einer Abnahme von frostbedingten Schäden zu rechnen. Bei einem schwachen Wandel können sich die frostbedingten Schäden insbesondere in den westlichen und nördlichen Regionen verringern, bei einem starken Wandel wäre eine flächendeckende Abnahme zu erwarten. Einige Kreise, vor allem in Bayern (Mittelfranken, Bayerischer Wald) würden jedoch auch bei einem starken Wandel weiterhin eine relativ hohe Betroffenheit aufweisen.

Die Gefahr einer Überschwemmung und Unterspülung von Schieneninfrastrukturen und Straßen- durch Flusshochwasser besteht bereits heute vor allem entlang der Flusstäler der Mittelgebirge, sowie in den Ballungsgebieten Hamburg, Bremen, Leipzig, Rhein-Main-Gebiet. Hinzu kommen einzelne Landkreise entlang der Elbe, Weser, Ems sowie am Niederrhein. Überschwemmungen und Überflutungen durch Sturzfluten sind in vermehrt in Süd- und Mitteldeutschland zu erwarten (siehe Abbildung 11), während Sturmfluten vorrangig nicht von Deichen geschützte Bereiche an Nord- und Ostsee betreffen. In naher Zukunft kann dieses Verteilungsmuster ähnlich bleiben, und die Situation am Niederrhein sowie an der Nordseeküste kann sich noch verschärfen.

Deutliche Sturzflutgefährdungen mit Auswirkungen auf Straßen und Schieneninfrastrukturen haben Großstädten und Landkreise mit hoher Infrastrukturdichte am Alpenrand (München, Landkreis Rosenheim), wo durch das vorhandene Gefälle Starkregenereignisse zu Sturzfluten führen können. Gleiches gilt für Stuttgart und den Randbereich des Sieger- und Sauerlands (Hagen, bergisches Städtedreieck). Die räumliche Verteilung dieser Betroffenheit bleibt in naher Zukunft ähnlich.

Die Ergebnisse von KLIWAS[19] zeigen, dass von der Sperrung der Binnenwasserstraßen aufgrund von Vereisung bislang vor allem die ostdeutschen Gewässer wie Oder und Elbe sowie in Süddeutschland die Donau und die Schifffahrtskanäle (Mittellandkanal-Ost, Elbe-Seitenkanal, Elbe-Havel-Kanal) betroffen sind. In Westdeutschland können extreme Winter an den staugeregelten Nebenflüssen des Rheins eine eisbedingte Schifffahrtssperrung erforderlich machen. Die Vereisung von Binnenschifffahrtsstraßen verringert sich in der nahen Zukunft bedeutend. In den westlichen Flussgebieten, die bereits gegenwärtig nur wenig von Vereisungen betroffen sind, treten Vereisungen in naher Zukunft voraussichtlich noch seltener auf. Bei einem starken Wandel kann dies auch in den östlichen Flussgebieten (Oder, Elbe, Donau) der Fall sein.

Der Flugverkehr kann in der Übergangsphase bis zur nahen Zukunft insbesondere auf den verkehrsreichen Flughäfen in Süddeutschland (insbesondere München) von Vereisung beeinträchtigt werden, da hier im Jahresverlauf spätere und heftigere Niederschläge in Verbindung mit Frostwechseltagen möglich sind und Flugzeuge bei Frosttagen enteist werden müssen. In der nahen Zukunft verringern sich bei einem Rückgang der Frosttage beziehungsweise der Frostwechseltage die Auswirkungen in Süddeutschland zum Teil deutlich.

Die Schiffbarkeit der Binnenwasserstraßen kann insbesondere durch Niedrigwasser beeinträchtigt werden. Die im Rahmen von KLIWAS erarbeiteten Abflussprojektionen deuten darauf hin, dass starke Veränderungen für die Schiffbarkeit und damit für den Unterhaltungsaufwand von Binnenwasserstraßen vermutlich erst in der fernen Zukunft eintreten werden. Dabei müssen die Flussgebiete mit ihren Eigenheiten gesondert betrachtet werden.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Alle betrachteten Klimawirkungen auf den Verkehr und die Verkehrsinfrastruktur können in naher Zukunft durch einen starken Wandel deutlich beeinflusst werden: Die im Zuge des Temperaturanstiegs erwartete Verringerung der Tage mit Wechselfrost kann positive Folgen für die Verkehrsinfrastrukturen (Straßen, Schieneninfrastrukturen, Startbahnen, Flugzeuge, Binnenwasserstraßen) haben (alle mittlere bis hohe Gewissheit), während der Anstieg der Heißen Tage und – in ferner Zukunft auch - Trockenheit negative Folgen für den Verkehr auf Straße (mittlere bis hohe Gewissheit), Schieneninfrastruktur (mittlere bis hohe Gewissheit) und Schifffahrtsstraßen (geringe Gewissheit) haben würde. Folgen des Klimawandels mit hohem Schadenspotential für die hiesige Verkehrsinfrastruktur sind Überschwemmungen und Unterspülungen von Straßen und Schieneninfrastrukturen durch Flusshochwasser, Sturm- und Sturzfluten (mittlere bis hohe Gewissheit). In ferner Zukunft können diese Schadenspotentiale noch ansteigen.

Die Möglichkeiten, sich an den Klimawandel anzupassen, werden für das Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ insgesamt als mittel bis hoch eingeschätzt, da es grundsätzlich technische Möglichkeiten gibt. So kann man beispielsweise schiffbaulich im Rahmen der Flottenerneuerung reagieren oder bei den Schifffahrtsstraßen betriebliche und/oder infrastrukturelle Anpassungsmaßnahmen einleiten. Auch beim Luftverkehr gibt es einige – meist technische – Anpassungsoptionen. Alle diese Maßnahmen benötigen aber längere Planungs- und Umsetzungszeiten und können mit hohen Kosten verbunden sein. Beim Straßenverkehr und beim Schienennetz lassen sich Anpassungsmaßnahmen über Investitionen im Rahmen von Neu- und Umbau umsetzen. Betriebliche Maßnahmen, beispielsweise Umleitungen, können temporäre Maßnahmen darstellen.

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

Vulnerabilität

Aufgrund der mittleren bis hohen Betroffenheit und Anpassungskapazität ergibt sich für den Verkehr und die Verkehrsinfrastruktur eine mittlere Vulnerabilität für die nahe Zukunft.

Tabelle 9 fasst die Auswirkungen des Klimawandels auf den Verkehr und die Verkehrsinfrastruktur zusammen.

Abbildung 11: Klimawirkung „Überschwemmung und Unterspülung von Straßen und Schieneninfrastrukturen“ basierend auf dem Indikator „Potenzielle Schäden an Verkehrsinfrastruktur durch Sturzfluten“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

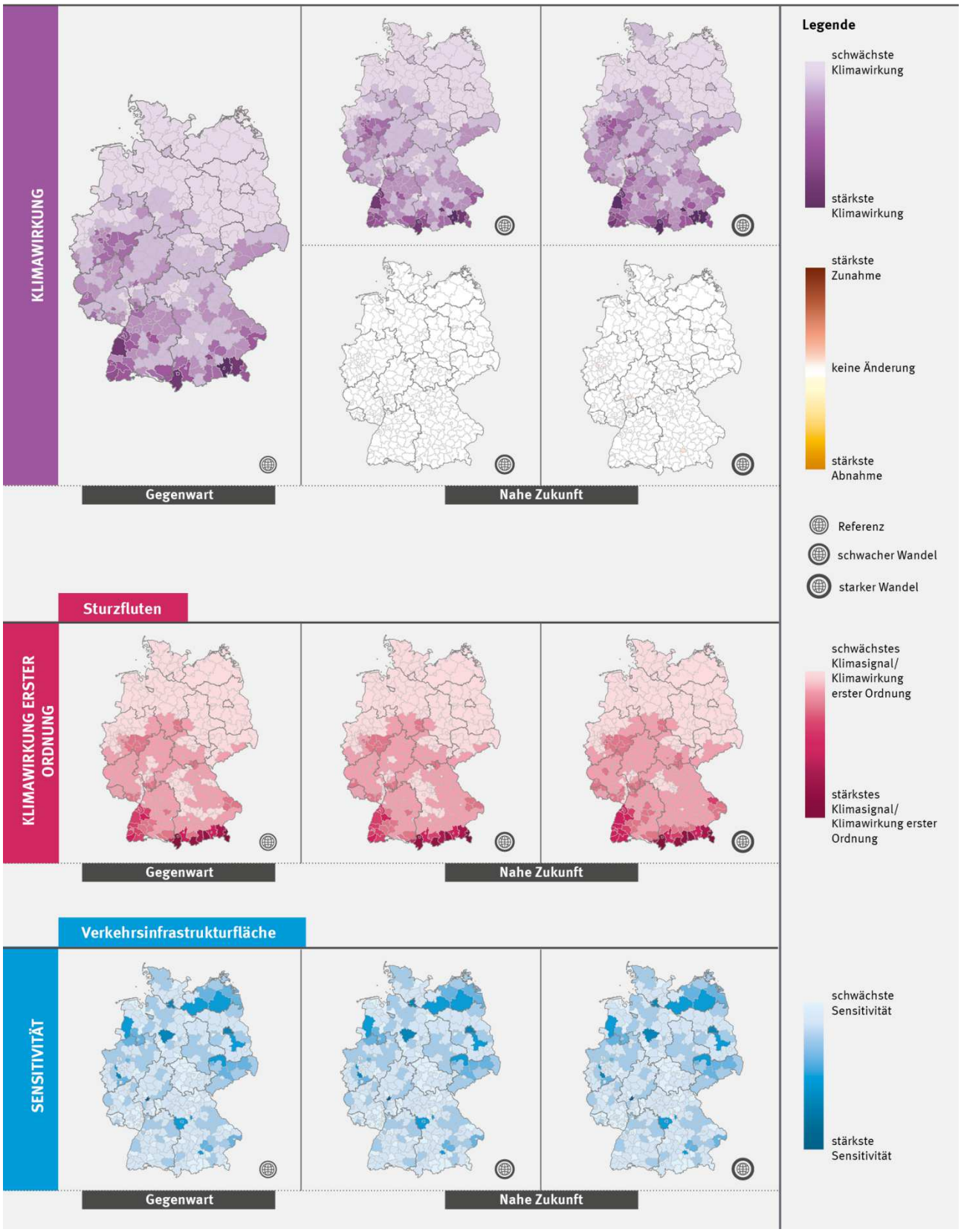


Tabelle 9: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“

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 bis hoch / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: +		
Vereisung von Flugzeugen	Frost	Gegenwart		Mittel bis hoch / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: +		
Hitze- und Frostschäden an Straßen, Schieneninfrastrukturen, Startbahnen	Frost, Hitze	Gegenwart		Mittel bis hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: + bis ++		
Schiffbarkeit der Binnenwasserstraßen	Niederschlag, Trockenheit	Gegenwart		Gering / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Überschwemmung und Unterspülung von Straßen und Schieneninfrastrukturen	Flusshochwasser, Sturmfluten, Sturzfluten	Gegenwart		Mittel bis hoch/ Wirkmodell und Indikatoren
		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

2.9 Handlungsfeld „Bauwesen“

Klimatisch bedingte Extremereignisse sowie der erwartete Temperaturanstieg sind wichtige Klimasignale im Handlungsfeld „Bauwesen“. So können etwa Überschwemmungen durch Flusshochwasser, Sturzfluten oder Sturmfluten (siehe Handlungsfeld Küsten- und Meeresschutz) aber auch Stürme oder Hagel erhebliche Schäden an Gebäudebestand und Infrastrukturen verursachen. Auch andere Extremereignisse wie gravitative Massenbewegungen (z.B. Hangrutschungen, Gerölllawinen) können zu Schäden führen. Zudem beeinflusst die Zahl der heißen Tage und der Tropennächte die Qualität des Stadtklimas und die Luftqualität und damit den Bedarf an Gebäudekühlung und -dämmung.

In welchem Ausmaß der Klimawandel das Handlungsfeld „Bauwesen“ betrifft, hängt davon ab, wie stark Gebäude und Infrastrukturen in gefährdeten Regionen durch klimatisch bedingte Extremereignisse beschädigt werden können. Inwieweit ein wärmeres Stadtklima die gesundheitliche Betroffen-

heit der Menschen erhöht, wird durch die Bevölkerungsdichte und den Anteil besonders hitzesensibler, überwiegend älterer Menschen bestimmt (siehe Handlungsfeld Menschliche Gesundheit).

Bereits heute verursachen Hochwasserereignisse, wie Flusshochwasser (siehe Abbildung 12), Sturmfluten und Sturzfluten, hohe Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen, etwa Durchnässung, Beeinträchtigungen des Fundaments, Verschmutzungen bis zum Einsturz von Gebäuden oder Zerstörung von Infrastrukturen (siehe Handlungsfelder Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt und Küsten- und Meeresschutz). Vor allem bei einem starken Wandel und gegen Ende des Jahrhunderts können die Schäden durch alle Hochwassertypen deutlich zunehmen.

Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Starkwind, inkl. Hagelstürmen, wie beschädigte oder blockierte Bahntrassen und Oberleitungen, abgedeckte Häuser oder eingedrückte Fenster, machen in Deutschland einen Großteil der volkswirtschaftlichen Schäden durch Naturgefahren aus (siehe Handlungsfeld Finanzwirtschaft). Derzeit besonders betroffen sind die Landkreise zwischen der westdeutschen Tieflandbucht und der Nordseeküste. Bei einem starken Wandel käme es in naher Zukunft im Nordwesten und Nordosten Deutschlands sowie in den Mittelgebirgen aufgrund eines sich verändernden Klimasignals zu verstärkten Klimawirkungen.

Besonders in den großen Ballungszentren in den südlichen und südöstlichen Bundesländern heizen sich heute bereits die Kernstädte – aufgrund der hohen Siedlungsdichte und der verwendeten Baumaterialien – stark auf. Das Stadtklima und die Luftqualität wird durch den urbanen Wärmeinseleffekt, der die Auswirkungen von Hitzewellen verstärkt, beeinträchtigt (siehe Handlungsfeld Menschliche Gesundheit). Bei einem schwachen Wandel dürfte sich dieses Phänomen in naher Zukunft nur in einigen Regionen geringfügig verstärken. Jedoch kann es bei einem starken Wandel und auch gegen Ende des Jahrhunderts vor allem entlang des Oberrheins, im Rhein-Ruhr-Gebiet und im Süden Ostdeutschlands (vor allem in Sachsen) zunehmen, wobei der demographische Wandel mit einem zunehmenden Anteil älterer und hochbetagter Menschen das Problem zusätzlich verschärft.

Ein enger Zusammenhang besteht zwischen den äußeren Wetter- und Witterungsbedingungen und dem Innenraumklima sowie dem daraus entstehenden Bedarf für Kühlung und Beschattung. Daraus lassen sich Anforderungen an die Gebäudehülle ableiten. Analog zum Stadtklima sind somit insbesondere die großen Ballungszentren im Süden Deutschlands betroffen. Bei einem starken Wandel käme es aufgrund der Änderung des Klimasignals und aufgrund des erwarteten Anstiegs der Bevölkerung zu starken Klimawirkungen entlang des Mittelrheins und des Oberrheins sowie im Rhein-Main-Gebiet.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Bereits gegenwärtig bestehen bedeutende und zukünftig sogar hohe Gefährdungspotentiale für Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Flusshochwasser und Sturzfluten (mittlere bis hohe Gewissheit). Hitze verursacht bereits heute ein ungünstiges Stadtklima, verbunden mit geringer Luftqualität, und erhöht den Kühlungsbedarf von Innenräumen. Diese Beeinträchtigungen der Lebensqualität können in naher Zukunft und insbesondere zum Ende des Jahrhunderts sehr stark zunehmen (mittlere bis hohe Gewissheit). Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Starkwind werden gegenwärtig sowie zukünftig bei einem starken Wandel als bedeutende Gefährdungen bewertet (geringe Gewissheit). Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Sturmfluten werden in naher Zukunft bei einem starken Wandel im Zuge des Meeresspiegelanstiegs als sehr bedeutend für das Bauwesen eingestuft (geringe Gewissheit).

Bei den Möglichkeiten, sich im Handlungsfeld „Bauwesen“ an den Klimawandel anzupassen, ist zwischen dem Bestand und der Neuerrichtung baulicher Strukturen sowie der (Neu- und Um-)Gestaltung von Siedlungsstrukturen zu differenzieren. Der Bestand lässt sich im Wesentlichen durch technische Maßnahmen schützen, etwa durch öffentlichen Hochwasserschutz, private und öffentliche Bauvor-

sorge gegen Hochwasser oder durch den nachträglichen Einbau von Klimaanlagen. Allerdings handelt es sich bei Gebäuden um sehr langlebige Investitionen und die Umsetzung solcher Anpassungsmaßnahmen ist oft mit erheblichen Kosten verbunden. Insofern lassen sich diese nur mittel- bis langfristig verwirklichen. Eine etwas andere Situation zeigt sich bei neuen Siedlungsflächen. Hier ist es möglich, sich durch städtebauliche oder raumordnerische Maßnahmen gut vorzubereiten. So können künftige Bebauungen in gefährdeten Gebieten mit Auflagen versehen, eingeschränkt oder untersagt werden. Auch dies ließe sich allerdings nur mittel- bis langfristig umsetzen. Gleichwohl bestehen hier gerade in wachsenden Großstädten planerische Zielkonflikte zwischen einer kompakten Stadtentwicklung, die der Verkehrsvermeidung und damit dem Klimaschutz dient, und dem Erhalt des Klimakomforts.

Vulnerabilität

Die Vulnerabilität des Bereichs „Bauwesen“ ist aufgrund der starken Betroffenheit sowie der mittel- bis langfristigen Anpassungszeit als mittel bis hoch einzuschätzen. Sie kann bei einem starken Wandel in ferner Zukunft deutlich zunehmen.

Eine Übersicht über die Auswirkungen des Klimawandels auf das Handlungsfeld „Bauwesen“ bietet Tabelle 10.

Abbildung 12: Klimawirkung „Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Flusshochwasser“ basierend auf dem Indikator „Siedlungsflächen und Bevölkerungsdichte in potenziellen Überschwemmungsflächen“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

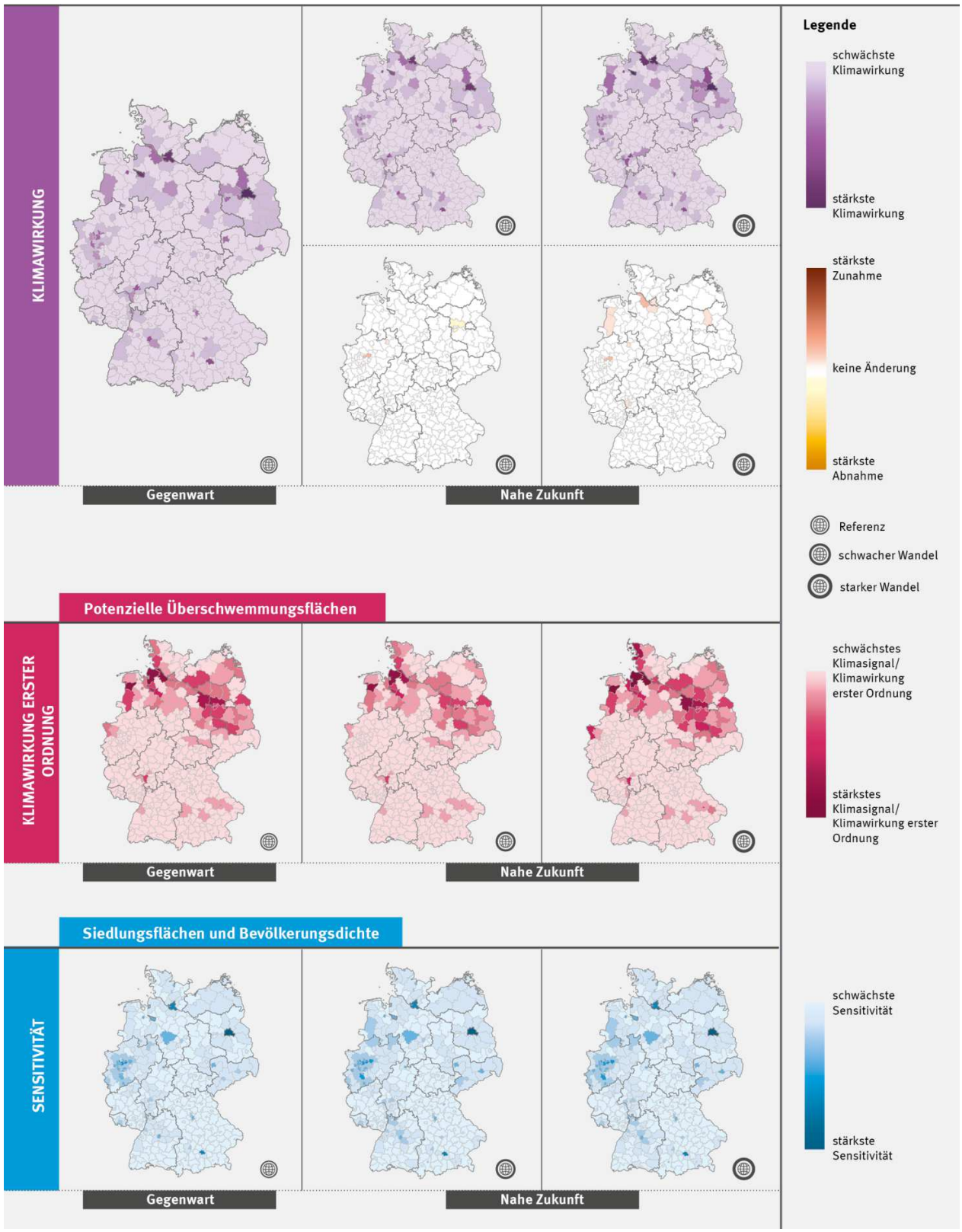


Tabelle 10: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Bauwesen“

Bauwesen

Zentrale Klimasignale:	Meeresspiegel-anstieg; Temperatur; Hitze; Extremereignisse
Zentrale Sensitivitäten:	Lage und Zustand von Gebäuden und Infrastrukturen, Bevölkerungsdichte und Anteil älterer Menschen
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:	mittel

Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung		Gewissheit/ Analysemethode
Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Sturmfluten	Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten	Gegenwart		Gering / Experteninterviews
		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		Mittel bis hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Innenraumklima und Kühlung	Hitze	Gegenwart		Mittel bis hoch / Indikatoren
		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

2.10 Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“

Extreme Wetterereignisse können Produktions- und Logistikprozesse unterbrechen und dadurch hohe ökonomische Schäden verursachen. Auf global vernetzte Unternehmen können sich Störungen bei Zulieferern und Kunden in anderen Ländern auswirken. Die graduelle Erhöhung der Temperatur, die der Klimawandel verursacht, beeinflusst direkt den Bedarf sowie die Verfügbarkeit von Wasser und anderen Ressourcen – und damit wesentliche Inputfaktoren der industriellen Produktion.

Wie stark sich solche potenziellen Störungen auf Industrien auswirken, hängt vorrangig von sozioökonomischen Faktoren ab. Dazu gehören der Rohstoffeinsatz, die (globale) Vernetzung der Wertschöpfungsketten sowie die Abhängigkeit von Logistikprozessen. Entscheidend für den Grad der Sensitivität sind vor allem folgende Punkte: die Lage von Betriebsanlagen und Infrastrukturen in

durch Extremwetter gefährdeten Gebieten, ein hoher Wasser- und Energiebedarf für Produktionsprozesse sowie eine Just-in-Time-Produktion, die über keine oder nur eine geringe Lagerhaltung von Produktionsinputs verfügt.

Für Deutschland bedeutende Wirkungen des Klimawandels sind vor allem Beeinträchtigungen des landgestützten Warenverkehrs. Überschwemmungen durch Flusshochwasser können diesen besonders in den Einzugsgebieten von Elbe, Ems, Weser und Main beeinträchtigen. In fast ganz Mittel- und Süddeutschland können Sturzfluten zu Störungen führen. Dies gilt sowohl für die Gegenwart als auch die nahe Zukunft. Die stark gefährdeten Gebiete liegen in den Alpen, im Alpenvorraum und in den Mittelgebirgen. Bei einem starken Wandel in naher und insbesondere in ferner Zukunft können primär an der Nordseeküste Sturmfluten die Verkehrsinfrastruktur beschädigen. Bereits heute ist es möglich, dass – vor allem an den Küsten – Starkwinde den landgestützten Warenverkehr stören (siehe Abbildung 13). Solche Behinderungen des Landverkehrs in Küstennähe sind vor allem für all jene Unternehmen von großer Bedeutung, die die Häfen als Umschlagplatz für Vorprodukte und Waren nutzen. Auch Ballungsgebiete sind durch ihre dichte Verkehrsinfrastruktur besonders empfindlich.

Klimatisch bedingte Extremereignisse, wie Überschwemmungen durch Flusshochwasser, können gefährliche Stoffe freisetzen. Diese Gefährdung besteht bereits heute und kann in naher Zukunft wachsen. Standorte der chemischen Industrie sind potenzielle Quellen solcher gefährlicher Stoffe. Auch Klärwerke können gesundheitsgefährdende Stoffe freisetzen, wenn sie überschwemmt werden. Gefährdet sind vor allem Klärwerke in den potenziellen Überschwemmungsgebieten der Flusseinzugsgebiete von Elbe, Weser und Donau. Bei einem starken Wandel und in ferner Zukunft wäre künftig zunehmend auch das Rheintal betroffen.

Da bei einem starken Wandel erwartet wird, dass Extremwettereignisse in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmen, können Schäden an der betrieblichen Infrastruktur, wie Firmengebäuden, Betriebsanlagen und Fahrzeugen, sowie Beeinträchtigungen von Produktionsprozessen und Logistik an Bedeutung gewinnen. Da dies auch international zu erwarten ist, steigt gleichzeitig der Planungsbedarf von Unternehmen, die eigenen Standorte und auch Zulieferer hinsichtlich möglicher Auswirkungen des Klimawandels zu überprüfen. Ein Risikomanagement kann dann mögliche Beeinträchtigungen minimieren.

Die graduellen Änderungen von Temperatur und Niederschlag wirken sich vor allem auf den Ressourceneinsatz aus. Bereits heute hat der Südwesten Deutschlands einen – im bundesweiten Vergleich – hohen Bedarf an Kühlenergie. Ursache dafür ist die wirtschaftliche Stärke der Region. Bei einem schwachen Wandel kann in naher Zukunft in den Alpen sowie im Alpenvorland der Kühlenergiebedarf der Unternehmen durch einen vergleichsweise hohen Temperaturanstieg zunehmen. Bei einem starken Wandel und in ferner Zukunft ist zu erwarten, dass in ganz Deutschland der Kühlenergiebedarf erheblich wächst. Dies kann insbesondere dann zu Produktionseinschränkungen führen, wenn die Verfügbarkeit von Energie durch den Klimawandel beeinträchtigt wird (siehe Handlungsfeld Energie).

Auch die Verfügbarkeit von Wasser für die industrielle Produktion kann langfristig durch den Klimawandel beeinträchtigt werden. Jenseits von Hitzewellen sind in naher Zukunft jedoch noch keine schwerwiegenden Änderungen des Wasserdargebots (siehe Handlungsfeld Wasser) zu erkennen.

Der Klimawandel wird sich auch auf die Absatzmärkte deutscher Unternehmen auswirken, vor allem über strengere Klimaschutzregelungen. Hierin können aber auch Chancen liegen, wenn die Unternehmen rechtzeitig in innovative Klimaschutz- und Klimaanpassungstechnologien investieren und ihre Produkte und Dienstleistungen entsprechend ausgestalten.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

In naher Zukunft können die Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs durch klimatisch bedingte Extremereignisse große Auswirkungen auf die wirtschaftliche Leistung von Industrie und Gewerbe haben (mittlere bis hohe Gewissheit). Bereits gegenwärtig besteht die Gefahr einer möglichen Freisetzung von gefährlichen Stoffen durch klimatisch bedingte Extremereignisse (geringe Gewissheit). Die durch Überschwemmungen und Überflutungen erzeugten Schadensgefahren können in ferner Zukunft noch ansteigen.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“ ausreichend Möglichkeiten und Ressourcen zur Verfügung stehen, um sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen. Es gibt jedoch Unterschiede zwischen einzelnen Branchen und Unternehmenstypen.

Vulnerabilität

Da Industrie und Gewerbe eine hohe Anpassungskapazität besitzen, wird die Vulnerabilität des Handlungsfeldes trotz der teilweise hohen Schadenspotentiale insgesamt als gering bis mittel eingestuft.

Tabelle 11 fasst die Auswirkungen des Klimawandels in diesem Bereich zusammen.

Abbildung 13: Klimawirkung „Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs“ basierend auf dem Indikator „Potenzielle Schäden an Verkehrsinfrastrukturen durch Starkwind“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

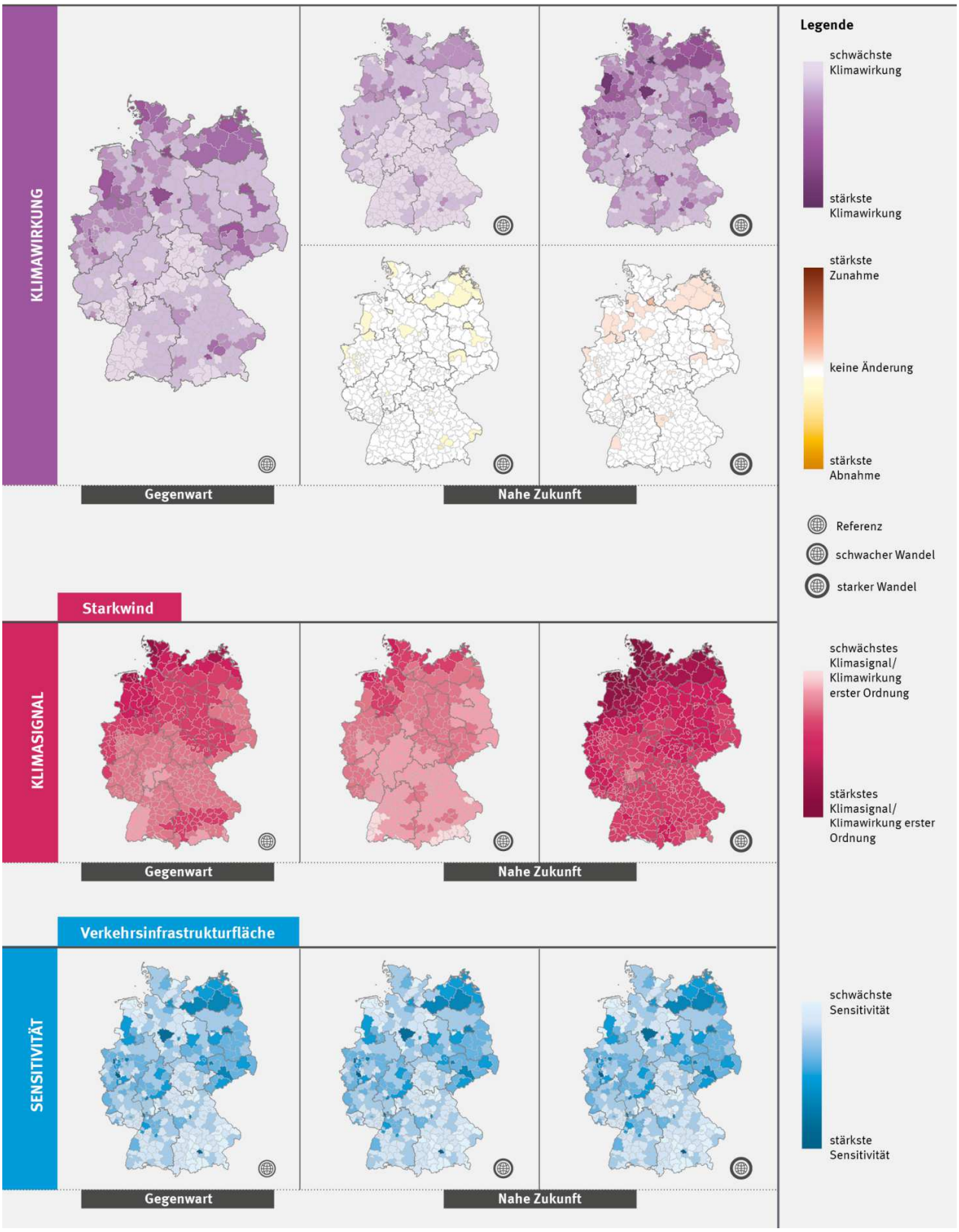


Tabelle 11: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“

Industrie und Gewerbe

Zentrale Klimasignale: Temperatur; Flusshoch-wasser; Extremereig-nisse; Globaler Klima-wandel

Zentrale Sensitivitäten: Lage von Betriebsanlagen und Infrastrukturen, Wasser- und Energiebedarf von Produktionsprozessen, Just-in-Time-Produktion

Handlungsfeld Anpassungskapazität: hoch

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 bis hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~ bis +			
Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs	Flusshochwasser, Starkwind, Sturmfluten, Sturzfluten	Gegenwart			Mittel bis hoch / 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 bis hoch / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~ bis ++			
Beeinträchtigung der Produktion aufgrund von Wasserknappheit	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart			Mittel bis hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Energieverbrauch für Kühlung	Hitze, Temperatur	Gegenwart			Mittel bis hoch / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Verfügbarkeit von Energie	Globaler Klimawandel	Gegenwart			Gering / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Klimawirkungen auf Absatzmärkte	Globaler Klimawandel	Gegenwart			Gering / 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

2.11 Handlungsfeld „Energiewirtschaft“

Graduelle und extreme Temperaturänderung beeinflussen die Energiewirtschaft beispielweise durch die Verfügbarkeit von Kühlwasser für thermische Kraftwerke und die Nachfrage nach Energie für die Kühlung oder Beheizung von Gebäuden. Ändert sich das Windangebot, hat dies Einfluss auf die Stromerzeugung durch Windenergieanlagen an Land und an See. Überschreiten Stürme und Starkwinde kritische Schwellenwerte, führt dies zum Abschalten von Anlagen. Wetterextreme – wie Flusshochwasser, Sturmfluten oder Sturzfluten – sind in der Lage, Kraftwerke, Erzeugungsanlagen und Leitungsnetze zu beschädigen. Dies wiederum kann Störungen oder sogar Ausfälle der Energieversorgung verursachen.

Wie sich der Klimawandel auf die Energiewirtschaft auswirkt, hängt maßgeblich davon ab, wie sich die heutige und künftige Energieinfrastruktur zusammensetzt. Eine zentrale Rolle spielen dabei technische Aspekte, zum Beispiel die Kühltechnologie, die in thermischen Kraftwerken verwendet wird, oder die Stabilität von Windkraftanlagen. Ebenso wichtig ist die räumliche Verteilung der Energieinfrastruktur, beispielsweise ob thermische Kraftwerke in Regionen stehen, wo sie besonders von Kühlwassermangel oder Überschwemmungen betroffen sein können. Relevant sind zudem das Verhalten der Endverbraucher sowie die Verbreitung energieeffizienter oder -intensiver Technologien, etwa Raumklimageräte. Weiterhin ist die räumliche Verteilung von Nachfragezentren ein wichtiger Einflussfaktor für die regionale Empfindlichkeit der Energiewirtschaft.

Bereits gegenwärtig wirken sich Extremwetterereignisse auf die Verfügbarkeit von Kühlwasser für thermische Kraftwerke aus, wie während der Hitzewellen im Sommer 2003 und 2006. Damals traten an mehreren thermischen Kraftwerken Leistungsminderungen aufgrund von Kühlwassermangel auf. 2006 stiegen als Folge auf dem deutschen Strommarkt die Preise zu Spitzenlastzeiten um über elf Prozent[20]. Durch den Umbau der Kraftwerke, insbesondere die Abschaltung der Kernkraftwerke, und den Ausbau erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen können solche Ereignisse in naher Zukunft seltener werden. Gleichzeitig steigt bei einem starken Wandel die Wahrscheinlichkeit des Auftretens extremer Hitzewellen, sodass Kühlwassermangel für thermische Kraftwerke auch in Zukunft von Bedeutung bleiben kann. Insbesondere für Kraftwerke mit Durchlaufkühlung in der Region Rhein-Main-Neckar sowie im Bereich der Oberweser wäre bei einem starken Wandel eine stärkere Betroffenheit zu erwarten.

Ein weiteres Beispiel für beobachtete Beeinträchtigungen im Energiesektor findet sich im Münsterland. Dort haben kombinierte Wind-, Schnee- und Eislasten im Winter 2005 zu umfangreichen Schäden und lokalen Stromausfällen geführt[21]. Die Bedeutung möglicher Schäden an Leitungsnetzen ist bisher gering und wird voraussichtlich auch in Zukunft gering bleiben. Allein für oberirdische Freileitungen, also für das Übertragungsnetz, ist unter Annahme eines starken Wandels in naher Zukunft sowie in der fernen Zukunft aufgrund einer erwarteten starken Zunahme der Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse eine leicht stärkere Betroffenheit möglich.

Potenzielle Schäden an Kraftwerken und Erzeugungsanlagen durch Flusshochwasser sind vor allem im Süden Deutschlands sowie in einzelnen Kreisen in Niedersachsen zu erwarten. Potenzielle Schäden durch Sturmfluten sind vor allem in küstennahen Kreisen nördlich der Elbe möglich. Bei einem starken Wandel sowie gegen Ende des Jahrhunderts ist damit zu rechnen, dass Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse zunehmen. Dies würde die Gefahr potenzieller Schäden ebenfalls

[20] Pechan, Anna; Eisenack, Klaus (2014): The impact of heat waves on electricity spot markets. Energy Economics 43, S. 63–71.

[21] Bundesnetzagentur (2006): Untersuchungsbericht über die Versorgungsstörungen im Netzgebiet des RWE im Münsterland vom 25.11.2005

erhöhen. Unter Annahme eines starken Wandels können neben Kreisen entlang der Elbe außerdem Kreise im Bereich der Unter- und Außenweser durch Sturmfluten betroffen sein.

Eine Zunahme des Windangebots führt prinzipiell auch zu einer Zunahme der Stromerzeugung aus Windenergieanlagen. Allerdings ist es noch nicht projizierbar, wie sich die Windverhältnisse in Zukunft entwickeln werden. Dies trifft auch auf das Windangebot auf See in den Höhen zu, die für Offshore-Anlagen relevant sind.

Niedrigwasser sowie abnehmende Durchflussmengen und -geschwindigkeiten können sich negativ auf die Stromerzeugung mit Wasserkraftanlagen auswirken. Derzeit ist die Bedeutung der Stromerzeugung mit solchen Anlagen für den Energiesektor gering. In naher Zukunft kann es in dem für die Wasserkrafterzeugung besonders relevanten Süden Deutschlands zu leicht verringertem Durchfluss kommen (siehe Handlungsfeld Wasser). Bis zum Ende des Jahrhunderts kann eine häufigere Sommertrockenheit das Wasserkraftpotential weiter vermindern.

Temperaturänderungen tragen dazu bei, dass im Sommer – insbesondere in Ballungsgebieten – die Nachfrage nach Kühlenergie voraussichtlich wachsen wird. Große Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der weiteren Verbreitung von Raumklimageräten, die in Deutschland derzeit noch sehr gering ist. Während im Sommer mit einer Zunahme der Nachfrage nach Energie zu rechnen ist, ist im Winter davon auszugehen, dass der Bedarf an Heizenergie bis zur Mitte des Jahrhunderts im Falle eines starken Wandels und insbesondere bis zum Ende des Jahrhunderts deutlich abnehmen wird (siehe Abbildung 14).

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Durch angenommene technologische Entwicklungen und strukturelle Umgestaltung des Energiesektors können in naher Zukunft die Gefährdungen durch Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor im geringen bis mittleren Bereich gehalten werden. Für den Kühlwasserbedarf von thermischen Kraftwerken ist in der Gegenwart ein mittleres Schadenspotential erkennbar (mittlere bis hohe Gewissheit). Die Schadenspotentiale für Kraftwerke und Erzeugungsanlagen können in naher Zukunft deutlich ansteigen (geringe Gewissheit). Der veränderte Bedarf nach Kühl- oder Heizenergie würden bei einem starken Temperaturanstieg die Energiewirtschaft im Sommer belasten (geringe Gewissheit) bzw. im Winter (mittlere bis hohe Gewissheit) entlasten.

Zentral für die künftige Entwicklung der Energiewirtschaft sind die Energiewende und die damit einhergehenden strukturellen Änderungen. Dazu gehören auch der Ausbau der Stromnetze sowie sich ändernde Rahmenbedingungen, etwa durch das EEG oder durch die Einführung neuer Marktmechanismen. Der Klimawandel und seine möglichen Folgen stellen dabei zusätzliche Herausforderungen dar. Kommt es – etwa durch eine Hitzewelle – zu einem zeitlich und räumlich gleichzeitigen Auftreten von Produktionseinschränkungen und Nachfragesteigerungen, so kann dies die Energiewirtschaft belasten. Generell ist die Energiewirtschaft aufgrund von umfangreichen technischen Möglichkeiten und ausreichenden personellen und finanziellen Ressourcen in der Lage, mit langfristigen Herausforderungen umzugehen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass die derzeit und in Zukunft stattfindenden umfangreichen strukturellen Änderungen dazu führen, dass der Energiesektor zukünftig anfälliger für klimabedingte Störungen ist oder die Anpassungsfähigkeit sinkt.

Vulnerabilität

Aufgrund der hohen Anpassungskapazität und der relativ geringen Auswirkung ist die Vulnerabilität des Energiesektors gegenüber dem Klimawandel insgesamt als gering einzuschätzen.

Eine Übersicht über die Auswirkungen des Klimawandels auf das Handlungsfeld „Energiewirtschaft“ bietet Tabelle 12.

Abbildung 14: Klimawirkung „Bedarf an Heizenergie“ basierend auf dem Indikator „Heizgradtage und Siedlungsfläche“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

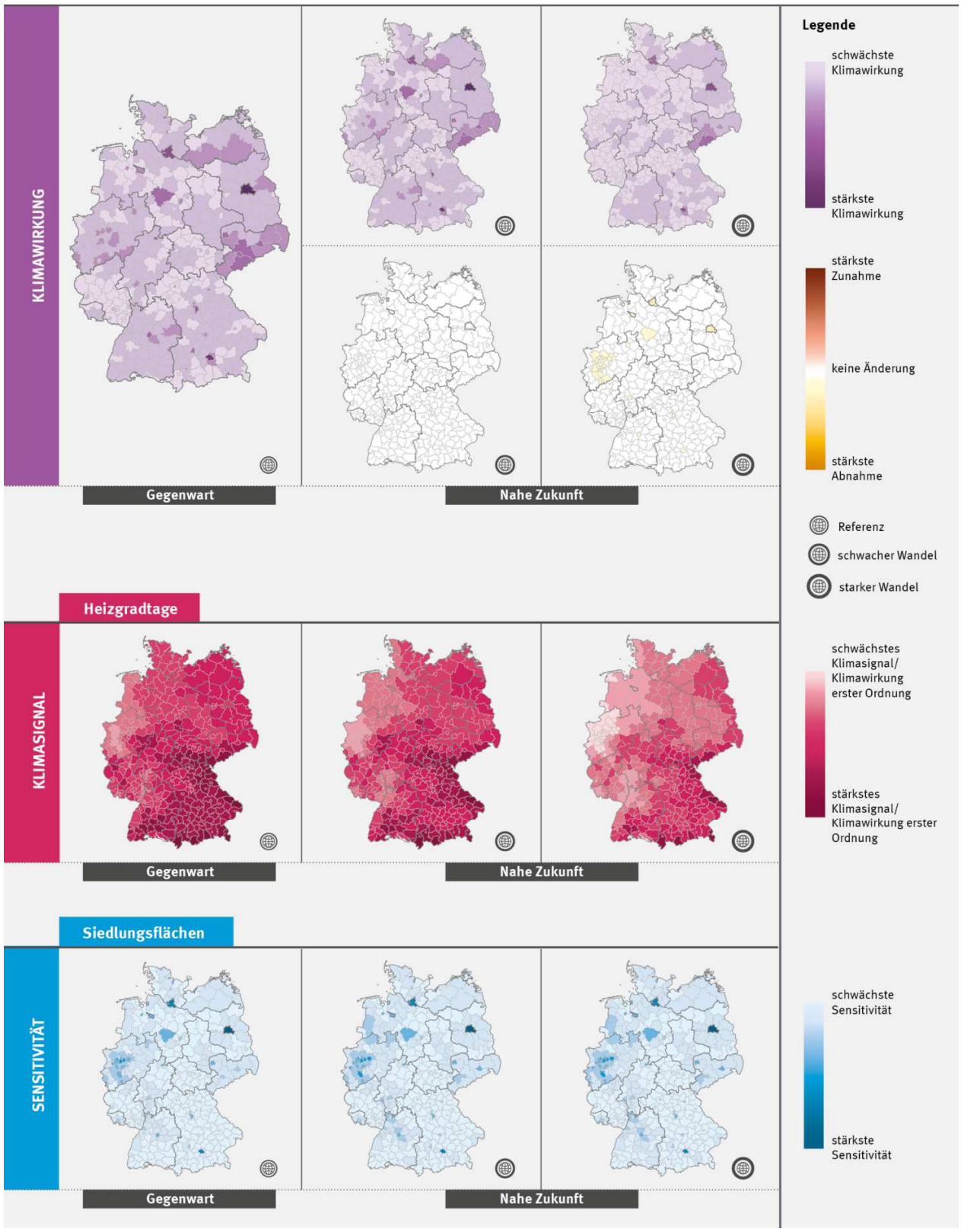


Tabelle 12: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Energiewirtschaft“

Energiewirtschaft

Zentrale Klimasignale: Temperatur, Flusshochwasser, Wind, Extremereignisse

Zentrale Sensitivitäten: Lage und Leistung von Kraftwerken, Lage von empfindlichen Infrastrukturen wie Kraftwerken und Erzeugungsanlagen

Handlungsfeld Anpassungskapazität: hoch

Klimawirkung	Klimasignale	Bedeutung			Gewissheit/ Analysemethode
Bedarf an Heizenergie	Temperatur	Gegenwart			Mittel bis hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Bedarf an Kühlenergie	Hitze, Temperatur	Gegenwart			Gering / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Wasserkraft	Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart			Mittel bis hoch / Wirkmodell
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Kühlwasser für thermische Kraftwerke	Hitze, Niederschlag, Temperatur, Trockenheit	Gegenwart			Mittel bis hoch / Wirkmodell
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ++			
Windenergienutzung an Land und auf See	Starkwind, Wind	Gegenwart			Gering / Wirkmodell, Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~			
Schäden an Kraftwerken und Erzeugungsanlagen	Blitz, Flusshochwasser, Schneefall, Starkwind, Sturmfluten	Gegenwart			Gering / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~ bis +			
Schäden an Leitungsnetzen	Blitz, Flusshochwasser, Schneefall, Starkwind, Sturmfluten	Gegenwart			Mittel bis hoch / Experteninterviews
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel		
		Ferne Zukunft: ~ bis +			
Zuverlässigkeit der Energieversorgung	Blitz, Flusshochwasser, Hitze, Niederschlag, Schneefall, Starkwind, Sturmfluten, 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

2.12 Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“

Klima und Wetter sind wichtige Faktoren für die Tourismuswirtschaft: Sie bestimmen die Länge und Qualität der Tourismussaison und beeinflussen entscheidend die Wahl des Urlaubsorts. Extreme Wetterereignisse können zudem das Landschaftsbild verändern und die touristische Infrastruktur treffen, beispielsweise Rad- und Wanderwege, Hotels und Campingplätze. Die dabei entstandenen Schäden können wiederum Betriebsunterbrechungen und Umsatzeinbußen bewirken.

Entscheidend für das Ausmaß der Betroffenheit gegenüber den Folgen des Klimawandels ist vor allem die geographische Lage der Anbieter touristischer Leistungen, wie etwa Hotels und Seilbahnbetreiber. Insbesondere Anbieter, die in extremwettergefährdeten Gebieten liegen oder Wintersport in niedrigeren Höhen offerieren, reagieren potenziell empfindlich auf den Klimawandel.

Bei der saisonalen und regionalen Nachfrage für den Sommertourismus profitieren gegenwärtig vor allem Süd- und Ostdeutschland von einer hohen Zahl an Badetagen. Ein schwacher Wandel in der nahen Zukunft würde diese Zahl leicht sinken lassen oder ohne Folgen bleiben – vermutlich aufgrund einer Zunahme des Bewölkungsgrads. Bei einem starken Wandel kann sich hingegen die Badesaison flächendeckend verlängern (siehe Abbildung 15). In ferner Zukunft dürfte sich dieser Trend sogar noch intensivieren, wenn die Temperatur – wie projiziert – insbesondere gegen Ende des Jahrhunderts weiter steigt.

Eine hohe Anzahl heißer Tage kann dazu führen, dass sich die Hauptreisezeiten verstärkt in die Vor- und Nebensaison verlagern. Bei einem starken Wandel wären neben den schon gegenwärtig betroffenen Kurorten im Südwesten selbst Kurorte in den Mittelgebirgen, Alpen sowie im Küstenraum von einer hohen Zahl heißer Tage betroffen. Dieser Trend kann sich in ferner Zukunft noch deutlich verstärken.

Beim Wintersporttourismus profitieren derzeit vor allem der Alpenraum sowie einzelne Mittelgebirgsregionen davon, dass – an vergleichsweise vielen Tagen – ausreichend Schnee zum Skifahren liegt. Bei einem künftigen starken Wandel kann sich die Wintersportsaison flächendeckend weiter verkürzen oder noch stärker in höhere Lagen verschieben. Dann ist damit zu rechnen, dass die Zahl der Tage mit einer Schneedecke von über 30 Zentimetern erheblich sinkt. Dieser Rückgang kann sich in ferner Zukunft weiter verstärken.

Wintersportgebiete sind zusätzlich besonders betroffen von veränderten Anforderungen an touristische Infrastruktur. Wenn die Schneesicherheit abnimmt, entsteht für die Anbieter bereits in der nahen Zukunft – gerade bei einem starken Wandel – die Herausforderung, ihr Angebot zu diversifizieren und um andere Marktsegmente zu erweitern, wie etwa Wellnessangebote.

Betriebsunterbrechungen können durch Sturmfluten an der Küste sowie Starkregen und damit verbundene Sturzfluten und Flusshochwasser entstehen. Auch eine Verschlechterung des Zustands von Badegewässern aufgrund von beispielsweise Blaualgen oder Quallen kann zu zeitlichen Betriebsunterbrechungen speziell im Badetourismus führen.

In der Gegenwart sind von Flusshochwasser vor allem Landkreise in Nord- und Ostfriesland sowie im östlichen Mecklenburg-Vorpommern und nördlichen Brandenburg sowie Hamburg und Bremerhaven betroffen. In den Küstenlandkreisen können sich in Schleswig-Holstein, Mecklenburg Vorpommern und Hamburg Sturmfluten auswirken und das südliche Bayern und südwestliche Baden-Württemberg ist von Sturzfluten bedroht. In der nahen Zukunft blieben diese Muster, im Falle eines geringen Wandels, unverändert, während bei einem starken Wandel auch Küstengebiete in Niedersachsen sowie Bremen von Sturmfluten betroffen wären. Betriebsunterbrechungen im Badetourismus aufgrund sinkender Wasserqualität sind in der Gegenwart gering ausgeprägt, können aber in naher Zukunft vor allem kleine Seen und die Küsten betreffen. Dieser Trend nimmt bei einem schwachen Wandel und in ferner Zukunft vermutlich weiter zu.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Der Klimawandel bedeutet für die Tourismuswirtschaft in Deutschland vor allem, dass sich die Hauptreisezeiten sowie die regionale Nachfrage verschieben (geringe Gewissheit) und die Anforderungen an die touristische Infrastruktur wandeln werden (mittlere bis hohe Gewissheit). Dies kann in Zukunft vor allem die Wintersportregionen vor große Herausforderungen stellen. Die Bedeutung der Klimawirkungen für den Tourismus in Deutschland wird für die Gegenwart oder die nahe Zukunft als gering bis mittel eingeschätzt.

Die Möglichkeiten, sich an den Klimawandel anzupassen, werden für das Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“ aufgrund vielfältiger Handlungsoptionen als mittel bis hoch eingeschätzt. Dabei ist zu beachten, dass sich zwischen den Akteuren die Optionen deutlich unterscheiden: Reiseveranstalter und -büros können relativ flexibel ihre Angebote den klimatischen Veränderungen entsprechend anpassen oder erweitern. Dagegen ist es für lokale Veranstalter und Beherbergungsbetriebe, die mit ihren touristischen Angeboten und Leistungen an eine bestimmte Region gebunden sind, deutlich schwieriger zu reagieren.

Vulnerabilität

Da der Klimawandel in einzelnen Tourismussegmenten, wie dem Wintersport, relativ deutlich spürbar sein wird, ergibt sich bei mittlerer bis hoher Anpassungskapazität für die nahe Zukunft eine geringe bis teilweise mittlere Vulnerabilität für das Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“.

Tabelle 13 fasst die Auswirkungen des Klimawandels auf die Tourismuswirtschaft zusammen.

Abbildung 15: Klimawirkung „Saisonale und regionale Nachfrageverschiebung“ basierend auf Modellergebnissen zur „Durchschnittliche Anzahl der Badetage pro Saison“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

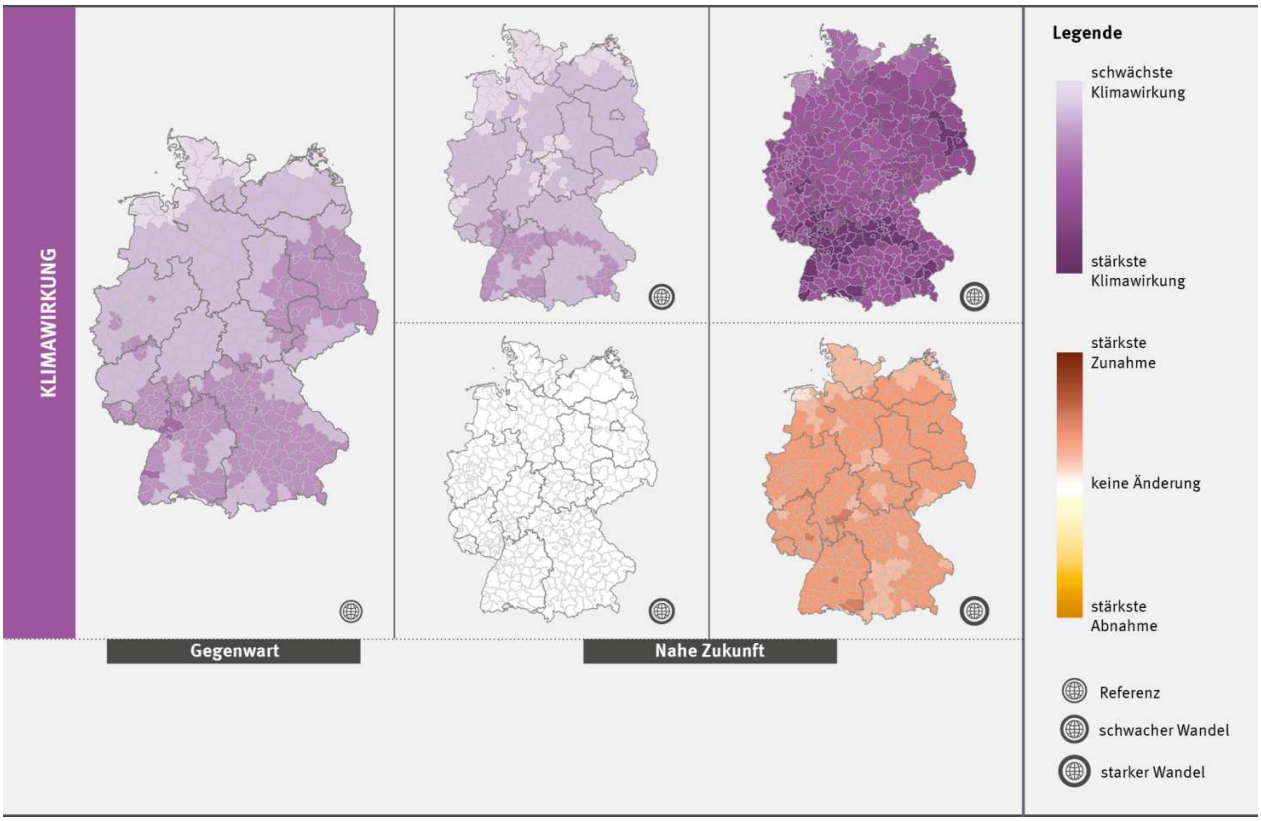


Tabelle 13: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“

Tourismuswirtschaft

Zentrale Klimasignale:	Temperatur, Schnee, Niederschlag, Extremereignisse
Zentrale Sensitivitäten:	Anzahl der Gästeübernachtungen, räumliche Lage touristischer Anbieter
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:	mittel bis hoch

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 Nachfrage-verschiebung	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 bis hoch / 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

2.13 Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“

Der Klimawandel betrifft die Finanzwirtschaft, d.h. die Versicherungs- und Kreditwirtschaft, meist nur indirekt. Extreme Wetterereignisse gefährden bestehende Investitionen und Vermögenswerte. Schäden an versicherten Werten können zu hohen Risiken für die Versicherungswirtschaft führen, insbesondere bei Gebäuden, Fahrzeugen, gewerblichen Anlagen und Hausrat. Extreme Wetterereignisse, aber auch graduelle Veränderungen von Temperatur und Niederschlägen, können zudem die Kreditwirtschaft betreffen – wenn als Folge bei Krediten und Investitionen die Ausfallquoten steigen. So können sich beispielsweise Investitionen in touristische Infrastrukturen für den Wintersport in deutschen Mittelgebirgen bei einem Anstieg der Temperatur als unrentabel erweisen (siehe Handlungsfeld Tourismus).

Wie stark der Klimawandel auf die Versicherungswirtschaft wirkt, hängt maßgeblich davon ab, wie hoch die Gesamtsumme der versicherten Werte in gefährdeten Gebieten ist. Sturmschäden sind in Deutschland nahezu flächendeckend versichert. Bei Schäden, die durch Überschwemmungen entstehen, gilt dies bislang nur für einen begrenzten Anteil an Gebäuden und Hausrat. Die Kreditwirtschaft ist dann berührt, wenn Kredite und Investitionen erhöhten Risiken ausgesetzt sind, beispielsweise in überschwemmungsbedrohten Bereichen.

Im Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“ ist die Versicherungswirtschaft bereits heute deutlich durch klimatisch bedingte Extremereignisse betroffen. Vor allem Stürme, einschließlich Hagel, und Überschwemmungen durch Flusshochwasser sind von zentraler Bedeutung, da sie die höchsten Schäden

verursachen. Beispiele dafür sind das Hochwasser entlang der Elbe sowie die heftigen Sommer-Hagelstürme im Jahre 2013. Beide Ereignisse verursachten Versicherungskosten in Höhe von zwei bis drei Milliarden Euro. Der in den vergangenen Jahren beobachtete Anstieg der Schadenssummen ist vor allem auf einen Anstieg der versicherten Werte in gefährdeten Gebieten zurückzuführen. Gleichzeitig stieg mit zunehmender Erfahrung mit Extremereignissen auch die Vorsorge und Bewältigungskapazität von Bevölkerung und öffentlicher Hand.

Vor allem bei einem starken Wandel ist davon auszugehen, dass – insbesondere gegen Ende des Jahrhunderts – die Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen deutlich zunimmt. Damit werden auch die Schäden deutlich steigen. Zukünftige Schäden durch Flusshochwasser können beispielweise im Vergleich zum Zeitraum 1961-2000 in den großen deutschen Flusseinzugsgebieten um 84 Prozent (2011-2040), um 91 Prozent (2041-2079) beziehungsweise um 114 Prozent (2071-2100) ansteigen[22].

Zunehmende Schäden können sich auf die Ausfallquoten von Krediten und Investitionen und damit auf die Bankenwirtschaft auswirken. In Deutschland wird der Klimawandel von den Banken bislang jedoch kaum als Risiko wahrgenommen oder im Rahmen der Kreditvergabe noch nicht systematisch berücksichtigt. Es liegen bisher kaum Erkenntnisse darüber vor, welche Auswirkung der Klimawandel tatsächlich auf das Kreditausfallrisiko der Banken hat.

Es wird nur mit geringen Folgen für die Finanzwirtschaft in Deutschland gerechnet. Als Grund dafür gilt vor allem deren ausgeprägte Fähigkeit, auf häufigere und intensivere Extremereignisse zu reagieren. So verfügt die Versicherungswirtschaft in Deutschland über ein vergleichsweise hohes Problembewusstsein hinsichtlich der Folgen des Klimawandels und ein bestehendes Risikomanagement. Zudem kann sie durch kurze Vertragslaufzeiten sehr flexibel auf klimatische Veränderungen reagieren. Selbst bei einem starken Klimawandel ist davon auszugehen, dass sie auch weiterhin Policen gegen Naturgefahren anbieten kann. Zur Abfederung von Großschäden durch Extremwetterereignisse besteht zudem ein globaler Markt für Rückversicherungen, über die sich einzelne Versicherer ihrerseits absichern können. Auch die Kreditwirtschaft kann sich bei Bedarf gegenüber Ausfällen bei Krediten und Investitionen finanziell absichern und verfügt über Risikomanagementsysteme.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Obwohl die Versicherungswirtschaft von klimatisch bedingten Extremereignissen bereits gegenwärtig betroffen ist, werden die Klimawirkungen für die gesamte Finanzwirtschaft in Deutschland für die Gegenwart und die nahe Zukunft als gering bis mittel eingeschätzt. Nur bei einem starken Wandel in naher Zukunft werden bedeutende Klimawirkungen für die Versicherungswirtschaft erwartet (mittlere bis hohe Gewissheit).

Vulnerabilität

Aufgrund der hohen Anpassungskapazität der Finanzwirtschaft wird deren Vulnerabilität gegenüber möglichen Folgen des Klimawandels für die nahe Zukunft als gering eingeschätzt.

Eine Übersicht über die Auswirkungen des Klimawandels auf das Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“ bietet Tabelle 14.

[22] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (2011): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadensituation in der deutschen Versicherungswirtschaft. Kurzfassung Hochwasser. http://www.gdv.de/wp-content/uploads/2012/01/Klimakonferenz_2011_PIK_Studie_Hochwasser.pdf. aufgerufen am: 09.10.2014.

Tabelle 14: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Finanzwirtschaft“

Finanzwirtschaft					
Zentrale Klimasignale:	Temperatur	Meeresspiegel-anstieg	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	Gegenwart			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	Gegenwart			Mittel bis hoch / 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

2.14 Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“

Alle Veränderungen des Klimas haben eine Auswirkung auf das menschliche Wohlbefinden und die Gesundheit: Hitze und Kälte wirken direkt auf die Mortalität und Morbidität der Menschen, die Globalstrahlung beeinflusst die Gesundheit durch die bodennahe Ozonkonzentration sowie die UV-Strahlung, Temperatur- und Feuchteänderungen beeinflussen die Ausbreitung von Vektoren, Krankheitserregern und gesundheitsgefährdenden Stoffen, wie Allergene oder Luftschadstoffe, aber auch von Schadstoffen in Gewässern. Extremereignisse, wie Stürme oder Starkregen, können zu Unfällen mit Verletzungen und Todesopfernführen. Es besteht daher eine Vielzahl von Verknüpfungen des Themas menschliche Gesundheit mit allen anderen Handlungsfeldern.

Wie sich das Klima auf die menschliche Gesundheit auswirkt, hängt sehr stark von der individuellen Disposition und vom individuellen Verhalten ab, aber auch von vielen anderen Parametern wie der Ausgestaltung der baulichen und natürlichen Umwelt, zum Beispiel Wärmedämmung von Gebäuden, Vorhandensein und Nutzung von Grün- und Wasserflächen. Aber auch die Landnutzung allgemein sowie die Emission von gesundheitsschädlichen Stoffen, zum Beispiel Luftschadstoffen, oder der Personen- und Güterverkehr mit der Folge einer Einschleppung von Krankheitserregern, haben einen großen Einfluss auf die menschliche Gesundheit. Ein wichtiger Trend für die Zukunft ist insbesondere die Entwicklung der Altersstruktur der Bevölkerung.

Eine bedeutende klimatische Auswirkung, die bereits in der Vergangenheit zu einem deutlichen Anstieg der Mortalität geführt hat, ist das Auftreten von Hitzewellen (siehe Abbildung 16). Die mittlere Anzahl der Heißen Tage in Deutschland hat bereits von drei auf acht pro Jahr von der Mitte des letzten Jahrhunderts zur Gegenwart zugenommen und kann in ferner Zukunft auf 15 bis 35 Heißen Tage steigen. Durch die starke Zunahme kann es in Zukunft vermehrt zu negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit kommen. Besonders empfindlich sind ältere Personen. Da aufgrund des Wärmeinseleffekts in Ballungsgebieten die Temperatur nachts im Vergleich zum Umland schon heute um bis zu 11 Grad höher ist, sind städtische Regionen mit einer hohen Anzahl von älteren Personen überdurchschnittlich von Hitzeeffekten bedroht. Dies trifft bereits heute auf die Städte Berlin, Karlsruhe, Ludwigshafen/Mannheim, Mainz/Wiesbaden, Nürnberg, Frankfurt sowie Köln und Düsseldorf zu und kann sich unter der Annahme eines starken Wandels in naher Zukunft auf ganze Regionen insbesondere in Ost- und im westlichen Teil Westdeutschlands sowie vereinzelte Regionen im Südwesten Deutschlands ausweiten, wobei die Alterung der Gesellschaft das Problem verschärft. Gleichzeitig kann eine Abnahme der Frosttage dazu führen, dass kältebedingte Todesfälle in Zukunft abnehmen werden.

Die sommerliche bodennahe Ozonbelastung entsteht durch photochemische Prozesse aus Vorläuferstoffen wie den Luftschadstoffen Stickstoffoxide (NOx) und flüchtige organische Verbindung (NMVOC) und führt zu Atembeschwerden. Da zukünftig häufiger Strahlungswetterlagen auftreten können, steigt die Wahrscheinlichkeit von kritischen Ozonkonzentrationen. Besonders betroffen sind großstadtnahe, bevölkerungsreiche Regionen. Jedoch steht dieser Entwicklung der gegenwärtige Trend der Verbesserung der Luftqualität, insbesondere der Reduktion von Stickstoffdioxid (NO_2), entgegen, vor allem aufgrund geringerer Stickstoffoxide-Emissionen von Verkehr, Industrie und der Stromerzeugung.

Heimische Überträger von Krankheitserregern, wie Nager und Schildzecken können von einer Temperatur- und Luftfeuchtigkeitszunahme innerhalb eines Komfortbereiches profitieren. So ist die Ausbreitung einer früher in Deutschland selteneren Schildzeckenart bereits zu beobachten. Auch für andere potentielle Überträger von Krankheitserregern ist eine Ausbreitung bei einem starken Wandel zu erwarten. Auch eingeschleppte Arten, beispielweise bestimmte Mückenarten, können sich zukünftig unter wärmeren und feuchteren Bedingungen leichter etablieren und ausbreiten.

Eine Überlastung der Rettungsdienste, der Krankenhäuser und Ärzte wird im Zuge des Klimawandels nicht erwartet. Erhöhte Anforderungen werden im Zuge von Hitzewellen an die Gesundheitsinfrastruktur gestellt.

Die bedeutendsten Klimawirkungen

Der Klimawandel, insbesondere Hitzeereignisse, bedroht bereits gegenwärtig erheblich die menschliche Gesundheit (mittlere bis hohe Gewissheit). Bei einem starken Klimawandel können Hitzebelastungen (mittlere bis hohe Gewissheit) und Atembeschwerden durch bodennahes Ozon (mittlere bis hohe Gewissheit) bereits in naher Zukunft die menschliche Gesundheit häufiger und stärker als gegenwärtig gefährden. Jedoch kann der gegenwärtige Trend der verbesserten Luftqualität der Ozonbelastung entgegen wirken. Durch die Ausbreitung bzw. Etablierung von Überträgern von Krankheitserregern wird gegenwärtig wie in Zukunft die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von bestimmten Infektionskrankheiten erhöht (mittlere bis hohe Gewissheit). Bis Ende des Jahrhunderts können die Gefährdungen für die menschliche Gesundheit durch steigende Temperaturen noch weiter zunehmen.

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

den. Bezüglich der Bekämpfung von Krankheitsüberträgern besteht eine mittlere Anpassungskapazität, insbesondere aufgrund von Zuständigkeitsproblemen und einem hohen Forschungsbedarf.

Vulnerabilität

Zusammenfassend ergibt sich für die menschliche Gesundheit somit eine mittlere bis teilweise hohe Vulnerabilität in naher Zukunft bei einer mittleren bis hohen Anpassungskapazität.

Tabelle 15 bietet einen Überblick über die Klimawirkungen des Handlungsfeldes „Menschliche Gesundheit“.

Abbildung 16: Klimawirkung „Hitzebelastung“ basierend auf dem Indikator „Hitze in Siedlungen“ für die Gegenwart und die nahe Zukunft (2021-2050)

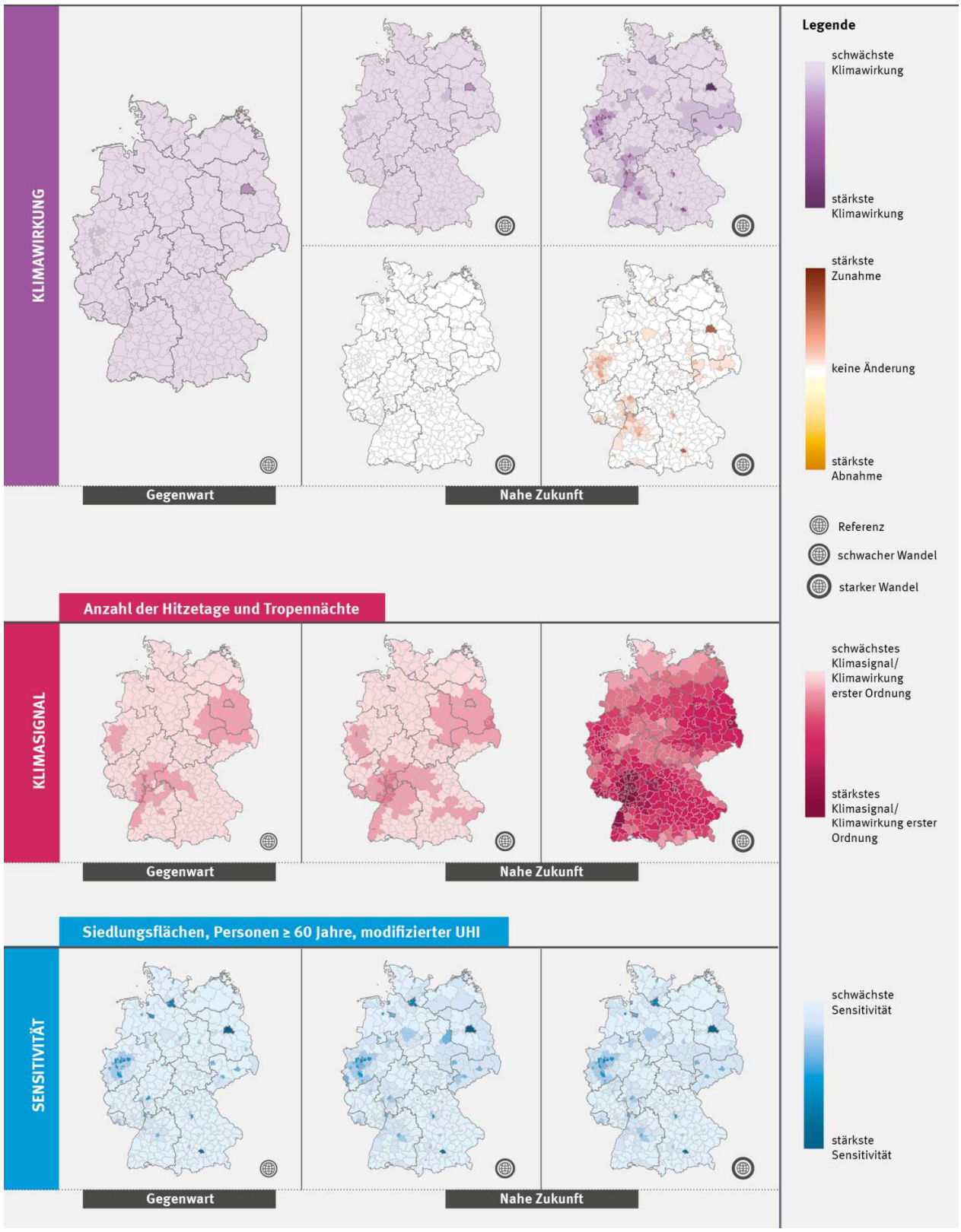


Tabelle 15: Klimawirkungen im Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“

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 bis hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		
Atembeschwerden durch bodennahes Ozon	Häufigkeit austauscharmer Wetterlagen, Hitze, Ozonkonzentration	Gegenwart		Mittel bis hoch / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ~ bis ++		
Überträger von Krankheitserregern	Feuchtigkeit, Temperatur	Gegenwart		Mittel bis hoch / 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

2.15 Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“

Der Begriff „Bevölkerungsschutz“ beschreibt alle Aufgaben und Maßnahmen der Kommunen und der Länder im Katastrophenschutz sowie des Bundes im Zivilschutz und der Katastrophenhilfe. Er umfasst damit alle nicht-polizeilichen und nicht-militärischen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und ihrer Lebensgrundlagen vor Katastrophen und anderen schweren Notlagen sowie vor den Auswirkungen von Kriegen und bewaffneten Konflikten. Der Bevölkerungsschutz umfasst auch Maßnahmen zur Vermeidung, Begrenzung und Bewältigung von Extremwetterereignissen (BBK 2014). Dazu gehört der Schutz kritischer Infrastrukturen, die zur Versorgung der Bevölkerung notwendig sind (zum Beispiel die Stromversorgung).

Die Organisationen des Bevölkerungsschutzes können auch selbst vom Klimawandel betroffen sein. Extremwetterereignisse können die Einsatzkräfte des Bevölkerungsschutzes gesundheitlich beeinträchtigen, Fahrzeuge, Liegenschaften und technische Ausrüstung beschädigen und zum Ausfall wichtiger Infrastrukturen, die der Bevölkerungsschutz nutzt (etwa Straßen), führen. Diese Klimawirkungen werden in anderen Handlungsfeldern behandelt (Bauwesen, Wasser, Verkehr, Verkehrsinfrastruktur, Küsten- und Meeresschutz, Menschliche Gesundheit). Im Rahmen dieses Projektes wird stattdessen auf die Möglichkeiten des Bevölkerungsschutzes eingegangen, wie er zur gesamtgesellschaftlichen Anpassung an den Klimawandel in den anderen Handlungsfeldern, beispielsweise des Handlungsfeldes Gesundheit, beitragen kann.

Die Zuständigkeiten im Bevölkerungsschutz sind auf die kommunale, Länder- und Bundesebene verteilt. Feuerwehren, Katastrophenschutz, THW, Hilfsorganisationen sowie öffentliche Einrichtungen arbeiten bei der Gefahrenabwehr zusammen; wobei das Gesamtkonzept des Bevölkerungsschutzes auf allen Ebenen auf der ehrenamtlichen Beteiligung der Bevölkerung beruht. Die Möglichkeiten des Bevölkerungsschutzes zur Anpassung an den Klimawandel umfassen das rechtzeitige Erkennen von und Warnen vor Gefahren sowie der Schutz von Leben und Sachwerten durch technische und andere Hilfeleistungen. Auch wenn der Bevölkerungsschutz von jeher den Umgang mit Extremwetterereignissen zur Aufgabe hat und dementsprechend darauf eingestellt ist, können häufigere oder intensivere Ereignisse Anpassungserfordernisse zum Beispiel hinsichtlich verfügbarer Kapazitäten und Ressourcenmanagement mit sich bringen. Daher hat sich bereits 2008 die Arbeitsgemeinschaft Klimawandel und Anpassung im Katastrophenschutz gegründet, in der sich BBK, THW, Hilfsorganisationen und Feuerwehren diesen Themen annehmen.

Für die vorliegende Analyse konnten keine Indikatoren identifiziert werden, mit denen es möglich wäre, bundesweit flächendeckende Aussagen zum Beitrag des Bevölkerungsschutzes zur Anpassungskapazität an den Klimawandel zu treffen. Dafür fehlt eine einheitliche bundesweite Datenbasis. Aufgrund der heterogenen Struktur des Bevölkerungsschutzes in Deutschland sind die Daten zu Einsatzkräften, Einsätzen etc. nicht konsistent.

Da der Bevölkerungsschutz insgesamt ein hohes Niveau hat, ist damit zu rechnen, dass er für die Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandeln gewappnet ist. Eine Voraussetzung dafür, die Möglichkeiten des Bevölkerungsschutzes genauer erheben zu können, wäre die gemeinsame Entwicklung von Indikatoren und eine bundesweit und organisationsübergreifend einheitliche Datenerhebung.

2.16 Handlungsfeld „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“

Das Handlungsfeld „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“ ist wie das Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“ in der DAS als Querschnittsthema angelegt, weil Raumplanung durch den Bezugsrahmen „Raum“ handlungsfeldübergreifend orientiert ist. Entsprechend wird hier davon ausgegangen, dass der Klimawandel keine spezifischen Auswirkungen auf das Handlungsfeld selbst hat und es selber keine physischen Anpassungsmaßnahmen umsetzen kann. Vielmehr werden die Möglichkeiten der räumlichen Planung zur Anpassung an den Klimawandel betrachtet, die sich auf fast alle Handlungsfelder auswirken. Da Anpassungsmaßnahmen häufig kleinräumig umgesetzt werden, sind dabei die regionale und die lokale Planungsebene im Fokus.

Aufgabe der Regionalplanung ist es, mithilfe von Regionalplänen überörtliche und überfachliche Belange zu regeln und Raumnutzungskonflikte im Sinne einer nachhaltigen Raumentwicklung zu lösen, beispielsweise durch vorbeugenden Hochwasserschutz. Dabei hat die Regionalplanung in den

Regionalplänen die Möglichkeit, beachtungspflichtige Ziele festzulegen, also Vorranggebiete auszuweisen, und/oder berücksichtigungspflichtige Grundsätze festzulegen, indem sie Vorbehaltsgebiete ausweist[23].

So sieht die Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) in der Bewältigung des Klimawandels ein wichtiges Aufgabenfeld der Raumordnung und definierte 2013 sieben Handlungsbereiche zur Klimaanpassung: Für die Anpassung an den Klimawandel sind laut MKRO die Risikovorsorge für den Hochwasserschutz in den Flussgebieten, die Risikovorsorge für den Küstenschutz, der Schutz der Berggebiete, der Schutz vor Hitzefolgen und vor Wasserknappheiten sowie die Berücksichtigung klimabedingter Veränderungen im Tourismusverhalten und in den Lebensräumen von Tieren und Pflanzen von wesentlicher Bedeutung. Darüber hinaus können in Zukunft weitere Themen von der MKRO in einer Fortschreibung ihrer Entschließung zu „Raumordnung und Klimawandel" aufgegriffen werden.

Die MKRO empfiehlt, dass die Raumordnung in Bund und Ländern, insbesondere auf Ebene der Regionalplanung, ihre Koordinierungsfunktion auch im Sinne einer Regionalentwicklung verstärkt. **Die Ergebnisse des KlimaMORO[24] und zahlreicher weiterer Vorhaben zeigen, dass die räumliche Planung auf regionaler Ebene mit ihren formellen und informellen Instrumenten einen wichtigen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel 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.**

Eine deutschlandweite Analyse der Regionalpläne ermöglicht es, quantitative Aussagen über die Berücksichtigung der Anpassungsmöglichkeiten der formalen Raumplanung zu treffen. Diese Analyseuntersucht, in welchen Regionalplänen Vorrangs- und Vorbehaltsgebiete für die 7 Handlungsbereiche der MKRO ausgewiesen wurden, die für die Anpassung an den Klimawandel bedeutsam sind[25]. Die Analyse bezieht somit nur formale Festlegungen der Raumordnung mit ein. Informelle Instrumente und Maßnahmen, wie Beteiligungs- und Kooperationsstrukturen, können nicht berücksichtigen 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.

Von den Möglichkeiten der Regionalplanung, in den Regionalplänen Vorrang- und Vorbehaltsgebiete auszuweisen, wurde bisher vor allem mit Blick auf die Verschiebung der Lebensräume von Pflanzen und Tieren sowie den Schutz vor Hitzefolgen Gebrauch gemacht. Nach zugrundeliegender Analyse

---

[23] 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.

[24] Projekt „KlimaMORO" des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Laufzeit 2009-2013

[25] 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.

sind in jedem dieser beiden Bereiche zu einem Großteil die formellen Möglichkeiten der Regionalplanung zur Anpassung an den Klimawandel ausgeschöpft[26]. Da die Anzahl von Heißen Tagen und Tropennächten in Zukunft deutschlandweit stark ansteigen wird mit Folgen für viele Handlungsfelder, insbesondere die menschliche Gesundheit, ist die verbindliche Festlegung klimawirksamer Freiflächen und eine entsprechende Steuerung der Siedlungsentwicklung in fast allen Planungsregionen ein wertvoller Beitrag zur Klimaanpassung.

In den anderen von der Ministerkonferenz für Raumordnung festgelegten Handlungsbereichen, in denen die Raumordnung einen Beitrag zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels leisten kann, besteht noch deutlich größerer Handlungsbedarf. Das betrifft vor allem den Schutz der Berggebiete, für die nur relativ wenige der relevanten Regionalpläne Vorrang- und Vorbehaltsflächen für Klimaanpassung festgelegt haben. Lücken zeigen sich hier vor allem in den Mittelgebirgen. Die Planungsregionen im Alpenraum, in denen die Klimaanpassung im Rahmen der Regionalplanung insgesamt weit fortgeschritten ist, nutzen im Vergleich dazu die formalen Möglichkeiten der Regionalplanung deutlich besser aus. Auch im Küstenschutz nutzt die Regionalplanung ihre formal en Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel erst zu einem geringen Teil (rund 20 Prozent) aus. Vor allem an der Ostseeküste aber auch in einzelnen Planungsregionen an der Nordseeküste ist Nachholbedarf zu erkennen. In den Bereichen des vorbeugenden Hochwasserschutzes in Flussgebieten, dem Umgang mit regionalen Wasserknappheiten und Veränderungen im Tourismusverhalten werden die regionalplanerischen Möglichkeiten teilweise genutzt.

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 17). 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 Regionalpläne[27] vorlagen. In den beiden niedersächsischen Planungsregionen waren am Stichtag die Regionalpläne aufgrund von Zeitablauf ungültig.

Auf lokaler Ebene spielt die Bauleitplanung eine wichtige Rolle. Sie regelt die städtebauliche Entwicklung einer Gemeinde und somit verbindlich die Nutzung von Grund und Boden, die einen entscheidenden Einfluss auf das Lokalklima hat. Ein Überblick, in welchen Landkreisen und kreisfreien Städten die Bauleitplanung explizit genutzt wird, um die Anpassung an den Klimawandel voran zu bringen, ist derzeit noch nicht verfügbar. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die „Klimaschutznovelle“ des Baugesetzbuches im Jahr 2011 erfolgte. Daher ist davon auszugehen, dass aufgrund der vorhan-

[26] Die Operationalisierung der Anpassungskapazität der Raumplanung erfolgte über die Analyse der Regionalpläne, allerdings muss bei der Interpretation berücksichtigt werden, dass die Regionalpläne ein unterschiedliches Alter haben. Die im Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien in Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) festgelegten sieben Handlungsbereiche mit Klimaanpassungsbezug wurden in 22 Handlungsschwerpunkte ausdifferenziert und auf Vorhandensein und Art der Festlegung in den rechtsverbindlichen Regionalplänen untersucht. Die Art der Festlegung wurde hierbei nach Bindungswirkung gewichtet: Ziele der Raumordnung (Ausweisungen von Vorranggebieten), die für nachgelagerte Planungsentscheidungen beachtungspflichtig sind und somit umgesetzt werden müssen, wurden als Zielerreichungsgrad von 100 Prozent verstanden. Grundsätze der Raumordnung (Ausweisungen von Vorbehaltsgebieten), die berücksichtigungspflichtig sind und in nachgelagerten Planungen in die Abwägung einfließen, wurden einem Zielerreichungsgrad von 50 Prozent gleichgesetzt. Bei Nicht-Festlegung von Handlungsschwerpunkten wurde die Berücksichtigung von Anpassungsmöglichkeiten mit null Prozent angegeben, wobei durchaus Teilpläne vorliegen können.

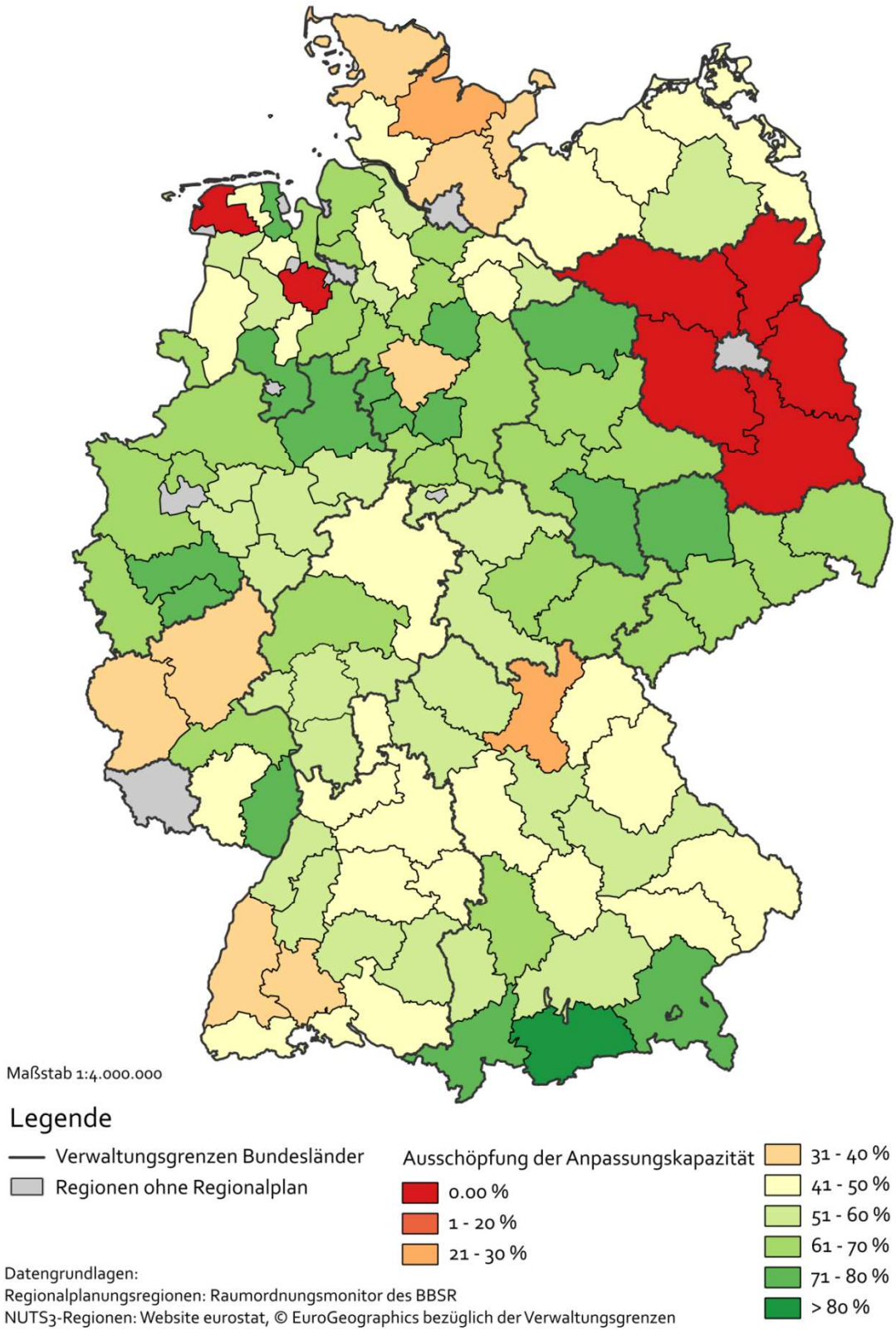
[27] Es liegt auch kein Teilplan zu Klimaanpassung vor, der einen Beitrag zur Anpassungskapazität leisten könnte.

denen Planungszyklen es einige Zeit in Anspruch nehmen wird, bis die Optionen zur Integration der Klimaanpassungsbelange in der kommunalen Planungspraxis voll ausgeschöpft werden.

Eine Auswertung der in den Förderdatenbanken von BMUB, BMBF und BMVI aufgeführten Anpassungsprojekte auf Kreisebene zeigt eine deutliche Fokussierung auf wenige Ballungszentren. Während die vom Bund geförderten kommunalen Klimaschutzprojekte in einigen Bundesländern bereits eine vierstellige Anzahl erreicht haben, sind die Zahlen im Bereich der Klimaanpassung deutlich geringer. Im Vergleich der Bundesländer hat Niedersachsen die meisten vom Bund geförderten Klimaanpassungsprojekte (über 50). Doch auch hier ist die Zahl verglichen mit den geförderten Klimaschutzprojekten deutlich niedriger. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass etwa die Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundes bis zum Jahr 2011 ausschließlich auf Aktivitäten im Bereich Klimaschutz ausgerichtet war. Erst ab 2012 wurde die Förderrichtlinie dergestalt erweitert, dass Kommunen oder kommunale Zusammenschlüsse im Rahmen der Kommunalrichtlinie auch für die Erstellung kommunaler Anpassungskonzepte Fördermittel beantragen können.

Zusammenfassung: **Die Raumordnung hat durch die Setzung von Vorranggebieten und Vorbehaltsgebieten in den Regionalplänen großen Einfluss auf die Anpassungskapazität der Gemeinden in allen Handlungsfeldern der Deutschen Anpassungsstrategie. Die Analyse der Regionalpläne 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 MKRO 2013 vorgegebenen Anpassungserfordernisse. Mit Blick auf die Handlungsfelder „Küsten- und Meeresschutz“, „Tourismuswirtschaft“, „Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt“ sowie alle Handlungsfelder, die von Flusshochwasser betroffen sind, können die Anpassungsmöglichkeiten der Regionalplanung besser genutzt werden. Besonders beim Thema „Schutz der Berggebiete“ besteht Nachholbedarf. Tatsächliche Anpassungsaktivitäten auf der lokalen Ebene sind insgesamt noch eher gering und konzentrieren sich auf wenige Ballungszentren. Aus diesem Grund besteht nach Einschätzung des Netzwerks Vulnerabilität insbesondere in kleineren und mittleren Kommunen weiterhin erhöhter fachlicher und finanzieller Unterstützungsbedarf.**

Abbildung 17: Berücksichtigung der von der Ministerkonferenz für Raumordnung (2013) vorgegebenen Anpassungserfordernissen in den Regionalplänen



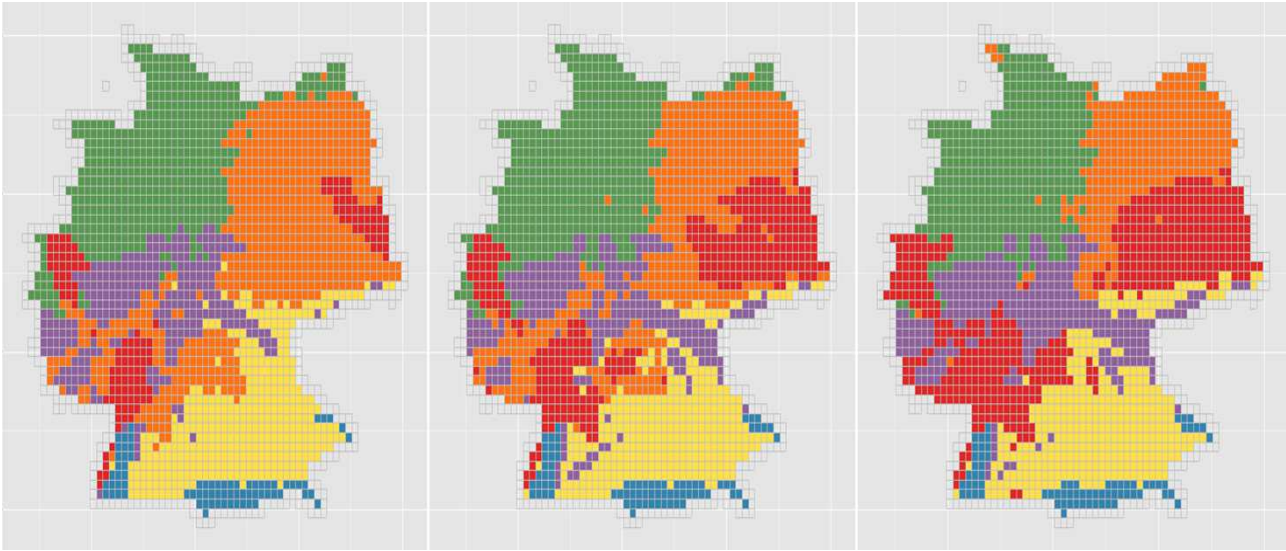
Quelle: Schmitt 2014: 67a.

3 Handlungsfeldübergreifende Auswirkungen des Klimawandels

3.1 Vom Klimawandel ähnlich betroffene Räume Deutschlands

Eine statistische Auswertung des Klimamodellensembels des DWD (siehe Kapitel D1 des Fortschrittberichts) für die Gegenwart, die nahe und die ferne Zukunft zeigt unterschiedliche Klimaräume[28] in Deutschland: Flächen gleicher Farbe in der Abbildung weisen ein ähnliches Klima auf (Abbildung 18). Sie können auch hinsichtlich der zu erwartenden klimatischen Entwicklung voneinander unterschieden werden.

Abbildung 18: Klimaraumtypen in Deutschland zur Kennzeichnung „ähnlich betroffener Räume“



Gegenwart | Nahe Zukunft | Ferne Zukunft

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

Insbesondere Regionen mit überdurchschnittlich warmem Klima (*rote Flächen*) werden sich im Zuge des Klimawandels räumlich ausdehnen. In diesen Regionen ist in Zukunft ein besonders starker Anstieg von Heißen Tagen und Tropennächten zu erwarten. Gegen Ende des Jahrhunderts werden hier immer stärkere Hitzewellen voraussichtlich zunehmend mit Trockenheit verbunden sein. Hitze bedroht vor allem die menschliche Gesundheit. Ballungsregionen, wo der urbane Wärmeinseleffekt durch die starke Bebauung und Bodenversiegelung 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.

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

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

Regionen mit kühlerem Klima (*grüne Flächen*) sind geprägt von Starkwind, gemäßigten Temperaturen und einer geringen Anzahl an Frosttagen und Trockentagen. 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 die Stadtentwässerung in diesen Gebieten vor neue Herausforderungen stellen.

Für Regionen mit Mittelgebirgsklima (*violette Flächen*) sind eine große Anzahl an Frosttagen und Tagen mit Starkregen sowie hohe Sommer- und Winterniederschläge charakteristisch. Die Sommerniederschläge sinken bis in die ferne Zukunft deutlich. Gleichzeitig werden in den Wintermonaten die Niederschläge 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 in Zukunft deutlich zunehmen wird, den Sommertourismus fördern.

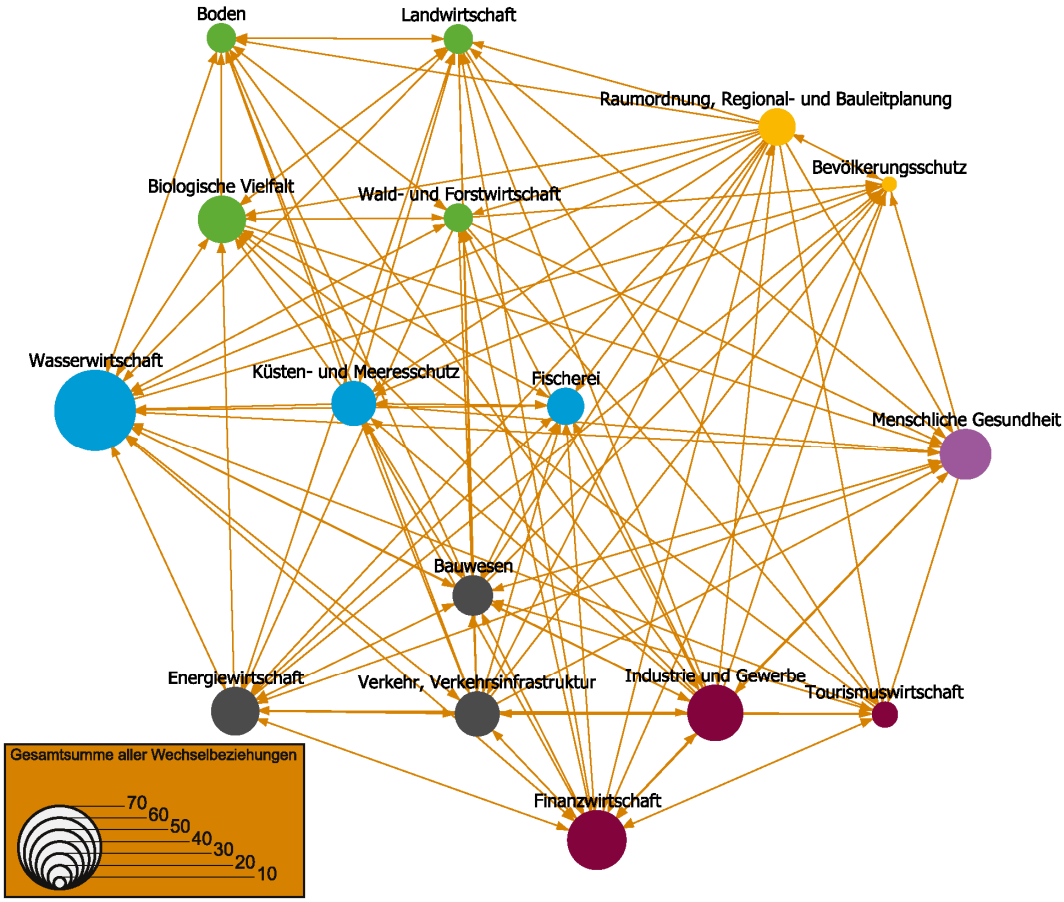
Regionen mit Gebirgsvorlandklima (*gelbe Flächen*) sind geprägt von überdurchschnittlichen Sommerniederschlägen, einer großen Zahl von Tagen mit Starkregen sowie vielen Frosttagen. Die Sommertemperaturen und die Anzahl der Heißen Tage nehmen hier wahrscheinlich deutlich zu. Das wird dann vor allem die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

Regionen mit Gebirgsklima (*blaue Flächen*) haben viele Tage mit Starkregen und Frost sowie hohe Niederschlagswerte. Es ist zu erwarten, dass gerade die Sommerniederschläge noch deutlich zunehmen. Damit werden, trotz einer in etwa gleichbleibenden Zahl an Starkregentagen, häufigere und intensivere Überschwemmungen und Sturzfluten verbunden sein. Eine erwartete überdurchschnittlich starke Erwärmung (bei geringem Ausgangsniveau) wird negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben.

3.2 Thematische Cluster und ihre zentralen Klimawirkungen

Die Analyse der über 300 Wirkungsbeziehungen zwischen den Handlungsfeldern hat ergeben, dass bestimmte Handlungsfelder stark voneinander beeinflusst werden (Kaskadeneffekt) oder ähnliche Auswirkungen des Klimawandels umfassen. Kaskadeneffekte entstehen beispielsweise dann, wenn sich klimatisch bedingt der Bodenwassergehalt verändert und sich dadurch der Ertrag der Land- und Forstwirtschaft reduziert. Ähnliche Klimawirkungen wurden zum Beispiel in den Handlungsfeldern „Küsten- und Meeresschutz“ und „Fischerei“ aufgenommen, da für beide Handlungsfelder Klimawirkungen auf Fischbestände relevant sind (siehe Abbildung 19). Handlungsfelder mit vielen ähnlichen Klimawirkungen wurden zu Clustern zusammengefasst. Insgesamt wurden sechs Cluster definiert, deren Klimawirkungen häufig auch räumlich zusammenfallen.

Abbildung 19: Abbildung der Wechselbeziehungen 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.

3.2.1 Cluster „Wasser“

Das Cluster „Wasser“ umfasst die drei Handlungsfelder, die die Bewirtschaftung des Wassers und der aquatischen Ökosysteme zum Inhalt haben:

- Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft,
- Küsten- und Meeresschutz und
- Fischerei.

„Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt“ ist das Handlungsfeld mit den meisten Wechselwirkungsbeziehungen zu anderen Handlungsfeldern. Dabei überwiegen die von diesem Handlungsfeld ausgehenden Wirkungen, sodass Veränderungen des Wasserhaushaltes häufig kaskadische Auswirkungen auf andere Handlungsfelder haben. Dies trifft auch auf das Handlungsfeld „Küsten- und Meeresschutz“ zu.

Graduelle Temperatur- und Niederschlagsänderungen[29] beeinflussen direkt den Wasserhaushalt der Erde und damit zwei Drittel aller im Cluster „Wasser“ untersuchten Klimawirkungen (siehe Tabelle 16). Von den Extremwetterereignissen sind vor allem Sturmfluten, Starkregen und Trockenheit mit ihrem zum Teil hohem Schadenspotenzial in vielen Handlungsfeldern von zentraler Bedeutung.

Tabelle 16: Klimasignale im Cluster „Wasser“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 15 Klimawirkungen im Cluster „Wasser“

Klimasignale	Anzahl Klimawirkung	Gegenwart		Nahe Zukunft, schwacher Wandel		Nahe Zukunft, starker Wandel	
		Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung
Niederschlag	10	2	0	3	0	7	3
Temperatur	10	1	0	2	0	8	2
Trockenheit	5	0	0	0	0	5	0
Meeresspiegelanstieg	4	0	0	1	0	2	2
CO2-Gehalt der Luft	3	1	0	2	0	1	2
Starkregen	3	1	0	2	0	1	2
Sturmfluten	3	1	0	2	0	0	3
Ozeanströmungen bzw. Meeresströmungen	2	1	0	1	0	1	1
Seegang	2	0	0	0	0	2	0
Flusshochwasser	1	1	0	1	0	0	1
Hitze	1	0	0	0	0	1	0
Sturzfluten	1	1	0	1	0	0	1
Wind	1	0	0	0	0	1	0

Hinweis: Diese und die folgenden Tabellen zeigen in Spalte zwei, wie viele Klimawirkungen eines Clusters von jedem Klimasignal insgesamt beeinflusst werden. Die Spalten drei bis acht weisen aus, wie viele der von dem jeweiligen Klimasignal beeinflussten Klimawirkungen von mittlerer oder hoher Bedeutung für Deutschland sind. Klimawirkungen mit geringer Bedeutung werden nicht aufgeführt. Die meisten Klimawirkungen werden von mehreren Klimasignalen beeinflusst. Beispielsweise werden 10 von 15 untersuchten Klimawirkungen im Cluster Wasser von Niederschlagsänderungen beeinflusst, davon wurden für heute 2 (d.h. 8 haben eine geringe Bedeutung), in naher Zukunft bei einem schwachen Wandel 3 und bei einem starken Wandel 7 Klimawirkungen mit mittlerer Bedeutung bewertet. Bei einem starken Wandel in ferner Zukunft können sogar 3 Klimawirkungen eine hohe Bedeutung für Deutschland erlangen.

Besonders großes Schadenspotenzial sehen die Bundesoberbehörden und -institutionen in den Folgen für die Fischbestände im Meer sowie in Schäden an Küsten, Bauwerken und Infrastrukturen durch erhöhte Sturmfluten aufgrund des erwarteten Meeresspiegelanstiegs. Bestehende Küstenschutzeinrichtungen und die Lage von Infrastrukturen im räumlichen Schwerpunkt Küste sind folgerichtig wichtige Sensitivitätsfaktoren im Cluster „Wasser“. Darüber hinaus können Starkregen, Flusshochwasser und Sturzfluten in ganz Deutschland große und künftig noch zunehmende Schäden verursachen. Starkregen ist vor allem auch mit Blick auf Entwässerungseinrichtungen, wie das Kanalnetz, und Kläranlagen eine voraussichtlich wachsende Herausforderung.

Die große Anzahl unterschiedlicher Klimawirkungen, die schon in naher Zukunft eine mittlere bis hohe Bedeutung bekommen können, machen das Cluster „Wasser“ zu einem zentralen Ansatzpunkt

[29] Graduelle Klimaänderungen werden auch als „schleichende“ Änderungen bezeichnet.

der Anpassung an den Klimawandel, zumal alle drei enthaltenden Handlungsfelder vergleichsweise lange Zeiträume zur Anpassung brauchen[30]: In der Wasserwirtschaft und im Küstenschutz sind bestehende Infrastrukturen betroffen, deren Anpassung und Erweiterung längere und integrierte Planungsprozesse benötigt. Beim Schutz der Fischbestände ist Deutschland auf die Zusammenarbeit mit den anderen Staaten Europas angewiesen. Zugleich sind natürliche Systeme, wie die Reproduktion und Wanderung von Fischen, schwierig vom Menschen beeinflussbar.

3.2.2 Cluster „Land“

Den Cluster „Land“ bilden die stark miteinander verknüpften Handlungsfelder

- Boden,
- Landwirtschaft,
- Wald- und Forstwirtschaft und
- Biologische Vielfalt.

Die Handlungsfelder „Boden“ und „Biologische Vielfalt“ haben auch über den Cluster hinaus zahlreiche Beziehungen zu anderen Handlungsfeldern: Boden, weil er ein wichtiger Standort- und Produktionsfaktor ist, und die biologische Vielfalt, weil sie von vielen Nutzungen der Ökosystemen, wie der Fischerei oder dem Tourismus, beeinflusst wird. Das Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ umfasst neben den terrestrischen natürlich auch aquatische Ökosysteme.

Die Handlungsfelder des Clusters „Land“ werden besonders von graduellen Temperatur- und Niederschlagsveränderungen und bei einem starken Klimawandel von zunehmender Trockenheit beeinflusst (siehe Tabelle 17). Steigende Temperaturen und Trockenheit beeinträchtigen die biologischen Prozesse im Boden und verringern – je nach Bodentyp und Pflanzenart verschieden stark – die Erträge der Land- und Holzwirtschaft. Sie beeinflussen die Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten. Zugleich verstärken sie das Schadenspotenzial durch Schädlinge, die sich vor allem in der Forstwirtschaft langfristig negativ auswirken können. Besonders betroffen von diesen zentralen Klimawirkungen sind das südliche Brandenburg und Sachsen; Regionen, die schon jetzt überdurchschnittlich warm und trocken sind.

Tabelle 17: Klimasignale im Cluster „Land“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 21 Klimawirkungen im Cluster „Land“

Klimasignale	Anzahl Klimawirkung	Gegenwart		Nahe Zukunft, schwacher Wandel		Nahe Zukunft, starker Wandel	
		Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung
Niederschlag	16	4	0	5	0	12	3
Temperatur	16	5	0	6	0	10	5
Trockenheit	11	3	0	3	0	9	2
Hitze	6	1	0	1	0	5	1
Starkwind	4	1	0	1	0	4	0
Wind	3	0	0	0	0	3	0
CO2-Gehalt der Luft	2	0	0	1	0	0	1
Starkregen	2	0	0	0	0	2	0
Feuchtigkeit	1	0	0	0	0	1	0

[30] Vorausgesetzt, dass vorhandene Anpassungskapazitäten genutzt werden.

Frost	1	0	0	0	0	1	0
Hagel	1	0	0	0	0	1	0
Sturzfluten	1	0	0	0	0	1	0

Die Landwirtschaft kann durch den Temperaturanstieg und die damit verbundene Verlängerung der Vegetationsperiode auch Vorteile aus dem Klimawandel ziehen. Gleichzeitig kann sie sich aufgrund der vergleichsweise kurzen Pflanz- und Erntezyklen schnell an veränderte Klimabedingungen anpassen. Die anderen drei Handlungsfelder des Clusters „Land“ hingegen brauchen deutlich längere Anpassungszeiträume: Die Forstwirtschaft muss wesentlich langfristiger planen, und auch die Bodennutzung hängt von langfristigen Planungsprozessen ab. Viele Elemente der biologischen Vielfalt passen sich im Rahmen der natürlichen Sukzession an, ohne dass der Mensch dies beschleunigen kann.

3.2.3 Cluster „Infrastrukturen“

Die drei Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie, die stärker als andere von langlebigen, gebauten Infrastrukturen abhängen, wurden im Cluster „Infrastrukturen“ zusammengefasst:

- Bauwesen,
- Energiewirtschaft und
- Verkehr, Verkehrsinfrastruktur.

Entsprechend sind diese Handlungsfelder untereinander stark verknüpft. Sie haben zudem alle zahlreiche Wechselbeziehungen zum Cluster „Wirtschaft“.

Vor allem extreme Wetterereignisse können zu Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen führen (siehe Tabelle 18). Daher werden viele Klimafolgen in diesem Cluster durch Hitze, Starkwind und Flusshochwasser verursacht. Mit der projizierten zunehmenden Häufigkeit dieser Wetterextreme steigt auch die Bedeutung ihrer Auswirkungen, vor allem die von Hitze und Flusshochwasser. Ballungsräume mit ihrer hohen Dichte an Bevölkerung und Infrastrukturen sind räumliche Schwerpunkte dieses Clusters und Ansatzpunkte für Anpassung.

Temperatur und Niederschlag und ihre graduellen Änderungen haben im Cluster „Infrastrukturen“ vor allem Auswirkungen auf das Handlungsfeld „Energiewirtschaft“. Während der Energieaufwand für das winterliche Heizen mit steigenden Temperaturen sinkt, verbraucht die Kühltechnik im Sommer mehr Energie.

Tabelle 18: Klimasignale im Cluster „Infrastrukturen“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 18 Klimawirkungen im Cluster „Infrastrukturen“

Klimasignale	Anzahl Klimawirkung	Gegenwart		Nahe Zukunft, schwacher Wandel		Nahe Zukunft, starker Wandel	
		Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung
Hitze	6	3	0	3	0	3	2
Flusshochwasser	5	2	0	2	0	1	2
Starkwind	5	1	0	0	0	1	0
Temperatur	5	1	0	0	0	3	0
Niederschlag	4	1	0	1	0	2	0
Sturmfluten	4	1	0	1	0	1	2
Blitz	3	0	0	0	0	1	0
Frost	3	0	0	1	0	3	0
Schneefall	3	0	0	0	0	1	0

Trockenheit	3	1	0	1	0	2	0
Sturzfluten	2	2	0	2	0	0	2
Wind	1	0	0	0	0	0	0
Meeresspiegelanstieg	1	0	0	0	0	0	0

Der Cluster „Infrastrukturen“ ist aufgrund des hohen Schadenpotentials durch klimatisch bedingte Extremereignisse zentral für die weitere Anpassung. Eine Umgestaltung von langlebigen Infrastrukturen wie Gebäude, Kraftwerke oder Straßen ist in der Regel mit langen Planungszeiträumen verbunden, da integrierte Planungsprozesse erforderlich sind. Solche Planungsprozesse können zur Vermeidung von Schäden durch den Klimawandel beitragen, da Lage und Ausstattung der Infrastrukturen (beispielsweise mit Schutzeinrichtungen) ihre Sensitivität entscheidend beeinflussen.

3.2.4 Cluster „Wirtschaft“

Der Cluster „Wirtschaft“ setzt sich aus den Handlungsfeldern der Deutschen Anpassungsstrategie zusammen, die das produzierende Gewerbe und den Dienstleistungsbereich abdecken und die größtenteils privatwirtschaftlich organisiert sind:

- Industrie und Gewerbe,
- Tourismuswirtschaft und
- Finanzwirtschaft.

Neben den Änderungen von Temperatur und Niederschlag haben Hochwasserereignisse aller Art, aber auch andere Extremwetterereignisse, zahlreiche und bedeutende Wirkungen für den Cluster „Wirtschaft“ (siehe Tabelle 19). Klimatisch bedingte Extremereignisse können den Warenverkehr beeinträchtigen, Produktionsprozesse unterbrechen und Anlagen beschädigen. Damit verbunden sind in der Regel große Schäden und Umsatzeinbrüche, für die teilweise die Versicherungswirtschaft Rücklagen aus erhöhten Beiträgen bilden muss. Eine gesonderte Rolle spielt veränderter Schneefall: Während die Abnahme der Schneesicherheit starke negative Folgen für den Wintersport hat, kann zu viel Schnee zu Schäden an Betriebsanlagen von Industrie und Gewerbe führen und Logistik- und Produktionsprozesse unterbrechen.

Der Cluster „Wirtschaft“ ist besonders intensiv auch von internationalen Entwicklungen beeinflusst. Durch die Globalisierung und die internationale Ausrichtung aller Handlungsfelder dieses Clusters spielen der globale Klimawandel – nicht nur Klimasignale und -wirkungen in Deutschland – eine wichtige Rolle.

Tabelle 19: Klimasignale im Cluster „Wirtschaft“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 14 Klimawirkungen im Cluster „Wirtschaft“

Klimasignale	Anzahl Klimawirkung	Gegenwart		Nahe Zukunft, schwacher Wandel		Nahe Zukunft, starker Wandel	
		Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung
Temperatur	8	0	0	0	0	5	0
Flusshochwasser	7	2	0	3	0	4	1
Niederschlag	6	0	0	0	0	4	0
Schneefall	6	0	0	1	0	5	0
Sturmfluten	6	1	0	2	0	3	1
Sturzfluten	6	1	0	2	0	3	1
Hitze	5	0	0	0	0	4	0

Starkwind	5	1	0	2	0	3	1
Feuchtigkeit	3	0	0	0	0	3	0
Klimawandel global und andere Treiber	3	0	0	0	0	1	0
Blitz	2	0	0	0	0	1	0
Frost	2	0	0	0	0	1	0
Hagel	2	0	0	0	0	1	0
Meeresspiegelanstieg	2	0	0	0	0	1	0
Starkregen	2	0	0	0	0	1	0
Trockenheit	1	0	0	0	0	0	0

Vor allem die Auswirkungen auf die Finanz- und Versicherungswirtschaft sind nicht zu regionalisieren, da Banken und Versicherungen in der Regel mindestens bundesweit, häufig international, agieren. Die Klimawirkungen des Handlungsfeldes „Industrie und Gewerbe“ zeigen besonders starke Ausprägungen im wirtschaftsstarken südwestdeutschen Raum und Rheintal, sowie in Ballungsgebieten an der Küsten und die des Handlungsfeldes „Tourismus“ in den wichtigen Tourismusregionen Küste und Alpen. Hier zeigt sich, dass die räumliche Lage von Unternehmen ihre Sensitivität entscheidend beeinflusst, vor allem mit Blick auf extreme Wetterereignisse.

Die Zeiträume, die zur Anpassung an den Klimawandel gebraucht werden, sind im Cluster „Wirtschaft“ sehr verschieden: Wenn Infrastrukturen angepasst, verlagert oder neu gebaut werden, sind längere Zeiträume notwendig. Anpassungsmaßnahmen, wie ein verändertes Unternehmensmanagement, etwa die Diversifizierung von Zulieferern, sind schneller umzusetzen.

3.2.5 Cluster „Gesundheit“

Der Cluster „Gesundheit“ besteht aus dem Handlungsfeld menschliche Gesundheit. Dieses Cluster ist zentral für die Begründung von Anpassungsmaßnahmen von Deutschland, da Klimawirkungen in anderen Handlungsfeldern sehr häufig direkt oder indirekt die menschliche Gesundheit beeinflussen. So können Extremwetterereignisse durch Schäden an Infrastruktur Unfälle und andere gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen.

Besonders die Folgen von Hitze sind mit hohen Gefährdungen für die menschliche Gesundheit verbunden– in naher Zukunft, aber auch schon in der Gegenwart (siehe Tabelle 20). Sie sind abhängig vom Alter und der gesundheitlichen Verfassung der Bevölkerung. Allgemein aber kann festgestellt werden, dass aufgrund des urbanen Wärmeinseleffekts und der hohen Bevölkerungsdichte Ballungsregionen besonders exponiert sind. Mit Blick auf die relativ hohen Ozonbelastungen sollte man die Speckgürtel um die Ballungszentren mit in diesen Schwerpunktbereich einbeziehen. Insbesondere Ballungszentren in den wärmeren Regionen Deutschlands, wie Berlin, Köln oder Frankfurt am Main, sind zukünftig von Hitzeeffekten auf die menschliche Gesundheit bedroht.

Im Cluster „Gesundheit“ sind mit Blick auf bestimmte Gefährdungen kurzfristige Anpassungen möglich, beispielsweise durch öffentliche Warnsysteme oder Verhaltensinformationen. Der Ausbau von Gesundheitsinfrastruktur, Rettungs- und Hilfsdiensten braucht im Gegensatz dazu etwas mehr Zeit.

Tabelle 20: Klimasignale im Cluster „Gesundheit“ und Anzahl der Klimawirkungen, die durch diese Klimasignale beeinflusst werden, bei insgesamt 4 Klimawirkungen im Cluster „Gesundheit“

Klimasignale	Anzahl Klimawirkung	Gegenwart		Nahe Zukunft, schwacher Wandel		Nahe Zukunft, starker Wandel	
		Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung	Mittlere Bedeutung	Hohe Bedeutung
Hitze	4	1	1	2	0	0	2
Änderung der Häufigkeit austauscharmer Wetterlagen	2	1	0	1	0	0	1
Feuchtigkeit	2	1	0	1	0	1	0
Ozonkonzentration	2	1	0	1	0	0	1
Strahlungswetterlage	2	1	0	1	0	0	1
Temperatur	2	1	0	1	0	1	0

3.2.6 Cluster „Raumplanung und Bevölkerungsschutz“ und allgemeine Anpassungskapazität

Das Cluster „Raumplanung und Bevölkerungsschutz“ besteht aus den beiden Querschnitt-Handlungsfeldern:

- Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung
- Bevölkerungsschutz.

Beide Handlungsfelder sind nur indirekt von den Folgen des Klimawandels betroffen und wurden daher hinsichtlich ihrer Anpassungskapazität im Netzwerk betrachtet. Das Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“ ist für den Schutz der Bevölkerung zuständig und hat als solches viele Schnittstellen (z.B. Infrastrukturen). Zur Beurteilung des Beitrags des Bevölkerungsschutzes konnte nicht auf eine entsprechende Datenbasis zurückgegriffen werden, und es besteht weiterhin Forschungsbedarf. Das Handlungsfeld „Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung“ spielt eine zentrale Rolle für die vorausschauende Anpassung an den Klimawandel der anderen Handlungsfelder.

In der Regionalplanung werden bisher vor allem die anpassungsrelevanten Themen „Verschiebung der Lebensräume von Pflanzen und Tieren“ und „Schutz vor Hitzefolgen“ aufgegriffen. Es gibt noch eine Reihe weiterer Klimawirkungen (etwa Hochwasser), bei denen die Regionalplanung wichtige Maßnahmen zur Vorsorge umsetzen und anregen kann (siehe Kapitel 2).

Die Raumplanung trägt aufgrund der handlungsfeldübergreifenden Ansatzpunkte zur allgemeinen Anpassungskapazität bei. Die damit verbundenen Abwägungs- und Planungsprozesse benötigen längere Anpassungszeiträume, die zur Schaffung von Synergien und zur Klärung von Konflikten bei der Anpassung genutzt werden können.

Anpassungsmaßnahmen können nicht nur im Bereich der räumlichen Planung initiiert werden. Alle gesellschaftlichen Akteure – die öffentliche Hand, Unternehmen und Organisationen sowie Privatpersonen – sind aufgefordert, sich anzupassen und zu einem klimaresilienten Deutschland beizutragen.

Inwieweit Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden, ist auch eine Frage der ökonomischen und sozialen Bedingungen in den Gemeinden und Regionen. Sie werden hier als allgemeine (handlungsfeldübergreifende) Anpassungskapazität bezeichnet. Der Osten Deutschlands beispielsweise, der verstärkt mit den Folgen von Hitze und Trockenheit auf Gesundheit, Boden, Land- und Forstwirtschaft sowie biologische Vielfalt umgehen muss, gehört im bundesdeutschen Vergleich zu den Regi-

onen mit starken strukturellen Defiziten (siehe Abbildung 20[31]). Dort sind Kaufkraft und Bruttowertschöpfung vergleichsweise gering. Wesentlich höher sind diese in den Ballungsregionen Süddeutschlands sowie teilweise im Norden und Westen der Republik. Letztere profitieren zudem von einer guten infrastrukturellen Ausstattung. Eine Ausnahme ist die Metropolregion Rhein-Ruhr und Bremen. Auch hier sind strukturelle Schwächen zu erkennen und die derzeit hohe Arbeitslosigkeit kann die finanziellen Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel von Bevölkerung und öffentlicher Hand einschränken.

Abbildung 20: Typisierung der Kreisregionen in Deutschland nach ausgewählten siedlungsstrukturellen, ökonomischen und sozialen Merkmalen (Abbildung noch in Bearbeitung)

Quelle: Maretzke, Steffen; Kreft, Daniel: Regionale Disparitäten in Deutschland auf der Ebene von Gemeinden und Kreisen. Unveröffentlichte Studie im Auftrag des Deutschen Zentrums für Altersfragen

3.3 Handlungsfeldübergreifende thematische und räumliche Schwerpunkte

Mit zunehmendem Klimawandel, wie er gegenwärtig projiziert wird, steigt das Schadenspotenzial für Natur, Gesellschaft und Wirtschaft. In fast allen Clustern ist schon bis Mitte des Jahrhunderts selbst für den Fall eines schwachen Wandels mit Beeinträchtigungen zu rechnen. Ein starker Wandel kann für alle Cluster erhebliche Gefährdungen mit sich bringen. Bis Ende des Jahrhunderts lassen die Klimamodelle noch deutlich stärkere Klimaänderungen mit entsprechend stärkeren Auswirkungen in den einzelnen Clustern erwarten (siehe Kapitel D1 des Fortschrittsberichts).

Das Schadenspotenzial von Hochwasser (Flusshochwasser, Sturzfluten und Sturmfluten) sowie Hitze und graduellen Temperaturänderungen wird als besonders hoch eingeschätzt. Jedes dieser Klimasignale kann in den zentralen Clustern „Wasser“, „Gesundheit“ und „Infrastrukturen“ schwere negative Folgen haben. Für das hohe Schutzgut der menschlichen Gesundheit ist vor allem Hitze eine große Gefährdung. Infrastrukturen, welche sehr große Sachwerte darstellen, können von allen Extremwetterereignissen schwer beschädigt werden.

Neben Klimasignalen (und -änderungen) müssen auch Sensitivitäten und die Anpassungskapazität räumlich differenziert betrachtet werden. So haben Ballungszentren vor allem gegenüber gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels und Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen eine hohe Sensitivität, da sie im Vergleich zu ländlichen Regionen dichter besiedelt und bebaut sind. Gleichzeitig bieten viele Ballungszentren gute Voraussetzungen zur Anpassung an den Klimawandel, sowohl hinsichtlich der Bevölkerungsstruktur als auch der finanziellen Ressourcen. Eine besonders hohe Gefährdung stellt der Klimawandel für wirtschaftlich schwache Regionen und solche mit einer sinkenden Wirtschaftskraft (zum Beispiel aufgrund einer abnehmenden Bevölkerung) dar. Hier sind die Ressourcen zur Anpassung an Klimawirkungen geringer. Dies wird umso problematischer, je mehr mit steigenden Schäden an (teuren) Infrastrukturen zu rechnen ist.

Die zentralen Ergebnisse der vom Netzwerk Vulnerabilität durchgeführten Analysen und Bewertungen können abschließend zu sechs handlungsfeldübergreifenden und räumlichen Schwerpunkten der Folgen des Klimawandels zusammengefasst werden (siehe Abbildung 21)**:**

1. **Schäden durch ansteigende Hitzebelastung in Verdichtungsräumen (besonders betroffene Cluster: Gesundheit und Infrastrukturen; räumlicher Schwerpunkt: Ballungsgebiete in warmen Regionen, die sich in Zukunft noch ausdehnen werden)**

[31] Die Abbildung wird für den 7. Altenberichts der Bundesregierung (www.siebter-altenbericht.de) erarbeitet. Die Altenberichte der Bundesregierung unterstützen altenpolitischer Entscheidungsprozesse und die öffentliche Diskussion zu Fragen der Politik für das Alter.

2. **Beeinträchtigung der Wassernutzungen durch zunehmende Erwärmung und (in ferner Zukunft) vermehrter Sommertrockenheit (besonders betroffene Cluster: Wasser, Land und Infrastrukturen; räumlicher Schwerpunkt: Regionen mit warmem und trockenerem Klima in Ostdeutschland und dem Rhein-Einzugsgebiet)**
3. **Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Starkregen und Sturzfluten in urbanen Räumen (besonders betroffene Cluster: Wasser, Infrastrukturen und Wirtschaft, räumlicher Schwerpunkt: Ballungszentren im nordwestdeutschen Tiefland, Mittelgebirge und südwestdeutschem Raum)**
4. **Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Flussüberschwemmungen (besonders betroffene Cluster: Wasser, Infrastrukturen und Wirtschaft; räumlicher Schwerpunkt: Ballungsräume in Flusstälern des Norddeutschen Tieflands, aber auch Einzugsgebiete des Rheins und der Donau)**
5. **Schäden an Küsten infolge von (in ferner Zukunft verstärktem) Meeresspiegelanstieg und damit verbundenem erhöhter Seegang sowie steigender Sturmflutgefahr (besonders betroffene Cluster: Wasser, Infrastrukturen und Wirtschaft; räumlicher Schwerpunkt: Küste)**
6. **Veränderung der Artenzusammensetzung und der natürlichen Entwicklungsphasen durch einen gradueller Temperaturanstieg (besonders betroffene Cluster: Gesundheit, Land, Wasser; räumliche Schwerpunkte: Meere und ländliche Räume)**

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

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

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

Abbildung 21: Regionale Betroffenheit und handlungsfeldübergreifende Folgen des Klimawandels in Deutschland (nahe Zukunft)

3.4 Erkenntnisse für ein zukünftiges Vorgehen

Empfehlungen zum weiteren Forschungsbedarf

Die Vulnerabilitätsanalyse hat weiteren Forschungsbedarf auf Ebene des Systemverständnisses, der Verfügbarkeit von geeigneten Daten, Indikatoren und Modellen ergeben. Diese Faktoren hängen meist miteinander zusammen (Details siehe Abschlussbericht Netzwerk Vulnerabilität).

Grundsätzlich können trotz des Forschungsbedarfs bereits jetzt belastbare Aussagen zu möglichen Klimawirkungen getroffen werden, weil der Trend der klimatischen Entwicklungen vielfach deutlich erkennbar ist. Insbesondere durch Temperaturanstieg bedingte Klimawirkungen können vergleichsweise robust beschrieben und projiziert werden. **Bei den Klimaprojektionen haben die Daten zu Starkwind noch große Bandbreiten, die zu hohen Unsicherheiten in den Aussagen führen. Die Aussagen zur Entwicklung der Meeresspiegelanstiege an der deutschen Nord- und Ostseeküste und die damit zusammenhängende Erhöhung der Sturmfluten ist ebenfalls noch Forschungsgegenstand.**

Die Kenntnis zur Sensitivität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel und möglicher sozioökonomischen Entwicklungen ist deutlich geringer als die Kenntnisse zu den möglichen klimatischen Entwicklungen. **Es besteht weiterer Forschungsbedarf, um geeignete sozioökonomische Daten bereit zu stellen und Indikatoren zu entwickeln, die den Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Merkmalen und der Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel spezifisch erfassen und in hoher regionaler Auflösung abbilden können.** Je nach Klimawirkung werden zusätzliche Daten zu unterschiedlichen Einflussfaktoren benötigt. Zudem besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Modellierung von langfristigen sozioökonomischen Veränderungen, um die Sensitivität in ferner Zukunft einschätzen zu können.

Ebenfalls gering ist die Kenntnis der allgemeinen **Anpassungskapazität. Hier fehlen sowohl eine konsistente und einheitliche Methodik zur Quantifizierung als auch geeignete Daten.** Zur detaillierten Ableitung der Anpassungskapazität der einzelnen Handlungsfelder und in Bezug auf einzelne Klimawirkungen müssten von den zuständigen Ressorts belastbare Aussagen, auch unter Berücksichtigung der finanziellen Kapazitäten, über konkrete Anpassungsmöglichkeiten bereit gestellt werden sowie die Möglichkeiten der privaten Akteure untersucht werden. Aufgrund der Datenlage konnten im Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“, welches als Teil der allgemeinen Anpassungskapazität angesehen werden kann, keine Aussagen getroffen werden. Im Bereich der Raumplanung fehlen bundesweite Daten zu tatsächlichen Anpassungsaktivitäten auf der kommunalen Ebene. Eine Evaluation der Maßnahmen auf allen politischen Ebenen würde Aussagen zu Anpassungskapazität pro Klimawirkung erlauben, die in dieser Analyse nicht berücksichtigt werden konnten.

Über 40 der 72 als potenziell relevant bewerteten Klimawirkungen konnten teilweise aufgrund fehlenden Systemverständnisses, meist aber wegen fehlender bundesweiter Daten nicht über Modelle oder Indikatoren quantifiziert werden. Stattdessen wurden sie auf Basis von Expertengesprächen qualitativ eingeschätzt. 24 der so quantifizierten Klimawirkungen wurde nur eine geringe Gewissheit bescheinigt. Hier wäre die Entwicklung von Indikatoren, für die bundesweit einheitlich Daten erhoben werden können, gekoppelt mit einer Modellierung künftiger Entwicklungen wünschenswert. Beispielsweise laufen am Umweltbundesamt derzeit mehrere Forschungsprojekte, um besser zu verstehen, wie sich der Klimawandel auf die Ausbreitung von Überträgern von Krankheitserregern auswirken kann. Ein besseres Verständnis der Ausbreitung von Arten infolge des Klimawandels ist auch für die Handlungsfelder Fischerei, Biologische Vielfalt, Forst- und Landwirtschaft von Bedeutung.

23 der relevanten Klimawirkungen wurden auf Basis von Indikatoren quantifiziert. Eine geringe Gewissheit haben hiervon die Aussagen zu 7 Klimawirkungen. Teilweise besteht dort noch der Bedarf an zusätzlichen Datensätzen, insbesondere zur Sensitivität, um das vorhandene Systemverständnis

besser abbilden zu können, beispielweise Daten zum Gebäudezustand im Handlungsfeld Bauwesen. Teilweise werden auch neue Wirkmodelle benötigt, um der Komplexität der jeweiligen Systeme gerecht zu werden und die Auswirkungen des Klimawandels besser einschätzen zu können. Ein Beispiel ist die räumliche Zuordnung von Störungen des Verkehrs- und Energiesystems: Ordnet man die Folgen einer Störung dem jeweiligen Kreis zu, wo die Störung (z.B. infolge von Hochwasser), auftritt oder eher dem Quell- und/oder Zielgebiet des Verkehrs bzw. dem Versorgungsgebiet?

16 der Klimawirkungen wurden mithilfe von Wirkmodellen abgebildet, 3 nur mit geringer Gewissheit. Aufgrund fehlender Datensätze war es teilweise nicht möglich, vorhandene komplexere Modelle zu benutzten oder spezifische Randbedingungen zu beachten. Ein Beispiel ist ein fehlender bundesweiter Datensatz zu Deichen an Flussläufen und Küsten.

Während es bei den meisten der untersuchten Klimawirkungen mit mittlerer bis hoher Gewissheit möglich ist, Aussagen zu zukünftigen Entwicklungen zu treffen, können bei 31 Klimawirkungen nur mit geringer Gewissheit Aussagen getroffen werden. Besonders bei den Klimawirkungen, denen heute bereits eine mittlere oder zukünftig eine hohe Bedeutung hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Deutschland aber eine geringe Gewissheit bescheinigt wurde, besteht erhöhter Forschungsbedarf. Dies betrifft folgende Klimawirkungen:

Forstwirtschaft:	• Schäden durch Windwurf • Schäden durch Schadorganismen
Fischerei:	• Gebietsfremde Arten, Artenspektrum • Wachstum, Reproduktion und Sterblichkeit von Fischbeständen
Küsten- und Meeresschutz:	• Belastung von Bauwerken und Infrastrukturen • Schäden an Küsten (naturräumliche Veränderungen) • Sturmfluten
Bauwesen:	• Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Sturmfluten • Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Starkwind
Industrie und Gewerbe:	• Gefahr einer möglichen Freisetzung von gefährlichen Stoffen

Empfehlungen für ein integriertes und langfristige Vorgehen bei der Anpassung

Wie die oben beschriebene Analyse zeigt, hat der Klimawandel handlungsfeld- und damit ressortübergreifende Auswirkungen. Außerdem sind mögliche Klimawirkungen zwar regional verschieden, aber dennoch so großräumig, dass eine länderübergreifende Zusammenarbeit sinnvoll und wünschenswert wäre. Daher unterstreichen die Ergebnisse die Notwendigkeit des in der DAS verankerten integrativen Handlungsansatzes.

Insbesondere die Cluster Gesundheit, Wasser und Infrastrukturen erfordern einen integrativen Ansatz bei der Anpassung an den Klimawandel, da sie besonders viele Verknüpfungen mit anderen Clustern aufweisen: Wasser, weil es am Anfang vieler kaskadischer Auswirkungen des Klimawandels steht, und die Gesundheit, weil sie am Ende von vielen im Netzwerk Vulnerabilität identifizierten Wirkungsketten betroffen ist. Der Bau und die Anpassung von Infrastrukturen wiederum sind oft verbunden mit integrierten Planungsprozessen. Eine integrierte Planung unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Schutzzielen wird von dem für die Anpassungskapazität zentralen Cluster Raumplanung und Bevölkerungsschutz geleistet.

Integrative Ansätze benötigen grundsätzlich längere Zeithorizonte. Dies gilt für integrierte Planungsprozesse mit ihren längeren Fristen, bevor Maßnahmen in die Umsetzung kommen können. Lange Zeiträume für die Anpassung an den Klimawandel werden aber auch benötigt, wenn Infrastruktursysteme (wie das Straßennetz) angepasst werden sollen. Auch die Anpassung komplexer natürlicher Systeme, auf die der Mensch nur einen begrenzten Einfluss hat (etwa die Bestände von Flora und Fauna) ist zeitintensiv. In vielen Handlungsfeldern ist es

daher wichtig, schon heute Anpassungsmaßnahmen zu initiieren, auch wenn die Auswirkungen des Klimawandels derzeit noch gering erscheinen mögen (siehe Kapitel E 3 und Anhang 2).

Die durch Experteninterviews ermittelte Anpassungskapazität der meisten Handlungsfelder, außer der biologischen Vielfalt, der Forstwirtschaft und der Fischerei, wird in Deutschland als mittel bis hoch eingeschätzt. Damit diese wirksam werden kann, müssen Anpassungsmaßnahmen geplant und umgesetzt werden. Umsetzungsdefizite bei der Nutzung der Anpassungskapazitäten sollten mittels einer Evaluation der Maßnahmenumsetzung auf allen Ebenen identifiziert werden. Darüber hinaus sollten bei der künftigen Maßnahmenplanung und -umsetzung die sehr unterschiedlichen sozioökonomischen Voraussetzungen beachtet werden, die zu einer unterschiedlichen allgemeinen Anpassungskapazität führen. **Die bereits jetzt zunehmende soziale Ungleichheit zwischen den Regionen kann dazu führen, dass benachteiligte Regionen in Zukunft noch größere Probleme bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen haben. Dadurch könnte die soziale Ungleichheit in Deutschland durch den Klimawandel zusätzlich ansteigen.**

Ein weiterer Punkt ergibt sich noch aus der Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland: **Eine erfolgreiche Verringerung der Vulnerabilität hängt entscheidend davon ab, Klimaanpassung, Raumentwicklung, Klima-,Umwelt- und Naturschutz gemeinsam zu denken und zu realisieren.** Deutschland kann nur dann langfristige, Klimawandel bedingte Gefährdungen wirklich mindern, wenn Anpassungsmaßnahmen dem Klima- und Umweltschutz nicht zuwider laufen. So kann beispielsweise die flächendeckende Einführung von Raumklimageräten keine geeignete Maßnahme gegen die zunehmende Aufheizung von Innenstädten sein. Vielmehr ist die Schaffung von Frischluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebieten, also eine klimagerechte Stadtentwicklung, notwendig. Auch in anderen Handlungsfeldern ist eine erfolgreiche Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels nur durch integrierte, langfristig ausgerichtete und umweltpolitisch vorausschauende Maßnahmen möglich. Diese Beispiele zeigen, was die Auswertung der Vulnerabilität Deutschlands insgesamt unterstreicht: **Eine erfolgreiche Verringerung der Vulnerabilität erfordert ein langfristiges, integriertes und gleichzeitig auch umweltgerechtes Vorgehen.**