

Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen

Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe
Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung



Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet I 1.6 – Kompetenzzentrum Klimafolgen
und Anpassung (KomPass)
Postfach 14 06
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0

Ansprechpartnerin:

Dr. Inke Schauser
Klimafolgen- und Vulnerabilitätsbewertungen
Tel: +49 340-2103-2463
Inke.Schauser@uba.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Autorinnen und Autoren:

Mareike Buth, Walter Kahlenborn (adelphi)
Prof. Dr. Stefan Greiving, Dr. Mark Fleischhauer
(plan + risk consult)
Dr. Marc Zebisch, Dr. Stefan Schneiderbauer
(Europäische Akademie Bozen)
Dr. Inke Schauser (Umweltbundesamt)

Redaktion:

Dr. Esther Hoffmann, Johannes Rupp, Richard Harnisch
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung

Gestaltung:

Volker Haese, Dipl. Grafik-Designer

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Stand: Februar 2017

ISSN 2363-832X (Internet)

Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen

Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung

Die Interministerielle Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel (IMA Anpassung) der Bundesregierung wird geleitet vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

In der IMA Anpassung vertreten sind

Auswärtiges Amt (AA),

Bundeskanzleramt (BK),

Bundesministerium der Finanzen (BMF),

Bundesministerium des Innern (BMI),

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS),

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF),

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL),

Bundesministerium der Verteidigung (BMVg),

Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ),

Bundesministerium für Gesundheit (BMG),

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI),

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi),

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ).

Ständig beisitzende Oberbehörde ist das Umweltbundesamt (UBA).

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Rahmensetzung für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen	8
2.1	Ziele und Umfang von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen	8
2.2	Konzepte für Vulnerabilität	10
2.3	Im Wechselspiel: Wissenschaftliche Analyse und normative Bewertung	11
3	Empfehlungen für die Durchführung von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen	14
3.1	Arbeitsschritt 1: Analyse konzipieren und vorbereiten	14
3.1.1	Fachakteur/innen einbinden	14
3.1.2	Methodischen Rahmen und zentrale Begriffe konkretisieren	16
3.1.3	Szenarien für klimatischen Einfluss, räumliches Vorkommen und Sensitivität festlegen	18
3.2	Arbeitsschritt 2: Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse schrittweise durchführen	22
3.2.1	Wirkungsketten entwickeln	22
3.2.2	Ausgewählte sektorale Klimawirkungen operationalisieren	24
3.2.3	Klimawirkungen bewerten und aggregieren	28
3.2.4	Anpassungskapazität bewerten	33
3.2.5	Vulnerabilität bewerten	34
3.3	Arbeitsschritt 3: Ergebnisse kommunizieren und nutzen	36
4	Literaturverzeichnis	38
5	Weiterführende Informationen und Links	40
5.1	Netzwerk Vulnerabilität	40
5.2	Klimadaten	40
5.3	Sozioökonomische Daten	40
6	Anhang	42
6.1	Anhang 1: Veränderungen im Vulnerabilitätsverständnis des IPCC	42
6.2	Anhang 2: Beispielhafte Erläuterung von Ursache-Wirkungsbeziehungen in einer Wirkungskette	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Umfang einer Vulnerabilitätsanalyse	9
Abbildung 2: Vulnerabilitätskonzept im Leitfaden	10
Abbildung 3: Methodisches Konzept für Vulnerabilitätsanalysen in Anlehnung an das Netzwerk Vulnerabilität	17
Abbildung 4: Beispiel für eine Wirkungskette im Handlungsfeld „Bauwesen“	23
Abbildung 5: Karten zum Indikator „Potenzielle Schäden an Gebäuden durch Sturzfluten“	29
Abbildung 6: Vulnerabilität nach IPCC 2007 und Risiko nach IPCC 2014	42
Abbildung 7: Kombination IPCC 2007 und IPCC 2014 Definitionen	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entscheidungsschritte im Netzwerk Vulnerabilität	12
Tabelle 2: Parameter und Kenngrößen der sozioökonomischen Entwicklung für die Landnutzungsszenarien (2009 bis 2030)	20
Tabelle 3: Bewertungsschema zum Grad der Gewissheit	27
Tabelle 4: Maske um die Bedeutung von Klimawirkungen für Deutschland zu bewerten (Handlungsfeld „Boden“)	30
Tabelle 5: Bewertung der Klimawirkungen für das Handlungsfeld Bauwesen	32
Tabelle 6: Kreuztabelle zur Bestimmung der Vulnerabilität eines Handlungsfeldes	35

1 Einleitung

Der Klimawandel hat Auswirkungen auf viele Bereiche der Gesellschaft, der Wirtschaft und der Umwelt. Wie diese aussehen können und welche Systeme besonders verwundbar sind, wird mithilfe von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien analysiert.

Mit diesem Leitfaden legt die Interministerielle Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung (IMA Anpassung) methodische Empfehlungen zur Durchführung von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen auf regionaler und nationaler Ebene vor und verweist auf weiterführende Materialien und Informationen.

Dieser Leitfaden soll den Durchführenden einen Teil der methodischen Vorarbeit und Konzeption abnehmen. Ziel ist es, vergleichbare Forschungsergebnisse sektoraler¹ und sektorenübergreifender Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen auf Bundes- und Landesebene zu erarbeiten. Gleichzeitig ist darauf hinzuweisen, dass der Leitfaden mit seinen Empfehlungen als Orientierung dienen soll und die Umsetzung dieser Empfehlungen jeweils nur unter Berücksichtigung der Gegebenheiten in der Praxis und der gegebenen Ressourcen erfolgen kann. So können Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen je nach Ausgangslage in unterschiedlicher Tiefe vorgenommen werden.

Kernzielgruppen des Leitfadens sind Bundes- und Landesbehörden. Darüber hinaus richtet er sich auch an Fördergeber auf Bundes- und Landesebene sowie Forschungs- und Beratungseinrichtungen, die zu den Themen Klimafolgen und Vulnerabilität auf regionaler und nationaler Ebene arbeiten und weitere Interessierte im In- und Ausland. Der Leitfaden wendet sich an Fachleute und setzt bei den Leserinnen und Lesern Vorwissen zu Klimawandel und Vulnerabilität voraus.

Dieser Leitfaden beruht auf den Erfahrungen des Netzwerks Vulnerabilität mit der ersten Vulnerabilitätsanalyse Deutschlands (adelphi/PRC/EURAC 2015a) und den Erfahrungen der Bundesländer mit Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen. Er baut auf den methodischen Empfehlungen des Netzwerkes Vulnerabilität auf (Buth et al. 2015).

Das Netzwerk Vulnerabilität

Das Netzwerk wurde 2011 im Auftrag der Bundesregierung im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) gegründet. Bis 2015 haben Wissenschaftler/innen und Expert/innen aus 16 Bundesbehörden und -institutionen aus neun Ressorts, unterstützt von einem wissenschaftlichen Konsortium, eine umfassende, übergreifende und deutschlandweite Vulnerabilitätsanalyse durchgeführt. Mithilfe einer innovativen Methode haben Forscher und Forscherinnen aus Bundesbehörden und Wissenschaft im Schulterschluss die wichtigsten Folgen des Klimawandels für Deutschland bewertet (adelphi/PRC/EURAC 2015a).

Weitere Informationen unter www.netzwerk-vulnerabilitaet.de

Das in diesem Leitfaden verwendete Verständnis von Vulnerabilität basiert auf dem Vulnerabilitätskonzept aus dem Vierten Sachstandsbericht (Assessment Report 4; AR4) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007a und b). Es wurde aufgrund der veränderten Begrifflichkeiten des Fünften Sachstandsberichts (IPCC 2014) geringfügig erweitert (siehe Anhang 1, Seite 42). Mit dem Leitfaden sollen bestehende Lücken der Vulnerabilitätskonzepte des IPCC geschlossen werden. So gibt er auch Empfehlungen wie das Konzept operationalisiert² werden soll.

¹ Im Rahmen dieses Leitfadens wird der Begriff „Sektor“ synonym zu den Handlungsfeldern verwendet, wie sie im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie definiert sind.

² Unter „Operationalisierung“ versteht man einen „Prozess, in welchem theoretische Begriffe zu deskriptiven Zwecken in der Weise definiert werden, dass die Sachverhalte, auf die sich die theoretischen Begriffe beziehen, empirisch beobachtbar und messbar werden“ (Nohlen 2005).

Zentrale Empfehlungen zur Durchführung von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen werden am Ende einiger Abschnitte dieses Leitfadens in Textboxen zusammengefasst (Überblick siehe unten).

Die Empfehlungen des Leitfadens stellen den aktuellen Stand des Wissens dar. Mit dem Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) wurde beschlossen, auf Bundesebene alle fünf bis sieben Jahre eine Vulnerabilitätsanalyse durchzuführen (Bundesregierung 2015). Es wird angestrebt, auch diesen Leitfaden in Verbindung mit diesem Prozess in ähnlichem Rhythmus weiterzuentwickeln. Die nächste Vulnerabilitätsanalyse für Deutschland soll 2021 fertiggestellt sein.

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN ZU FOLGENDEN THEMEN

Rahmensetzung für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen	13	Wirkungsketten entwickeln	24
Fachakteur/innen einbinden	15	Klimawirkungen operationalisieren	27
Konzeption einer Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsanalyse	18	Klimawirkungen bewerten und aggregieren . . .	31
Szenarien für klimatischen Einfluss, räumliches Vorkommen und Sensitivität	22	Anpassungskapazität und Vulnerabilität	34
		Darstellung und Dokumentation von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse . . .	37

2 Rahmensetzung für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen

Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel beschreibt den Grad, zu dem ein System – etwa ein Ökosystem, ein wirtschaftliches System oder soziales System – durch Klimaänderungen gefährdet ist.³ Zur Bewältigung der Wirkungen des Klimawandels ist Wissen über die Vulnerabilität eine wichtige Voraussetzung, um den Bedarf und die Dringlichkeit von Anpassungsmaßnahmen einschätzen, Maßnahmen planen und die notwendigen Ressourcen bereitstellen zu können. Vulnerabilitäts- und Klimawirkungsanalysen sind daher wichtige Voraussetzungen für die Entwicklung von Anpassungsstrategien: Sie identifizieren, welche Regionen oder Sektoren besonders vom Klimawandel betroffen sind und wo besonderer Anpassungsbedarf besteht.

2.1 Ziele und Umfang von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen

Mit Hilfe von Vulnerabilitäts- und Klimawirkungsanalysen können Schwerpunkte der Vulnerabilität oder der Betroffenheit durch den Klimawandel auf wissenschaftlicher Grundlage identifiziert werden. So soll es ermöglicht werden, Handlungsbedarfe zu erkennen und Handlungsoptionen zu priorisieren. Die Priorisierung ist aber meist nicht so einfach möglich. Denn zum einen kann die Wissenschaft die vielen normativen Schritte von Vulnerabilitäts- und Klimawirkungsanalysen alleine nicht leisten. Zum anderen gibt es neben der Vulnerabilität eines Systems gegenüber dem Klimawandel noch andere Aspekte und Prozesse, die aus Sicht der entscheidenden Akteure teilweise wichtiger, dringender oder eindeutiger sind und letztlich Anpassungshandlungen beeinflussen. In der Praxis dient die Einschätzung von Vulnerabilität unterschiedlichen expliziten und impliziten Zwecken und nicht für alle ist eine komplette Vulnerabilitätsanalyse notwendig bzw. möglich oder erwünscht:

1. **Wissen erzeugen**, um Auswirkungen des Klimawandels zu verstehen und Ansatzpunkte für Handlungsoptionen zu entwickeln.
2. **Bewusstsein** für die Folgen des Klimawandels und die Notwendigkeit der Anpassung schaffen, um (politischen) Handlungsdruck zu erzeugen.
3. **Schwerpunkte** der Klimawirkungen/Vulnerabilität identifizieren, um Handlungsbedarf zu priorisieren und bestimmte Handlungen zu begründen.
4. **Zusammenarbeit** zwischen den Akteuren verbessern, um besser abgestimmtes (sektorenübergreifendes) Handeln vorzubereiten.

Diese Zwecke können noch weiter unterteilt werden, je nach Zielgruppe und deren Vorstellungen.

Vulnerabilitäts- und Klimawirkungsanalysen umfassen verschiedene Teile, die für die einzelnen Zwecke unterschiedlich relevant sind. Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen beinhalten nicht nur Entscheidungen, die fachlich-objektiv begründbar sind, sondern auch solche, die auf normativ-wertbasierter Grundlage getroffen werden müssen. Eine komplette Vulnerabilitätsanalyse kann man in vier Teile unterteilen, bei denen die normativen Aspekte der Bewertung unterschiedlich stark ausgeprägt sind (siehe auch Abbildung 1). Sie umfasst auch eine Klimawirkungsanalyse, die aus einer Analyse der Ergebnisse der Klima- und Klimawirkungsforschung und einer Klimawirkungsbewertung besteht. Im Folgenden wird der Begriff der Vulnerabilitätsanalyse als Oberbegriff für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen verwendet:⁴

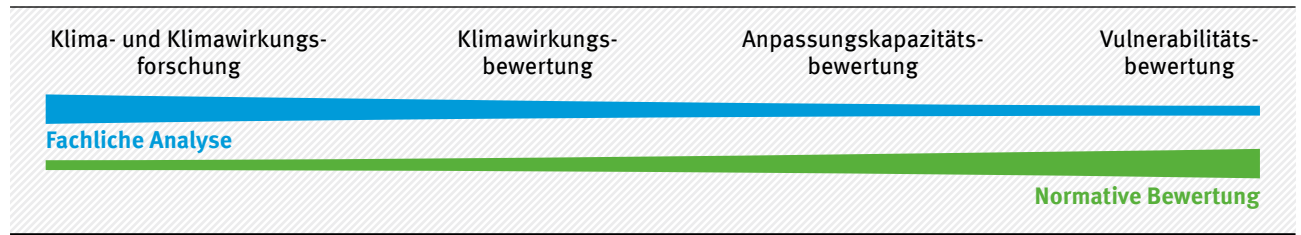
1. **Klima- und Klimawirkungsforschung:** Analyse der Klimaentwicklung sowie der Auswirkungen von klimatischen Ereignissen und Veränderungen auf sozioökonomische oder biophysikalische Systeme mittels Klimawirkungsmodellen, Proxy-Indikatoren und Expertengesprächen.
2. **Klimawirkungsbewertung:** Auswahl und Bewertung der Ergebnisse der Klimawirkungsforschung im Hinblick auf deren Bedeutung für das als relevant angesehene, betroffene System.

³ Vulnerabilität ist der durch das IPCC 2004/2007 etablierte und in Deutschland bisher gebräuchliche Begriff für die Einschätzung der Gefährdung von Systemen durch den Klimawandel. Bei Untersuchungen von Gefahren und Gefährdungen im Rahmen des Katastrophenschutzes und in der Wirtschaft ist der Begriff Risiko gebräuchlich, der seit dem IPCC 2014 auch für Untersuchungen im Bereich des Klimawandels verstärkt verwendet wird. Man spricht auch von Klimarisiken.

⁴ Bezogen auf Kapitel 3 bedeutet dies, dass die Durchführung von Klimawirkungsanalysen nach Kapitel „Klimawirkungen bewerten und aggregieren“ endet. Die darauf folgende Bewertung der Anpassungskapazität und der Vulnerabilität gehen über diese hinaus.

Abbildung 1:

Umfang einer Vulnerabilitätsanalyse



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt 2017

3. **Anpassungskapazitätsbewertung:** Abschätzung der Anpassungskapazität, d. h. der Möglichkeiten eines Systems, sich durch zusätzliche Maßnahmen in der Zukunft an den Klimawandel anzupassen.
4. **Vulnerabilitätsbewertung:** Einschätzung der Vulnerabilität basierend auf der Abschätzung der Anpassungskapazität und Klimawirkungsbewertung.

Diese Teile bauen aufeinander auf und ergänzen sich, wie die Klimawirkungs- und die Anpassungskapazitätsbewertung. Der schrittweise Arbeitsablauf einer Vulnerabilitätsanalyse wird in Kapitel 3 dargestellt. Eine Vulnerabilitätsanalyse kann für einzelne Handlungsfelder oder Sektoren durchgeführt werden. Werden mehrere Handlungsfelder vergleichend analysiert, spricht man üblicherweise von einer sektorenübergreifenden Analyse.

Grundsätzlich erfüllen die einzelnen Teile einer Vulnerabilitätsanalyse die oben genannten Zwecke je nach Umfang unterschiedlich gut. Je nach Zweck muss daher keine komplette Vulnerabilitätsanalyse durchgeführt werden, sondern es ist auch möglich, bei der Klimawirkungsbewertung zu enden:

- **Klima- und Klimawirkungsforschung** erzeugt Wissen und zeigt Bandbreiten und Handlungsoptionen auf. Wie die Arbeiten des IPCC gezeigt haben, ist sie zudem geeignet, Bewusstsein für die Notwendigkeit der Anpassung zu schaffen und damit Handlungsdruck zu erzeugen.
- Eine **Klimawirkungsbewertung** kann dies verstärken. Darüber hinaus ermöglicht sie es, Schwerpunkte und Handlungsbedarf zu identifizieren, wenn die Anpassungskapazität der betroffenen Systeme sich wenig unterscheidet oder nicht entscheidungsrelevant ist.
- Auch die **Bewertung der Anpassungskapazität** erhöht das Wissen über Zusammenhänge. Sie kann dazu führen, Handlungsoptionen zu verbessern

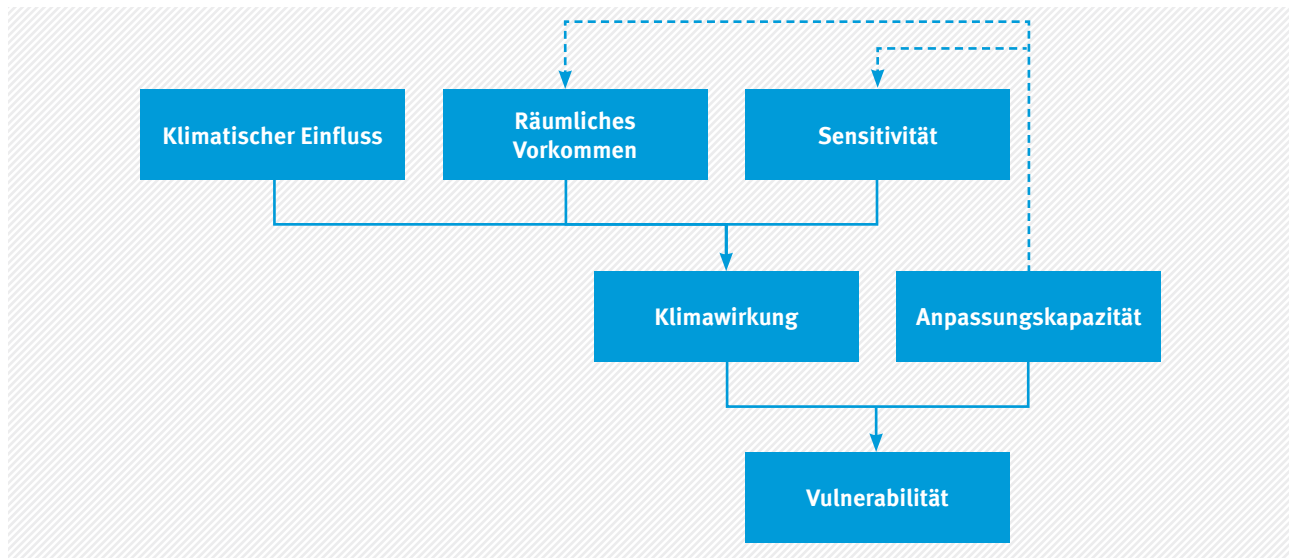
und an Anpassungsbedürfnissen auszurichten bzw. Schwerpunkte für externe Unterstützung zu identifizieren. Da die Analyse und Bewertung der Anpassungskapazität methodisch komplex ist, kann dies umso besser gelingen, je konkreter die Maßnahme und der Handlungsgrund sind.⁵

- Indem eine **Vulnerabilitätsbewertung** die Bewertung von Handlungsbedarf und Anpassungsmöglichkeiten verbindet, kann sie zeigen, wo Systeme besonders betroffen sind und besondere Unterstützung bei der Anpassung benötigen. Auf diese Weise trägt sie dazu bei, Schwerpunkte aufzuzeigen.
- Eine **sektorenübergreifende Analyse** wird in den einzelnen Handlungsfeldern in der Regel nicht so in die Tiefe gehen wie eine sektorale Untersuchung, aber sie kann Wissen über Zusammenhänge, Synergien und Konflikte aufzeigen. Dadurch werden Vergleiche ermöglicht, die dazu beitragen können, Bewusstsein für die Vielschichtigkeit des Problems zu schaffen und letztlich sektorenübergreifend Schwerpunkte zu identifizieren. Sektorenübergreifende Analysen dienen darüber hinaus dazu, die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren und das wechselseitige Voneinanderlernen übergreifend zu steuern und zu verbessern.

Je intensiver die Akteure, die über die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen entscheiden, bereits in die Analyse und Bewertung einbezogen werden, desto wahrscheinlicher ist es, dass sie die identifizierten Klimawirkungen adressieren und Handlungsnotwendigkeiten in konkrete Maßnahmen überführen. Sind Akteure in integrative oder sektorenübergreifende Betrachtungen eingebunden, kann die Abwägung von Handlungsoptionen befördert werden. Die Vulnerabilitätsanalyse dient damit der Ableitung von Anpassungsmaßnahmen.

⁵ In ähnlicher Weise kann die Bewertung der Bewältigungskapazität wirken, siehe Ausführungen Abschnitt 3.1.2.

Abbildung 2:

Vulnerabilitätskonzept im Leitfaden

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt 2017

2.2 Konzepte für Vulnerabilität

Der Begriff „Vulnerabilität“ wird häufig und mit unterschiedlichen Bedeutungen verwendet. Für das Vulnerabilitätsverständnis in diesem Leitfaden wurde ein auf dem Vulnerabilitätskonzept des IPCC 2007 beruhendes und mit dem Risikokonzept des IPCC 2014 kompatibles Konzept entwickelt; (siehe Erläuterung zu beiden Ansätzen und der Weiterentwicklung im Anhang 1).

Das verwendete Vulnerabilitätskonzept entspricht größtenteils der im Netzwerk Vulnerabilität verwendeten und mit der IMA Anpassung abgestimmten Methodik. Es wurde entsprechend des wissenschaftlichen Fortschrittes weiterentwickelt, um die für bestimmte Klimawirkungen wichtigen räumlichen Strukturen ausdrücklich zu berücksichtigen.

Hierbei können die einzelnen Elemente wie folgt definiert werden:

- Der **klimatische Einfluss** wird durch die für eine Klimawirkung relevanten Klimagrößen wie Temperatur, Niederschlag, Wind etc. beschrieben.⁶
- Die **Sensitivität** (Anfälligkeit oder Empfindlichkeit) beschreibt, in welchem Maße ein System (z. B. Wirtschaftssektor, Bevölkerungsgruppe, Ökosystem) aufgrund seiner Eigenschaften auf einen klimatischen Einfluss reagiert.

- Das **räumliche Vorkommen** beschreibt die Anwesenheit des durch klimatischen Einfluss potenziell beeinträchtigten Systems in einer Untersuchungsregion (z. B. Landnutzungsarten).⁷
- Eine **Klimawirkung** beschreibt die beobachtete oder potenzielle Wirkung des klimatischen Einflusses auf das System unter Berücksichtigung der entsprechenden Sensitivität und des räumlichen Vorkommens.⁸
- Die **Anpassungskapazität** umfasst die Möglichkeiten eines Systems, sich durch zusätzliche Maßnahmen in der Zukunft an den Klimawandel anzupassen und potenziellen Schaden zu mindern oder Chancen zu nutzen.
- Die **Vulnerabilität** ergibt sich aus der Klimawirkung auf ein System und dessen Anpassungskapazität.⁹

Bei allen zukunftsgerichteten Konzepten ist es wichtig zu beachten, dass der zeitliche Bezug systematisch mit berücksichtigt wird. Denn sowohl die externe Einflussgröße, nämlich das Klima, als auch die sozioökonomischen Charakteristika des Systems, beispielsweise Bevölkerungszusammensetzung oder Landnutzung, und damit die Sensitivität, verändern sich im Laufe der Zeit. Eine besondere Herausforderung ist, dass das Veränderungspotenzial eines Systems über technische und finanzielle Möglichkeiten hinaus von vielen Fakto-

⁶ Beim IPCC 2007 wird hierfür der Begriff Exposition und beim IPCC 2014 der Begriff Gefährdung verwendet.

⁷ Beim IPCC 2014 wird hierfür der Begriff Exposition verwendet. Das räumliche Vorkommen war im IPCC 2007 ein Aspekt der Sensitivität.

⁸ Bei Verwendung der IPCC 2014 Begrifflichkeiten wird anstelle von Klimawirkung von einem Risiko ohne (zusätzliche) Anpassung gesprochen.

⁹ Bei Verwendung der IPCC 2014 Begrifflichkeiten kann diese alternativ als Risiko mit (zusätzlicher) Anpassung bezeichnet werden.

ren beeinflusst wird, deren Entwicklung und Bedeutung für die Sensitivität des Systems schwer abzuschätzen sind. Hierzu zählen beispielsweise die Prozesse, die zur Entscheidungsfindung führen, die Fähigkeit, sich auf neue Gegebenheiten einzustellen oder das Bewusstsein, dass Anpassungshandeln überhaupt notwendig ist. Für das Veränderungspotenzial, insbesondere für die Anpassungskapazität, heißt das, dass diese aufgrund der methodischen Komplexität und der notwendigen normativen Entscheidungen meist nur unscharf zu bestimmen sind. Die vorhandenen Vulnerabilitätskonzepte geben leider keine Auskunft darüber, wie die Funktion zwischen den Komponenten der Vulnerabilität beschaffen ist. Ganz einfach ausgedrückt kann man jedoch folgende Rechnung aufmachen:

Eine Klimawirkung oder Klimafolge entsteht aus klimatischem Einfluss und Sensitivität und räumlichem Vorkommen. Die Vulnerabilität ergibt sich aus der (potenziellen) Klimawirkung vermindert um die Anpassungskapazität.

2.3 Im Wechselspiel: Wissenschaftliche Analyse und normative Bewertung

Vulnerabilität ist kein absoluter Wert und daher nicht unmittelbar messbar. Vielmehr soll eine Vulnerabilitätsanalyse helfen, potenzielle Klimawirkungen auf ein System aufzuzeigen und dessen Möglichkeiten greifbar zu machen, wie es mit diesen Klimawirkungen umgehen oder sich darauf vorbereiten kann. Hierbei spielen physische, aber auch ökonomische und soziale Faktoren eine Rolle. Nicht alle davon können quantitativ erfasst werden. Hinzu kommt, dass Vulnerabilität niemals vollständig und final abgebildet werden kann. Dazu ist die Unsicherheit zu groß, mit der zukünftige Entwicklungen etwa hinsichtlich des Klimas oder sozialer und technischer Aspekte vorhergesagt werden können. Weiterhin führt die hohe Anzahl an Faktoren, die die Klimawirkungen auf ein System und seine Anpassungskapazität bestimmen, zu Unsicherheiten – und zwar umso mehr, je komplexer das betrachtete System ist.

Die Analyse und Bewertung von Klimawirkungen und Vulnerabilität ist immer auch ein normativer Vorgang.¹⁰ Wo fachliche Begründungen an ihre Grenzen stoßen, muss normativ, d.h. wertbasiert, entschieden werden. Die Entscheidungen, die im Rahmen einer solchen Analyse – fachlich und normativ – getroffen werden müssen, umfassen zum Beispiel:

- ▶ die Abgrenzung des betrachteten Systems (Welche Region, welche Sektoren oder Systeme sollen betrachtet werden? Wie werden sie definiert?),
- ▶ die Auswahl der Klimamodelle und -szenarien und der sozioökonomischen Szenarien,
- ▶ die Auswahl des Klimamodellensembles,
- ▶ die Auswahl der betrachteten Klimawirkung,
- ▶ die Wahl der Operationalisierung für die einzelnen Klimawirkungen und die Anpassungskapazität,
- ▶ die Auswahl der einzubeziehenden Expertinnen und Experten und so weiter.

Insbesondere Bewertungen erfordern normative Setzungen, etwa wenn es darum geht, Vulnerabilität auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse zu Klimawirkungen und Anpassungskapazität zu beurteilen. Beispielsweise gibt es keine allgemeingültige Vorschrift, wie solche Ergebnisse zu einem Vulnerabilitätswert zusammengeführt werden müssen. Nach Erfahrung des Netzwerks Vulnerabilität gibt es für viele Klimawirkungen keine objektiv nachvollziehbaren Maßstäbe wie Schwellenwerte oder ähnliches, die eine fachlich-objektive Bewertung ermöglichen. In diesen Fällen müssen eigene Bewertungskriterien definiert werden, die sich z. B. an Vorgaben wie Gesetzgebung, Planungsgrundlagen oder Beschlüssen orientieren können.

Für die Interpretation der Ergebnisse ist es daher wichtig, deutlich zu unterscheiden: Auf der einen Seite gibt es normative Entscheidungen und Bewertungen, spricht die Wertebene. Dieser steht auf der anderen Seite die Sachebene gegenüber, die die wissenschaftlich bestimmbaren Fakten und fachlich begründeten Entscheidungen umfasst. Nur indem alle normativen Vorgänge transparent dargestellt werden, können die Ergebnisse von außen nachvollzogen werden.

¹⁰ Im Gegensatz zu deskriptiven Aussagen, die objektiv überprüft werden können, basieren normative Aussagen auf Werturteilen. Diesen Werturteilen geht meist ein (qualitativer) Abwägungsprozess voraus, der zu grundsätzlich anerkannten Normen, d. h. Werten und Maßstäben führt. Diese Normen können durch einen (aufgrund von Fachkenntnissen oder einem politischen Mandat) legitimierten Akteurskreis festgelegt werden, z. B. Gesetze, technische Regeln, oder aber aufgrund von Erfahrungswissen in einer Gesellschaft oder in einem Expertenkreis verankert sein. Letzteres führt dazu, dass sie nicht im Einzelnen objektiv nachvollziehbar sind.

Qualitätsmerkmale

Der Zweck einer Untersuchung (siehe Abschnitt 2.1) sollte klar definiert sein, auch weil eine Vulnerabilitätsanalyse immer im Kontext der vorhandenen Erfahrungen und des aktuellen Wissens entsteht: Die Bewertung einer Klimawirkung, der Sensitivität oder Anpassungskapazität basiert auf Erfahrungen und Wissen der Bewertenden, die sich schnell erweitern können. So kann ein einzelnes Extremereignis dazu führen, dass damit zusammenhängende Klimawirkungen anders bewertet werden. Darum ist es wichtig, alle Bewertungen und ihre Begründung gut zu dokumentieren.

Damit den Ergebnissen der Untersuchung vertraut wird und sie als Grundlage für Entscheidungen genutzt werden, sollte auf folgende Aspekte geachtet werden:

1. Legitimität und Repräsentativität der Akteure für die normativen Entscheidungen.
2. Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Vorgehens durch
 - a. klare Trennung der Sach- und der Wertebene, d. h. Unterscheidung der fachlichen Ergebnisse und der normativen Entscheidungen,
 - b. konsistente und vergleichbare Methodik über alle untersuchten Klimawirkungen und Handlungsfelder hinweg.
3. Robustheit der Ergebnisse, indem Bandbreiten berücksichtigt und Gewissheiten ausgewiesen werden.
4. Adressatengerechte Ausgestaltung und Kommunikation der Ergebnisse.

BEISPIEL: Zusammenarbeit im Netzwerk Vulnerabilität

Das Netzwerk Vulnerabilität vereint die Fach- und Methodenexpertise verschiedenster Ressorts und Disziplinen auf Bundesebene. Für die gemeinsame Analyse der Verwundbarkeit Deutschlands gegenüber dem Klimawandel war es daher von zentraler Bedeutung, eine gemeinsame Arbeitsgrundlage zu schaffen, die eine allgemein akzeptierte Fachterminologie und ein gemeinsames Verständnis von „Vulnerabilität“ und den Komponenten des Konzepts umfasst.

In der Regel war die Zusammenarbeit zwischen den Netzwerkpartnern, d. h. den Behördenvertreter/innen, und dem wissenschaftlichen Konsortium so organisiert, dass Entscheidungsgrundlagen und Analyseschritte vom Konsortium vorbereitet und dann mit den Netzwerkpartnern abgestimmt wurden. Im Anschluss führte das Konsortium dann die weitere Analyse durch und erarbeitete die Ergebnisse. Die beteiligten Behörden trafen die normativen Entscheidungen beispielsweise bei der Auswahl der Untersuchungsobjekte und der Bewertung der Ergebnisse. Sie trugen zudem mit Daten, Modellergebnissen und Expertenwissen zur Analyse bei.

Diese Arbeitsweise setzte eine stetige und kontinuierliche Kommunikation im Netzwerk voraus, die das Konsortium aktiv befördert und organisiert hat. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Entscheidungen und Bewertungen, die während der Analyse getroffen wurden und zeigt an, wer jeweils eingebunden war. Teilweise wurden zusätzliche wissenschaftliche Expertinnen und Experten eingebunden.

Tabelle 1:

Entscheidungsschritte im Netzwerk Vulnerabilität

Entscheidungsschritte	Beteiligte
1. Erarbeitung der Wirkungsketten	Netzwerkpartner/Konsortium
2. Auswahl der relevanten Klimawirkungen	Netzwerkpartner
3. Bestimmung der Sensitivitäten pro Klimawirkungen	Experten
4. Operationalisierung der Klimawirkungen (Wirkmodelle, Indikatoren, Expertengespräche)	Konsortium/Netzwerkpartner
5. Bewertung der Klimawirkungen	Netzwerkpartner
6. Bewertung der Gewissheit	Netzwerkpartner/Experten
7. Bewertung der Anpassungsdauer für die Ableitung der Handlungserfordernis für den Aktionsplan Anpassung	Netzwerkpartner
8. Bewertung der sektoralen Anpassungskapazität	Experten
9. Berechnung der sektoralen Betroffenheit	Konsortium
10. Ableitung der Vulnerabilität (Rechenvorschrift)	Konsortium

 Normative Bewertungsschritte

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt 2017

Insbesondere wenn eine Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsanalyse der Entscheidungsvorbereitung auf politischer Ebene dient, sollten normative Entscheidungen und Bewertungen von einem legitimierten Gremium getroffen werden, indem zuständige Stellen beispielsweise Behördenvertreter/innen durch die Ministerien mandatiert werden. Das erhöht die Akzeptanz der Ergebnisse deutlich.

Aufgrund der methodischen Komplexität einer Vulnerabilitätsanalyse sollte ausreichend Zeit dafür eingeplant werden, ein gemeinsames Verständnis und eine gemeinsame Sprache zu entwickeln. Das Wechselspiel zwischen fachlicher Analyse und normativer Bewertung macht eine Arbeitsteilung notwendig zwischen der Arbeitsebene, beispielsweise einem (beauftragtem)

Team von Wissenschaftler/innen oder Expertinnen und Experten aus Fachbehörden und der Entscheidungsebene, z. B. einer interministeriellen Arbeitsgruppe oder mandatierten Behörden. Dementsprechend ist eine gute Zusammenarbeit und Arbeitsteilung zwischen Wissenschaft und Praxis bzw. Politik eine wichtige Grundlage einer erfolgreichen Vulnerabilitätsanalyse. Die Arbeits- und die Entscheidungsebene sollten so aufgestellt sein, dass sie die fachliche Breite der Untersuchung widerspiegeln, darüber hinaus kann es notwendig sein, weitere Expertinnen und Experten hinzuzuziehen.

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN:

Rahmensetzung für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen

1. Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen können unterschiedliche explizite und implizite Zwecke erfüllen wie beispielsweise die Erzeugung von Wissen, Bewusstseinsbildung, Identifizierung von Schwerpunkten der Klimawirkungen/Vulnerabilität oder eine Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen den Akteuren.
2. Eine Vulnerabilitätsanalyse umfasst verschiedene Teile: die Klima- und Klimawirkungsforschung, die Klimawirkungsbewertung, die Anpassungskapazitätsbewertung und die Vulnerabilitätsbewertung. Eine Klimawirkungsanalyse endet nach der Klimawirkungsbewertung.
3. Um eine komplette Vulnerabilitätsanalyse durchzuführen, sollten der klimatische Einfluss auf das System sowie das räumliche Vorkommen und die Sensitivität des Systems analysiert und die Anpassungskapazität bewertet werden.
4. Die Analyse und Bewertung von Vulnerabilität umfasst immer auch normative, d. h. wertbasierte Vorgänge. Wo fachliche Begründungen an ihre Grenzen stoßen, muss normativ entschieden werden. Wichtig für die Interpretation der Ergebnisse ist die deutliche Unterscheidung der Wertebene von der Sachebene. Legitimität und Repräsentativität der entscheidenden Akteure erhöhen das Vertrauen in die Ergebnisse. Das Vorgehen sollte zudem transparent und nachvollziehbar sein. Die Robustheit der Ergebnisse kann erhöht werden, indem Bandbreiten berücksichtigt und Gewissheiten ausgewiesen werden.
5. Aufgrund der methodischen Komplexität von Vulnerabilitätsanalysen sollte für diese ausreichend Zeit eingeplant werden, um bei den beteiligten Akteuren sowohl ein gemeinsames Verständnis als auch eine gemeinsame Sprache zu entwickeln.
6. Die Akteure, die anschließend über die Verwendung der Ergebnisse entscheiden, sollten in die Analyse eingebunden werden, damit sie die identifizierten Handlungsbedarfe in konkrete Maßnahmen überführen.

3 Empfehlungen für die Durchführung von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen

3.1 Arbeitsschritt 1: Analyse konzipieren und vorbereiten

In Abhängigkeit der Fragestellung ist festzulegen, welche Art von Untersuchung durchgeführt werden soll und welche Schritte hierfür notwendig sind. Bereits bei der Konzeptionierung einer Analyse sollte überlegt werden,

- ▶ welcher Zweck mit der Untersuchung verfolgt wird,
- ▶ welches Wissen und welche Ergebnisse für diesen Zweck benötigt werden,
- ▶ welche Daten und Ergebnisse bereits vorliegen,
- ▶ wer legitimiert ist, um normative Bewertungen vorzunehmen,
- ▶ welche politischen Akteure die Akzeptanz und die Verwendung der Ergebnisse befördern können,
- ▶ welche Fachakteure die Entscheidungsebene vertreten sollten und
- ▶ wer die Adressatinnen und Adressaten der Ergebnisse sind.

Aufbauend auf diesen Überlegungen sind Festlegungen zu Methodik und Beteiligten zu treffen. Hier kann auch entschieden werden, ob es sinnvoll ist, eine komplette Vulnerabilitätsanalyse durchzuführen, oder ob mit der Klimawirkungsbewertung bereits alle für den Untersuchungszweck erforderlichen Informationen vorliegen.

3.1.1 Fachakteur/innen einbinden

Für Vulnerabilitäts- und Klimawirkungsanalysen sollte wenn möglich ein Netzwerk von Fachakteur/innen auf der Arbeits- und vor allem auf der Entscheidungsebene eingebunden werden, weil

- ▶ Wertentscheidungen (siehe Abschnitt 2.3) zu treffen sind und
- ▶ eine Beteiligung bewirkt, dass sich die Adressat/innen mit der Analyse stärker identifizieren und Handlungen ableiten.

BEISPIEL:

Vorbereitung und Konzeption einer Vulnerabilitätsanalyse laut Vulnerability Sourcebook

Das Vulnerability Sourcebook (Fritzsche et al. 2014) richtet sich an Praktikerinnen und Praktiker an der Schnittstelle zwischen technischer Entwicklungszusammenarbeit und Anpassung an den Klimawandel. Es dient der praktischen Umsetzung des NAPA-Prozesses (National Adaptation Programmes of Action). Es erläutert schrittweise, wie man eine Vulnerabilitätsanalyse plant und durchführt, und baut dabei auf den Erfahrungen und methodischen Überlegungen des Netzwerks Vulnerabilität auf. Beispielsweise sollten bei der Vorbereitung einer Vulnerabilitätsanalyse folgende Aspekte berücksichtigt werden:

1. Die Kontextbedingungen erfassen, unter denen die Analyse stattfindet.
2. Klare Ziele und erwartete Ergebnisse der Analyse definieren.
3. Den thematischen, räumlichen und zeitlichen Bezugsrahmen für die Analyse festlegen und mögliche Methoden darlegen.
4. Einen Arbeits- und Zeitplan vorbereiten, der Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Beteiligten und Stakeholder festlegt und dabei die verfügbaren Ressourcen berücksichtigt.

► Für weitere Erläuterungen zu diesen Aspekten und weiteren Schritten siehe: Fritzsche et al. (2014): *The Vulnerability Sourcebook*, Bonn, S. 40 ff.

Die Fachakteur/innen sind meist Vertreter/innen von Behörden oder Ministerien. Sie stellen die Entscheidungsebene für normative Entscheidungen und unterstützen die Arbeitsebene fachlich.

Bei der Zusammenarbeit zwischen der Arbeitsebene und der Entscheidungsebene sollte es eine für alle transparente Aufgabenteilung geben: Entscheidungsgrundlagen und Analyseschritte sollten von der Arbeitsebene vorbereitet werden. Die beteiligten Vertreter/innen von Behörden oder Ministerien sollten mit Daten, Modellergebnissen und Expertenwissen zur Analyse beitragen. Der Arbeitsebene obliegt es, die Ergebnisse zu erarbeiten sowie wissenschaftlich einzuschätzen. Die Entscheidungsebene entscheidet über das grundsätzliche Vorgehen und bewertet im Anschluss an die Analyse die Ergebnisse normativ, führt eine Qualitätskontrolle durch und zieht ggf. weitere externe Kompetenzen hinzu.

Diese Arbeitsweise setzt eine stetige und kontinuierliche Kommunikation voraus, etwa durch regelmäßige Treffen zur Abstimmung zentraler Analyseschritte und Ergebnisse, Bereitstellung von personellen Kapazitäten

und ggf. politische Unterstützung. Ergänzend zu den inhaltlichen Diskussionen können Workshops mit externen Expertinnen und Experten veranstaltet werden, um weiteres Knowhow für die Analyse nutzbar zu machen. Es ist auch möglich, den Prozess der Beteiligung eher wissenschaftlich auszurichten und die allgemeine Expertise dadurch zu stärken, dass eine größere Zahl von Wissenschaftler/innen eingebunden wird, die aktuelle Forschungsergebnisse einbringen.

Ebenenübergreifende Zusammenarbeit

Sofern gewünscht, sollten auch nachgeordnete oder übergeordnete Ebenen beteiligt werden. Für deutschlandweite Untersuchungen wird empfohlen, die Bundesländer über den Ständigen Ausschuss zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (AFK) frühzeitig einzubinden und über die Aktivitäten zu informieren. Vulnerabilitätsanalysen auf Länderebene sollten insbesondere auch die kommunale Ebene zumindest informieren. Die Akzeptanz der Ergebnisse durch die breite Öffentlichkeit kann zudem dadurch gestärkt werden, dass zivilgesellschaftliche Akteur/innen an der Analyse beteiligt werden.

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN: Fachakteur/innen einbinden

1. Die Analyse und Bewertung von Klimawirkungen und Vulnerabilitäten sollten gemeinsam mit einer Gruppe von Vertretern/innen von Behörden oder Ministerien durchgeführt werden. Diese sollten das Untersuchungsfeld fachlich abdecken und möglichst für normative Entscheidungen legitimiert sein, beispielsweise indem sie durch ihre zuständigen Ressorts entsandt werden. Für Mehrheitsentscheidungen sollte vorab ein transparenter Modus festgelegt werden, der berücksichtigt, inwieweit sich die Beteiligten auf die untersuchten Handlungsfelder verteilen.
2. Alle normativen Vorgänge sollten von der Entscheidungsebene entschieden und müssen transparent dargestellt werden.
3. Zwischen der Arbeitsebene und der Entscheidungsebene sollte ein Modus für Zusammenarbeit und Arbeitsteilung festgelegt werden: Die Arbeitsebene sollte die Entscheidungsgrundlagen und Analyseschritte vorbereiten sowie die Analyse durchführen; die Entscheidungsebene sollte über das grundsätzliche Vorgehen entscheiden sowie normative Entscheidungen treffen. Darüber hinaus sollten je nach Bedarf weitere Expertinnen und Experten eingebunden werden.
4. Eine gemeinsame Arbeit setzt ausreichend Ressourcen seitens aller beteiligten Akteur/innen voraus.

3.1.2 Methodischen Rahmen und zentrale Begriffe konkretisieren

Zu Beginn einer Vulnerabilitätsanalyse müssen das Konzept Vulnerabilität und die zentralen Begriffe konkretisiert werden, damit sie für die Fragestellung der Analyse praktisch anwendbar sind und die Beteiligten ein einheitliches Verständnis haben. Hierbei können die Begriffsdefinitionen des Netzwerkes Vulnerabilität (siehe Kasten) verwendet werden.

Mit seinem Ansatz einer Vulnerabilitätsanalyse hat das Netzwerk Vulnerabilität ein System entwickelt, das im Zeitbezug klare Aussagen erlaubt und so Möglichkeiten zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels konsistent und zentral abbildet. Besonders wichtig ist dabei, dass Sensitivität und Klimawirkung zeitlich und räumlich konsistent zu den betrachteten Zeit- und Untersuchungsräumen zugeordnet werden und die Anpassungskapazität und somit die Vulnerabilität nur für die Zukunft untersucht werden kann. Wenn man den Ansatz des Netzwerkes, welcher auf dem IPCC 2007 beruht, auf die oben dargestellte Weiterentwicklung des Vulnerabili-

BEISPIEL: Begriffsdefinitionen im Netzwerk Vulnerabilität

Das ursprüngliche Vulnerabilitätskonzept des IPCC stellt keinen Zeitbezug her. Da dieser aber wesentlich ist, um das Konzept anzuwenden, hat das Netzwerk Vulnerabilität die Elemente der Vulnerabilität wie folgt definiert (siehe auch Abbildung 3).

Der **klimatische Einfluss*** wird durch die für eine Klimawirkung relevanten Klimagrößen wie Temperatur, Niederschlag, Wind etc. beschrieben. Es wird zwischen dem Klima im Referenzzeitraum (t_0) und möglichen zukünftigen Klimata (t_{f0}) unterschieden. Die Veränderung zwischen t_0 und t_{f0} beschreibt Klimaveränderungen wie steigende Temperaturen, Veränderungen im Niederschlag oder Veränderungen von Wetterextremen.

Die **Sensitivität** beschreibt, in welchem Maße ein System (z. B. Wirtschaftssektor, Bevölkerungsgruppe, Ökosystem) auf einen klimatischen Einfluss reagiert. Dies wird beeinflusst von dem räumlichen Vorkommen von potenziell betroffenen Systemen** sowie sozioökonomischen, biophysikalischen und anderen Faktoren. Es sollte zwischen der Klimasensitivität des Mensch-Umwelt-Systems des Referenzzeitraums und der veränderten Sensitivität eines zukünftigen Systems gegenüber einem zukünftigen Klima unterschieden werden.

Eine **Klimawirkung** beschreibt im Zeitraum t_0 die (potenzielle) Wirkung des Klimas des Referenzzeitraums auf das System des Referenzzeitraums unter Berücksichtigung der entsprechenden Sensitivität. Zum Zeitpunkt t_{f0} beschreibt sie die potenzielle

Wirkung des zukünftigen Klimas auf ein zukünftiges System unter Berücksichtigung der zukünftigen Sensitivität. Aus dem Delta der Klimawirkungen t_0 und t_{f0} lassen sich die potenzielle Wirkung des Klimawandels, aber auch anderer Veränderungsprozesse ablesen.

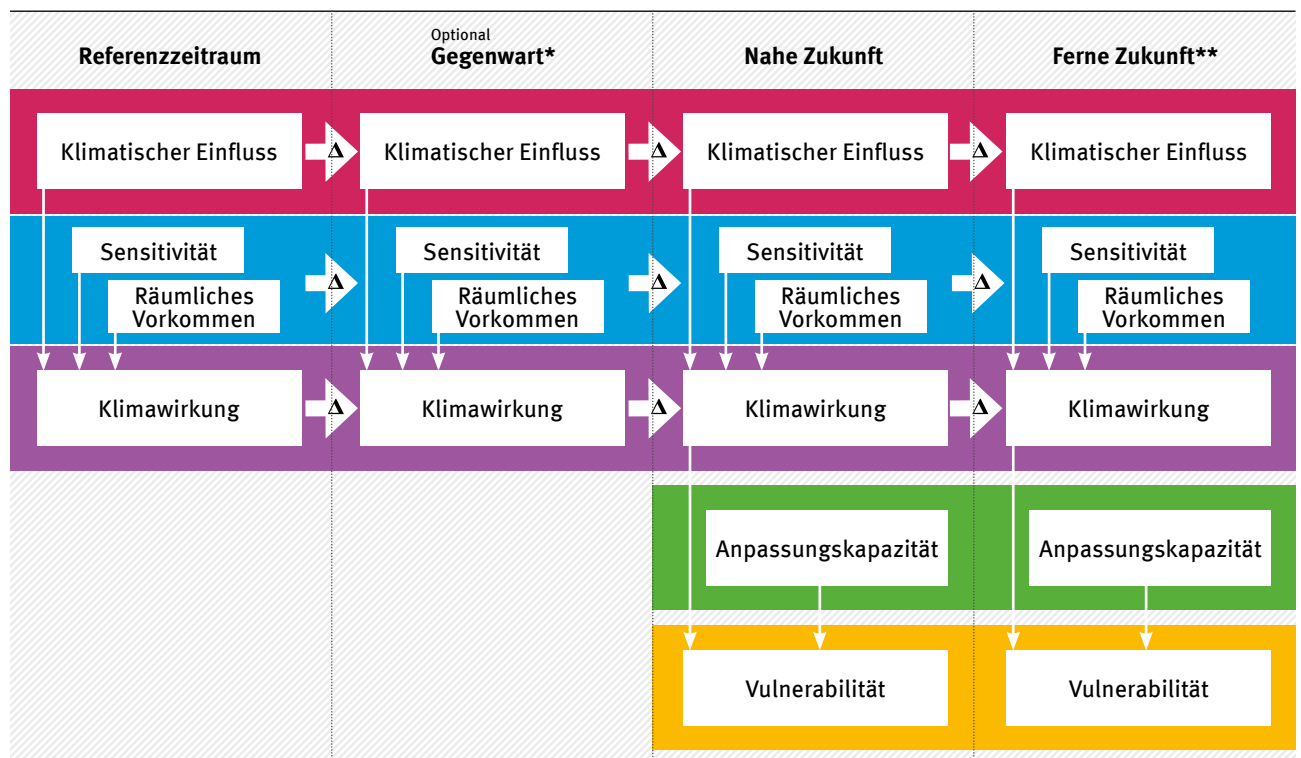
Die **Anpassungskapazität** ist die Fähigkeit eines Systems, sich in der Zukunft an den Klimawandel anzupassen und potenziellen Schaden zu mindern. Es handelt sich also um Vermeidungs-, Minderungs- oder Schutzmaßnahmen, die über das bereits Bestehende hinausgehen. In der Vergangenheit getroffene Anpassungsmaßnahmen wie die Errichtung eines Bewässerungssystems, um sich vor klimatischer Trockenheit zu schützen, zählen nicht zur Anpassungskapazität, sondern fließen in die Bewertung der Sensitivität mit ein.

Die **Vulnerabilität** ergibt sich aus der Klimawirkung auf ein System und dessen Anpassungskapazität. Im Netzwerk Vulnerabilität wurde nur die Vulnerabilität pro Sektor betrachtet. Dessen Vulnerabilität ergibt sich aus seiner Betroffenheit durch verschiedene Klimawirkungen vermindert um die sektorale Anpassungskapazität. Die Vulnerabilität ist, wie die Anpassungskapazität, nur für die Zukunft bestimmbar.

* Im Rahmen der Analysen des Netzwerkes Vulnerabilität und auch im Endbericht (adelphi/PRC/EURAC 2015a) wurde für den klimatischen Einfluss der Begriff Klimasignal verwendet. Es empfiehlt sich, diesen Begriff in diesem Kontext zukünftig nicht mehr zu verwenden, da er im klimatologischen Sprachgebrauch eine andere Bedeutung hat.

** Im Rahmen der Analyse des Netzwerkes Vulnerabilität war das räumliche Vorkommen Teil der Sensitivität. Unter Berücksichtigung der Veränderungen im IPCC-Bericht 2014 wird sie im Leitfaden als eigenständiges Element von Vulnerabilität ausgewiesen (siehe Abbildung 2 und Anhang 1).

Abbildung 3:

Methodisches Konzept für Vulnerabilitätsanalysen in Anlehnung an das Netzwerk Vulnerabilität

* Im Netzwerk Vulnerabilität wurde nicht zwischen Gegenwart und Referenzzeitraum unterschieden.

** Für die ferne Zukunft wurde im Netzwerk Vulnerabilität nur der klimatische Einfluss für die Einschätzung der Klimawirkung, nicht aber die Sensitivität, Anpassungskapazität und die Vulnerabilität betrachtet.

Quelle: adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 39

tätskonzeptes überträgt, ist die Anpassungskapazität für einzelne Zukunftszeiträume getrennt zu untersuchen. Zudem wird zwischen Sensitivität und räumlichem Vorkommen unterschieden (siehe Abbildung 3). In der momentanen wissenschaftlichen Diskussion ist noch nicht erkennbar, ob die Bewältigungskapazität, d. h. die Fähigkeit eines Systems auf Gefahren kurzfristig zu reagieren, Teil der Sensitivität oder Teil der Anpassungskapazität des Systems oder etwas Eigenständiges ist. Daher wird sie hier noch nicht explizit berücksichtigt.

Festlegung Untersuchungszeiträume

Da die einzelnen Klimaparameter auf dekadischer Skala eine große Variabilität haben, sollten Klimaprojektionen grundsätzlich für einen längeren Zeitraum ausgewertet werden (vgl. Linke et al. 2015). Die Betrachtungszeiträume für mögliche Klimaänderungen sollten im Regelfall mindestens 30 Jahre umfassen, also die Länge der von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definierten Klimanormalperiode (Trewin 2007).

Es bietet sich an, mindestens drei Zeitebenen zu betrachten: einen Referenzzeitraum der jüngeren Vergangenheit (zum Beispiel WMO Referenzperiode 1961–1990 oder, wenn aus meteorologischen Gründen sinnvoll, 1971–2000), eine nahe (2021–2050 oder 2031–2060) und eine ferne Zukunft (2071–2100). Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, die Gegenwart einzubeziehen (z. B. die Klimanormalperiode 1981–2010), um die Wirkung von Klimavariabilität und Klimaextremen auf den Status quo des Systems zu untersuchen. Die nahe Zukunft (die nächsten 15 bis 30 Jahre) ist für politische Entscheidungen oft entscheidender als die in Klimanalysen häufig verwendete ferne Zukunft bis zum Jahr 2100. Für einzelne Sektoren und Systeme, die wie Waldökosysteme sehr lange Zeiträume brauchen, um sich anzupassen, ist die ferne Zukunft aber wesentlich. Werden Vulnerabilitätsanalysen zu einem späteren Zeitpunkt erneut durchgeführt oder aktualisiert, sollte als Referenzzeitraum die gleiche Periode beibehalten werden, während die Gegenwart und nahe Zukunft in Zehn-Jahres-Schritten fortgeschrieben werden sollten.

► *Weitere Hinweise zur Festlegung von Untersuchungszeiträumen finden sich in den Leitlinien des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, S. 9 f., 12.*

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN: Konzeption einer Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsanalyse

1. Der Zweck der Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsanalyse muss bei ihrer Konzeption und der Auswahl der Methoden berücksichtigt werden. Von ihm hängen das angestrebte Ergebnis und etwaige Bewertungsschemata ab.
2. Es gibt mehrere Vulnerabilitätskonzepte. Zu Beginn jeder Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsanalyse muss festgelegt werden, welchem Konzept gefolgt wird. Es wird empfohlen, bis auf weiteres die Weiterentwicklung des Vulnerabilitätskonzeptes zu verwenden (siehe Abbildung 2).
3. Es ist wichtig, zu Beginn der Analyse die zentralen Begriffe klimatischer Einfluss, Sensitivität, räumliches Vorkommen, Klimawirkung, Anpassungskapazität und Vulnerabilität so eindeutig zu definieren, dass sie auch empirisch umsetzbar sind. Angelehnt an die Definitionen des Netzwerks Vulnerabilität wird empfohlen, konsistente zeitliche und räumliche Bezüge sicherzustellen. Der klimatische Einfluss sollte vorrangig mittels klimatischer Größen operationalisiert werden, die Sensitivität sollte nicht-klimatische Größen einschließlich sozioökonomischer Faktoren abbilden. Das räumliche Vorkommen bezeichnet die Anwesenheit von Systemen, die von klimatischen Einflüssen betroffen sind. Die Anpassungskapazität sollte in ihrer zeitlichen Wirksamkeit eingeschätzt und klar von der Sensitivität unterschieden werden.
4. Schließlich sollten mit Blick auf das Ziel der Analyse der Untersuchungsraum, die räumliche Auflösung und die Untersuchungszeiträume festgelegt werden. Empfohlen wird der Referenzzeitraum 1961–1990 oder 1971–2000. Für politische Empfehlungen eignet sich der Ausblick in die nahe Zukunft (d. h. 2021–2050 oder 2031–2060). Für langfristige Entwicklungen und Planungen sollte zudem die ferne Zukunft einbezogen werden (2071–2100). Optional kann die Gegenwart (1981–2010) betrachtet werden.

Anstelle einer zukunftsorientierten Vulnerabilitätsanalyse kann man auch schwerpunktmäßig die heute bereits vorhandene klimatische Variabilität und die daraus bestehende Gefährdung untersuchen und dies mit der gegenwärtig vorhandenen Bewältigungskapazität in Beziehung zu setzen. Hierfür sollte vorher geklärt werden, was zur Bewältigungskapazität, zur gegenwärtigen Sensitivität und zur zukünftig wirksamen Anpassungskapazität zählt, um diesen Ansatz mit dem hier vorgestellten Ansatz kompatibel zu machen.

Festlegung Untersuchungsraum und räumliche Auflösung

Welcher Raum untersucht wird, hängt von dem Zweck und der Zielstellung der Untersuchung ab. Auch die räumliche Auflösung der Analyse orientiert sich daran, wird aber auch von den verfügbaren Daten, insbesondere den klimatischen und sozioökonomischen Szenarien, beeinflusst (siehe Abschnitt 3.1.3). Als räumliche Auflösung kommen meist Raster, Naturräume oder administrative Einheiten in Frage.

3.1.3 Szenarien für klimatischen Einfluss, räumliches Vorkommen und Sensitivität festlegen

Um den klimatischen Einfluss, das räumliche Vorkommen und die Sensitivität zu ermitteln, bedarf es klimatischer sowie ggf. biophysikalischer und sozioökonomischer Angaben für die Untersuchungszeiträume. Ein Vergleich von Referenzzeitraum und Gegenwart bzw. Zukunft bildet dann mögliche Veränderungen ab. Für die Vergangenheit und Gegenwart stehen häufig Messdaten zur Verfügung. Für die Zukunft hingegen sollte sowohl für die Beschreibung des klimatischen Einflusses, des räumlichen Vorkommens als auch für die Sensitivitäten auf Szenarien bzw. Projektionen zurückgegriffen werden, sofern diese verfügbar oder ermittelbar sind. Es sollten vorrangig diejenigen klimatischen, räumlichen beziehungsweise Sensitivitätsparameter berücksichtigt werden, die für die beobachteten oder projizierten Klimawirkungen maßgeblich sind.

Klimaprojektionen

Das Klima der Zukunft wird in der Regel mithilfe einer Modellkette abgebildet, die erstens aus einem Emissions- bzw. Konzentrationsszenario, zweitens einem globalen Klimamodell sowie drittens mindestens einem regionalen Klimamodell besteht. Um die Bandbreite

der Unsicherheiten in den zu erwartenden Klimaänderungen zu beschreiben, ist es gegenwärtig allgemein anerkannter Stand der Technik, mit einem sogenannten Ensemble von Klimaprojektionen zu arbeiten, die auf verschiedenen Kombinationen von globalen und regionalen Klimamodellen basieren.

Weitere Hinweise, wie Ensembles von Klimaprojektionen verwendet werden können, finden sich in einer Leitlinie, die das Bund-Länder-Fachgespräch „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, erstellt hat (S. 12 f.).

Vor einer Entscheidung sollte überprüft werden, welche Anforderungen die ausgewählten klimatischen Größen und Klimawirkungsmodelle an die Klimaprojektionen stellen. Zeitreihen etwa für die hydrologische Modellierung bereitzustellen, die konsistente Parameter wie Tageswerte für Temperatur und Niederschlag beinhalten, ist hinsichtlich der oftmals notwendigen Bias-Minimie-

rung¹¹ der Klimaprojektionen und des Ensembleansatzes eine nicht trivial zu lösende Herausforderung. In jedem Fall sollte das Modell-Ensemble den gesamten Untersuchungsraum flächendeckend abbilden, aus ausreichend vielen Modellläufen bestehen, um die Klimavariabilität beurteilen zu können, und auf einem zuvor festgelegten Emissions- oder Konzentrationsszenario basieren.

Wenn für den Untersuchungsgegenstand keine ausreichenden Ensembleansätze vorliegen, sollten dennoch mindestens zwei unterschiedliche Klimaprojektionen verwendet werden, um eine Bandbreite an potenziellen Zukünften darstellen zu können. Wenn für einzelne Klimawirkungen Daten aus anderen Klimaprojektionen vorliegen, sollten diese zur besseren Vergleichbarkeit in das vorhandene Ensemble eingeordnet werden.

11 Als „Bias“ werden die systematischen Abweichungen der einzelnen Klimamodelle zu Beobachtungsdaten des rezenten Klimas bezeichnet. Unter Bias-Minimierung wird die Anpassung des simulierten Datensatzes an die Beobachtungsdaten verstanden, die das Ziel verfolgt, die Abweichung zu verringern (vgl. Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten, S. 24).

BEISPIEL: Im Netzwerk Vulnerabilität verwendete Klimaprojektionen

Für die Analyse des Netzwerks Vulnerabilität wurde ein Klimaprojektionsensemble mit 17 Ensemblemitgliedern verwendet, das auf dem Emissions-szenario A1B des Special Report on Emissions Scenarios basiert (SRES, Intergovernmental Panel on Climate Change 2000, weitere Erläuterungen siehe www.dwd.de/klimaatlas). Die zeitliche Auflösung der Klimaprojektionen sind in der Regel Tageswerte. Mit Ausnahme der Winddaten wurden die Klimaprojektionen durch den Deutschen Wetterdienst auf ein einheitliches räumliches Gitter mit einer Auflösung von fünf mal fünf Kilometern regionalisiert und eine Bias-Minimierung durchgeführt. Welche Verfahren dabei verwendet wurden, beschreiben Imbery et al. (2013). Die Auswertungen der extremen Windgeschwindigkeiten liegen in einer räumlichen Auflösung von 25 mal 25 Kilometern vor. Um die Bandbreite der Modellergebnisse zu verdeutlichen, wurden Perzentilwerte angegeben. Die Perzentile können grundsätzlich wie folgt interpretiert werden (vgl. Bundesregierung 2011):

- 15. Perzentil: 85 Prozent der Projektionen projizieren höhere und 15 Prozent die dargestellten oder niedrigere Änderungsraten (im Projektkontext in der Regel als schwacher Wandel bezeichnet).

- 85. Perzentil: 85 Prozent des Ensembles projizieren die dargestellten oder niedrigere Änderungsraten und 15 Prozent projizieren höhere Änderungsraten (im Projektkontext in der Regel als starker Wandel bezeichnet).

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 präsentierten Ergebnissen nicht um statistische Eintrittswahrscheinlichkeiten im engeren Sinn handelt.) Stellenweise wurden Klimadaten des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) verwendet. Hier wurde für den starken Wandel das 95. Perzentil und für den schwachen Wandel das 5. Perzentil verwendet (Details in adelphi/PRC/EURAC 2015a). Wo bestehende Modellergebnisse verwendet wurden, sind ebenfalls abweichende Klimaprojektionen eingeflossen. Hier wurde darauf geachtet, dass die Annahmen der Modellberechnungen denen des Vorhabens ähnlich sind. Für niederschlagsgetriebene Modelle wurden in der Regel ein feuchtes und ein trockenes Szenario berechnet.

ReKliEs – Forschungsprojekt zu regionalen Klimaprojektionen

Im Projekt ReKliEs-De (Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland) werden derzeit die Konzentrationsszenarien des IPCC systematisch für Deutschland (inklusive der nach Deutschland entwässernden Flusseinzugsgebiete) ausgewertet und durch ausgesuchte weitere Simulationen (sowohl mit dynamischen als auch mit statistischen Verfahren) komplettiert. Ziel des Projektes ist die Bereitstellung robuster Informationen über die Bandbreiten und Extreme der zukünftigen Klimaentwicklung in Deutschland. Weitere Projektziele sind die Abschätzung der notwendigen minimalen Ensemblegröße zur Generierung

robuster Aussagen und die Untersuchung systematischer Unterschiede zwischen den Ergebnissen statistischer oder dynamischer regionaler Klimamodelle.

► <http://rekli.es.hlnug.de>

Sensitivitätsszenarien und Szenarien für räumliches Vorkommen

Auch für die Sensitivität und das räumliche Vorkommen sollte wo möglich auf Szenarien zurückgegriffen werden, die mit den Klimaprojektionen zeitlich konsistent sind. Vor allem für die nahe Zukunft (bis 2030) können einige der sozioökonomischen oder biophysikalischen Parameter, wie Bevölkerung oder Baumartenzusam-

BEISPIEL: Im Netzwerk Vulnerabilität verwendete Sensitivitätsszenarien

Im Netzwerk Vulnerabilität wurden für die nahe Zukunft mit einem Wachstums- und einem Stagnationsszenario zwei unterschiedliche Entwicklungspfade definiert, die – analog zu den Klimaprojektionen – auch im Hinblick auf die sozioökonomische Entwicklung die Bandbreite möglicher Entwicklungen abdecken. Grundlage waren zwei Szenarien des PANTA RHEI REGIO-Modells, das demografische Entwicklungen und Flächenverbrauch auf Landkreisebene modelliert. Diese Ergebnisse wurden genutzt, um Landnutzungsänderungen auf Rasterzellbasis mit einer Auflösung von einem Hektar mittels des LAND USE SCANNER zu modellieren:

- Für das Wachstumsszenario lagen für das Jahr 2030 Ergebnisse aus dem Teilprojekt „Landnutzungsszenarien“ des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts CC-LandStraD vor (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2012), die dem Netzwerk Vulnerabilität zur Verfügung gestellt wurden.
- Für das Stagnationsszenario wurden die Projektionen für das Jahr 2030 vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung neu berechnet (auf Basis von Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2011 und Distelkamp et al. 2011).

Tabelle 2:

Parameter und Kenngrößen der sozioökonomischen Entwicklung für die Landnutzungsszenarien (2009 bis 2030)

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

Quelle: adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 98

mensetzung quantitativ projiziert werden. Da das räumliche Vorkommen eng mit der Entwicklung der (sozioökonomischen) Sensitivität verbunden ist, sollten gemeinsame Sensitivitäts- und räumliche Szenarien entwickelt werden. Den bestehenden Unsicherheiten kann Rechnung getragen werden, indem mindestens zwei Sensitivitäts- und -räumliche Szenarien verwendet werden. Da in der Vulnerabilitätsanalyse des Netzwerks Vulnerabilität das räumliche Vorkommen Teil der Sensitivität war und die meisten sich zeitlich ändernden Sensitivitäten sozioökonomischer Natur sind, wurde im Netzwerk Vulnerabilität nur von sozioökonomischen Sensitivitätsszenarien gesprochen.

Im Netzwerk Vulnerabilität konnten in erster Linie Prognosen oder Projektionen für die Bevölkerungsentwicklung und die Landnutzung in naher Zukunft verwendet werden (siehe Box). Für die ferne Zukunft und andere sozioökonomische Parameter lagen häufig keine Projektionen vor. Dies sollte aber künftig ausgebaut werden.

Szenariokombinationen

Für die Analyse der Klimawirkungen müssen Klimaprojektionen und Szenarien für die Sensitivität sowie das räumliche Vorkommen miteinander kombiniert werden.

Um die Bandbreite möglicher Entwicklungen der Klimawirkungen aufzuzeigen, sollten Szenariokombinationen verwendet werden. Diese sollten das Spektrum der Verschneidung eines starken Klimawandels mit einer starken sozioökonomischen Entwicklung sowie eines schwachen Klimawandels mit einer schwachen sozioökonomischen Entwicklung abdecken. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass ein starker (lokaler) sozioökonomischer Wandel nicht ursächlich mit einem starken (globalen) Klimawandel verknüpft sein muss. Daher ist zu erwägen, die sozioökonomischen und klimatischen Szenarien auch über Kreuz (stark-schwach und umgekehrt) zu kombinieren, um beispielsweise zu identifizieren, ob die Klimawirkungen mehr durch den klimatischen oder den sozioökonomischen Wandel angetrieben werden.

BEISPIEL: Kombination von Szenarien im Netzwerk Vulnerabilität

Um die Bandbreite der zukünftigen klimatischen und sozioökonomischen Entwicklungen abzubilden, wurden im Netzwerk Vulnerabilität zwei Szenariokombinationen für die nahe Zukunft untersucht:

- **Starker Wandel:** Für die Klimaprojektionen wurde grundsätzlich das 85. Perzentil der Ergebnisse des Klimamodellensembles des DWD (welches auf dem SRES-A1B-Emissionsszenario basiert) verwendet. Dieses wurde kombiniert mit dem Szenario einer relativ starken sozioökonomischen Entwicklung, unter anderem mit einem durchschnittlichen jährlichen Wirtschaftswachstum von 1,1 Prozent, einer durchschnittlichen täglichen Flächenneuanspruchnahme von 59 Hektar und einem Bevölkerungsrückgang auf 78,68 Millionen Einwohner/innen im Jahr 2030.
- **Schwacher Wandel:** Für die Klimaprojektionen wurde grundsätzlich das 15. Perzentil der Ergebnisse des DWD-Klimamodellensembles verwendet. Das hiermit kombinierte sozioökonomische Szenario beruht – im Vergleich zum Szenario starker Wandel – auf einem geringeren jährlichen Wirtschafts-

wachstum (durchschnittlich 0,58 Prozent), einer geringeren täglichen Flächenneuanspruchnahme (49,3 Hektar) sowie einer stärker abnehmenden Bevölkerung auf 75,67 Millionen Einwohner/innen im Jahr 2030.

Für die ferne Zukunft (2071–2100) existieren aufgrund mangelnder Daten keine sozioökonomischen Szenarien, sodass hier auch keine Szenariokombinationen des starken beziehungsweise schwachen Wandels ausgewählt werden konnten. Daher musste für die ferne Zukunft auf qualitative Experteneinschätzungen in Verbindung mit den Modellergebnissen zurückgegriffen werden, um die Klimawirkungen für die ferne Zukunft abzuschätzen (15. und 85. Perzentil aus dem Klimamodellensemble des Deutschen Wetterdiensts). Diese Experteneinschätzungen sind mit in die zusammenfassenden verbal-qualitativen Bewertungen für die Klimawirkungen in der fernen Zukunft eingeflossen. Zu Details siehe Abschlussbericht Netzwerk Vulnerabilität (adelphi/PRC/EURAC 2015a).

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN:**Szenarien für klimatischen Einfluss, räumliches Vorkommen und Sensitivität**

1. Um den klimatischen Einfluss zu ermitteln, sollte möglichst mit einem Ensemble von Klimaprojektionen gearbeitet werden. Um eine statistisch gesicherte Bandbreite von möglichen Entwicklungen anzugeben, kann das 15. und 85. Perzentil eines Modellensembles verwendet werden (siehe Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten).
2. Neben einem Modellensemble muss ein Emissionsbeziehungsweise Konzentrationsszenario festgelegt werden, das verwendet werden soll. Um ein möglichst umfangreiches Ensemble von Klimaprojektionen zu nutzen, ist zu empfehlen, ein Emissions- bzw. Konzentrationsszenario mit vielen globalen und regionalen Projektionsläufen zu wählen. Bisher war das SRES-Emissionsszenario A1B ein weitverbreitetes mittleres Szenario. Mit dem fünften Sachstandsbericht des IPCC wurden neue Konzentrationsszenarien veröffentlicht, die sogenannten „representative concentration pathways“ (RCPs). Zukünftig erscheint es sinnvoll, das RCP 8.5 und 2.6 zu nutzen – hierbei ist das RCP 8.5 ein „business as usual“-Szenario, während das RCP 2.6 ein politisches Szenario ist, das dem 2°C Ziel entspricht.
3. Nicht nur das Klima ändert sich, sondern auch die Systeme, auf die es wirkt. Um das künftige räumliche Vorkommen und die künftige Sensitivität zu betrachten, sollte daher zusätzlich auf Szenarien zurückgegriffen werden. Diese sollten mit den Klimaprojektionen (zeitlich und räumlich) konsistent sein.
4. Klimaprojektionen und Sensitivitäts-/räumliche Szenarien sollten miteinander kombiniert werden. Es wird empfohlen, sofern möglich mindestens zwei alternative Szenariokombinationen (starker und schwacher Wandel) zu betrachten, da auf diese Weise die Bandbreite möglicher Entwicklungen abgebildet werden kann.

3.2 Arbeitsschritt 2: Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse schrittweise durchführen

3.2.1 Wirkungsketten entwickeln

Um die Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen klimatischem Einfluss und möglichen Klimawirkungen zu analysieren, wird empfohlen, für jedes Handlungsfeld sogenannte Wirkungsketten zu erstellen (siehe Beispiel in Abbildung 4 sowie exemplarische Erläuterung einzelner Wirkungspfade im Anhang 2, siehe Abschnitt 6.2).¹² Wirkungsketten dienen dazu, zu verstehen, zu systematisieren und zu priorisieren, welche Einflussfaktoren die Auswirkungen von Klimaextremen und des Klimawandels auf ein System beeinflussen. Dabei können sowohl direkte Auswirkungen des Klimas auf biophysikalische und sozioökonomische (sektorale) Systeme als auch indirekte Klimawirkungen betrachtet werden. Zu den direkten biophysikalischen Auswirkungen zählt zum Beispiel die Entstehung von Hochwasser als Folge von intensivem Niederschlag in bestimmten Einzugsgebieten. Unter die sozioökonomischen Auswirkungen

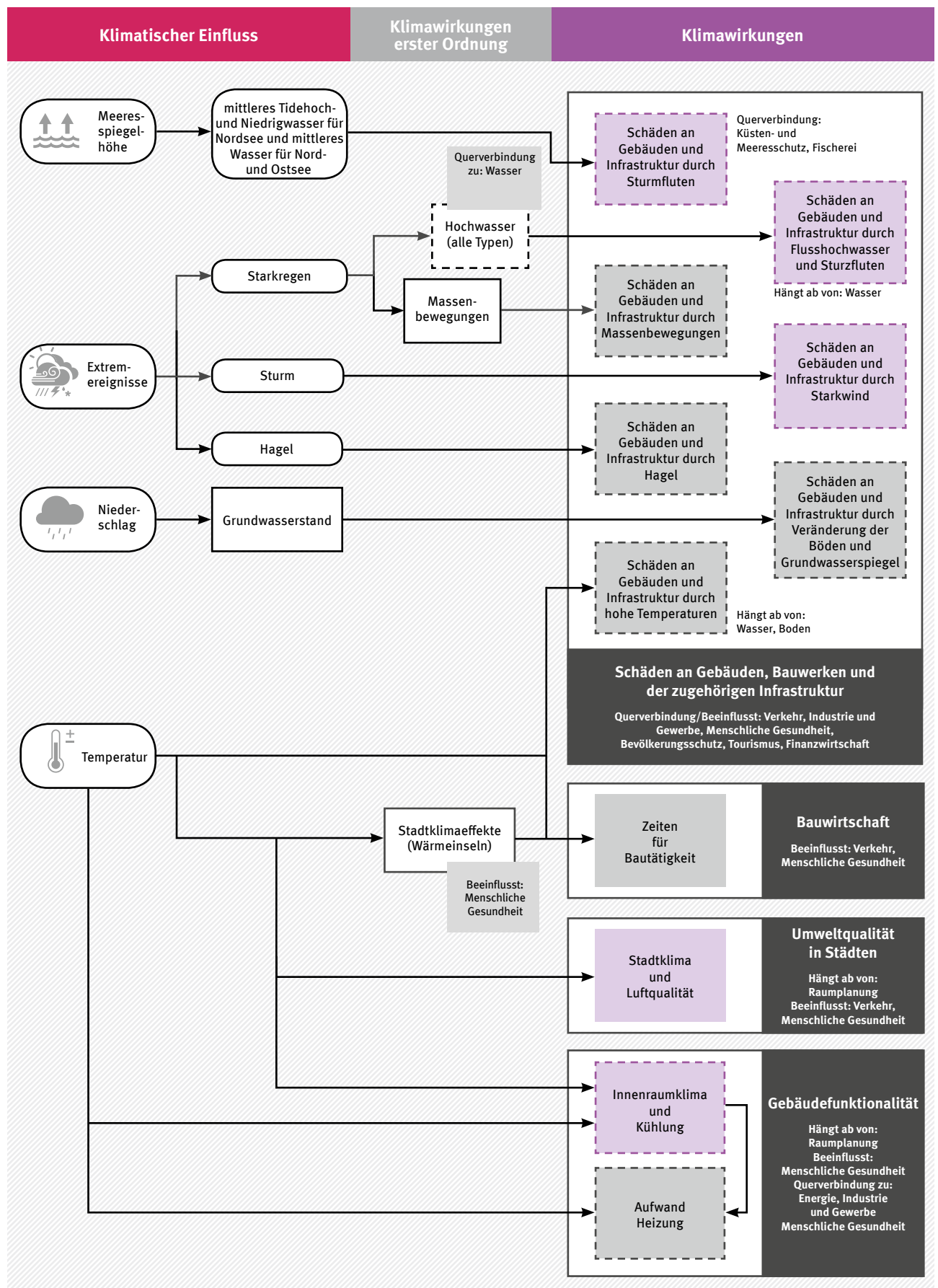
fällt etwa die Hitzebelastung auf die menschliche Gesundheit. Zu den indirekten Klimawirkungen gehören beispielsweise Auswirkungen veränderter Hochwasserhäufigkeiten auf sensitive Systeme wie Menschen oder Sachgüter. Die Wirkungsketten verdeutlichen, welche klimatische Größe welche möglichen Klimawirkungen beeinflusst. Sie stellen damit das Grundgerüst für die Vulnerabilitätsanalyse dar. Zudem dienen sie als wichtiges Kommunikationswerkzeug, um mit den beteiligten Akteur/innen zu vereinbaren, was analysiert wird und welche klimatischen und sozioökonomischen oder biophysikalischen Parameter eine Rolle spielen. Dadurch erleichtern sie es im Anschluss an die Erstellung der Vulnerabilitätsanalyse, gezielte Anpassungsmaßnahmen abzuleiten.

Es ist daher zu empfehlen, in den Wirkungsketten auch die wichtigsten Faktoren abzubilden, die beeinflussen, wie sensitiv das System gegenüber einer Klimawirkung ist – vor allem bei einfachen Wirkungsketten. So stellen sie das vollständige Analysegerüst für die Betrachtung der Klimawirkungen dar. Bei sehr komplexen Systemen, die von vielen verschiedenen Klimawirkungen betroffen sein können, kann die Integration der Sensitivität die Übersichtlichkeit und Handhabbarkeit der Wirkungsketten einschränken.

¹² Wirkungsketten für weitere 13 Handlungsfelder der deutschen Anpassungsstrategie für die Bundesebene finden sich unter www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/klimawirkungsketten_umweltbundesamt_2016.pdf.

Abbildung 4:

Beispiel für eine Wirkungskette im Handlungsfeld „Bauwesen“ (Erläuterung siehe Anhang 2, Seite 45)



Quelle: adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 419

Wirkungsketten können auch dazu dienen, die Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Handlungsfeldern zu analysieren. In der grafischen Darstellung können solche Beziehungen zum Beispiel durch unterschiedliche farbliche Zuordnungen je Handlungsfeld aufgezeigt werden. So wird ersichtlich, wenn etwa gleiche Klimawirkungen in mehreren Handlungsfeldern von Bedeutung sind oder wenn eine Klimawirkung in einem Handlungsfeld eine Klimawirkung in einem anderen Handlungsfeld verursacht. Dies ist für sektorenübergreifende Analysen sehr relevant.

Klimawirkungen auswählen

Es wird empfohlen, auf Arbeitsebene zusammen mit den beteiligten Fachakteur/innen und aufbauend auf vorhandenem (Literatur-)Wissen einfache Wirkungsketten zunächst für alle Klimawirkungen zu entwickeln. Dies sollte unabhängig davon geschehen, ob diese Wirkungen mit Modellen, Indikatoren oder auch über Expertenwissen abgedeckt werden können. Wurden mehr mögliche Auswirkungen des Klimawandels identifiziert, als im Rahmen der Analyse untersuchbar sind, sollte anschließend die Entscheidungsebene diejenigen Klimawirkungen auswählen, die in der entsprechenden Analyse und für deren Zweck besonders relevant erscheinen. Dies hat den Vorteil, dass fachliche

beziehungsweise regionale oder lokale Befindlichkeiten berücksichtigt werden können, was letztlich die Akzeptanz der Analyseergebnisse erhöht. Je konkreter der Zweck zuvor definiert worden ist, umso konkretere Auswahlkriterien können identifiziert werden.

3.2.2 Ausgewählte sektorale Klimawirkungen operationalisieren

Wege der Operationalisierung von Klimawirkungen

Um ausgewählte Klimawirkungen zu operationalisieren, sollten in Expertenworkshops die relevanten Indikatoren diskutiert werden. Gemeinsam mit den beteiligten Fachakteur/innen sollten Möglichkeiten identifiziert und festgelegt werden, wie die Operationalisierung der einzelnen Klimawirkungen erfolgen und so eine Grundlage für die weiteren Bewertungsschritte geschaffen werden kann. Dies empfiehlt sich insbesondere dann, wenn Fachakteur/innen einen ganz konkreten fachlichen oder räumlichen Bezug zu den ausgewählten Klimawirkungen haben und/oder über geeignete Daten verfügen, die für die Operationalisierung nötig sind. Allerdings sollten Indikatoren für den gesamten Modellraum vergleichbar erhoben worden sein.

Des Weiteren empfiehlt es sich, klar definierte Indikatoren für die Klimawirkungen zu verwenden. Diese können quantitativ sein (etwa potenzielle Überschwemmungsflächen als Indikator für die Klimawirkung Hochwasser), aber auch semi-quantitativ oder qualitativ (zum Beispiel eine Einschätzung der Verfügbarkeit von Energie). Bei der Auswahl von Indikatoren sollte zweckmäßig vorgegangen werden, denn in Vulnerabilitätsanalysen ist es unmöglich, alle Klimawirkungen in allen Details und mit ihren Beziehungen exakt abzubilden. Eine höhere Anzahl von Indikatoren macht die Untersuchung in der Breite zwar genauer, kann aber auch zu einer wachsenden Fehleranfälligkeit und zu geringerer Transparenz führen. Folglich sollten nur Indikatoren ausgewählt werden, mit deren Hilfe ein deutlicher Informationszuwachs erzielt wird.

Das Vorgehen bei der Bewertung der Klimawirkungen sollte für die Zeiträume Referenz (t_0) und (nahe) Zukunft (t_{∞}) jeweils der gleichen Methodik folgen, wenn die Ergebnisse verglichen werden sollen. Neben den Zuständen des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt sollte auch die Veränderung zwischen den Zeiträumen betrachtet werden. Denn wie stark und schnell sich die Systemzustände zwischen der Referenz und der nahen

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN: Wirkungsketten entwickeln

1. Es wird empfohlen, die Klimawirkungen mit Hilfe von Wirkungsketten zu beschreiben, die den Zusammenhang zwischen klimatischem Einfluss, räumlichem Vorkommen, Sensitivität und Klimawirkung darstellen. Wirkungsketten können unter anderem dabei unterstützen, Klimawirkungen sowie geeignete Analyse- und Bewertungsverfahren auszuwählen und Wechselbeziehungen zwischen Sektoren zu analysieren.
2. Die Wirkungsketten sollten zwischen der Arbeits- und Entscheidungsebene abgestimmt werden.
3. Wenn notwendig, sollten die Klimawirkungen ausgewählt werden, die für den Untersuchungsraum vordringlich relevant sind. Die Auswahlkriterien sollten auf den Zweck der Untersuchung abzielen und können die soziale, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle sowie flächenhafte Bedeutung von Klimawirkungen für den jeweiligen Untersuchungsraum umfassen.

Zukunft ändern, erlaubt erste Einschätzungen auch für die ferne Zukunft, solange keine Schwellenwerte und Kipp-Punkte überschritten werden oder nicht-lineare Prozesse berücksichtigt werden müssen. Es ist notwendig, die ferne Zukunft auf diese Weise vereinfacht abzuschätzen, wenn diese aufgrund fehlender qualitativer und quantitativer Sensitivitäts- oder räumlicher Szenarien nicht analysiert werden kann.

Um die zukünftigen Auswirkungen des Klimas zu analysieren, bestehen drei grundsätzliche methodische Herangehensweisen (Operationalisierungsmethoden):

1. Wirkmodelle

Sofern Wirkmodelle zur Abschätzung der Klimawirkungen vorhanden sind, die die komplexen und häufig nicht linearen Zusammenhänge zwischen klimatischen Größen und Sensitivitätsparametern abbilden, sollten ihre Ergebnisse genutzt werden. So wurde im Netzwerk Vulnerabilität vom Fachinformationssystem Bodenkunde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (FISBo BGR) die effektive Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode mittels eines Modells zur Abschätzung der Klimawirkung „Bodenwassergehalt“ berechnet. Dabei muss darauf geachtet werden, welche Annahmen den Modellen zugrunde liegen und ob sie vereinbar sind mit den Grundannahmen des Vorhabens in Bezug auf die zeitlichen und räumlichen Strukturen sowie die verwendeten klimatischen und sozioökonomischen Szenarien.

2. Verwendung von Proxyindikatoren¹³

Wenn keine geeigneten Wirkmodelle vorliegen, sollten die Klimawirkungen mittels plausibler Daten parametrisiert werden. Als Grundlage hierfür dienen von Expertinnen und Experten benannte Proxyindikatoren für die Kernelemente klimatischer Einfluss, räumliches Vorkommen und Sensitivität. Dies bedeutet, dass für jede Klimawirkung eine oder mehrere klimatische Größen, Parameter für das räumliche Vorkommen und die Sensitivität verwendet und miteinander verschnitten werden. Welche Proxyindikatoren ausgewählt werden, hängt dabei unter anderem von der räumlichen Auflösung ab. Beispielsweise wurden in der Analyse des Netzwerks Vulnerabilität für die Klimawirkung „Auswirkungen auf Kanalsystem und Kläranlagen“ die Proxyindikatoren Starkregen und Versiegelungsgrad miteinander verschnitten.

Um die Informationen zu klimatischem Einfluss, räumlichem Vorkommen und Sensitivität zu verschnitten und hierbei die Maße und Skalen aller Kennwerte zu vereinheitlichen, empfiehlt es sich, alle Werte auf einer dimensionslosen Skala zwischen 0 und 1 zu normalisieren. Hierfür kann im besten Fall auf abgestimmte oder fachlich begründete Schwellenwerte zurückgegriffen werden. Liegen diese nicht vor, kann eine sogenannte „Min-Max-Normalisierung“ erfolgen. Dabei wird der über alle betrachteten Zeiträume kleinste Wert auf „0“ gesetzt, der größte auf „1“. Werden Klimawirkungswerte auf diese Weise normalisiert, muss klar kommuniziert werden, dass sie keine Informationen zu Stärke der Klimawirkung oder zur Frage enthalten, ab wann eine Klimawirkung kritisch ist. Denn diese Art der Normalisierung führt nicht unbedingt dazu, dass die extremen Werte der Skala optimale oder kritische Zustände bezeichnen.

Im nächsten Schritt werden die normalisierten Werte der Klimavariablen, der Indikatoren für räumliches Vorkommen und Sensitivität für jede räumliche Einheit miteinander verschnitten. Im Netzwerk Vulnerabilität wurden die Werte multipliziert, prinzipiell bieten sich aber auch andere Verfahren an (z. B. das geometrische Mittel). So entsteht eine Klimawirkungsskala von 0 bis 1, mit der räumliche und zeitliche Muster und Änderungen abgebildet werden können.

Eine Normalisierung ist auch dann wichtig, wenn mehrere Klimawirkungen aggregiert (s. u.) oder mit Werten zur Anpassungskapazität zu einem Vulnerabilitätswert verschnitten werden sollen.

3. Expertenwissen

Lassen sich Wirkungszusammenhänge nicht oder nur teilweise über die beiden genannten Vorgehensweisen quantifizieren, kann die Stärke der Klimawirkungen mithilfe von Expertenbefragungen bewertet werden. Im Netzwerk Vulnerabilität erfolgte dies beispielsweise bei der Bewertung der Klimawirkung „Management von Talsperren“. Die Befragung fachlich einschlägiger Expertinnen und Experten kann dazu genutzt werden, ihr Wissen über Klimawirkungen im Untersuchungsgebiet räumlich zu verorten und in geeignete Skalen zu überführen (zum Beispiel von eins bis fünf). Für die Befragungen sollte ein Interviewleitfaden entwickelt werden, der die Elemente

¹³ Sogenannte Proxydaten werden genutzt, um eine Situation, ein Phänomen oder eine Bedingung zu untersuchen, für die keine direkten Informationen verfügbar sind (EEA 2015).

Klimawirkung, räumliches Vorkommen und Sensitivität möglichst trennt und auf die verwendeten Untersuchungszeiträume eingeht.¹⁴ Auch sollte angestrebt werden, eine ausreichend große und repräsentative Anzahl an Expertinnen und Experten mit passendem fachlichem Hintergrund einzubeziehen.

Diese Empfehlungen zur Operationalisierung sollen es ermöglichen, eine flächendeckende, möglichst quantitative Aussage zu Klimawirkungen zu schaffen und zum Teil sehr unterschiedliche Indikatoren miteinander vergleichbar zu machen. Verfolgt die Analyse eine andere Zielstellung und möchte etwa einzelne „Hot Spots“ identifizieren oder detaillierte Wirkungszusammenhänge ermitteln, bietet sich alternativ dazu eine Herangehensweise an, bei der zunächst zu allen Klimawirkungen Expertengespräche geführt werden und nur dort quantifiziert wird, wo genauere Aussagen notwendig sind. Insbesondere auf lokaler Ebene kann ein solches, verstärkt auf Expertenbefragungen basiertes Vorgehen effektiver sein.

Datenverfügbarkeit prüfen

Daten sind der Dreh- und Angelpunkt vieler quantitativer Analysen. Ihre Verfügbarkeit beziehungsweise Nicht-Verfügbarkeit kann einen limitierenden Faktor darstellen. Daher sollten grundsätzlich die folgenden Punkte beachtet werden:

- ▶ Flächendeckende Daten sind notwendig, wenn für den Bund oder ein Bundesland für verschiedene Klimawirkungen vergleichbare Ergebnisse erzielt werden sollen.
- ▶ Für räumlich spezifische Ergebnisse sollten die Daten auf einer einheitlichen Bezugsebene (zum Beispiel Landkreise) vorliegen oder entsprechend aggregiert werden können. Rasterdaten (zum Beispiel Klimadaten) können auf administrative Raumeinheiten bezogen werden; umgekehrt können auch Daten für Raumeinheiten in Rasterdaten überführt werden.
- ▶ Die Daten sollten mindestens für den Referenzzeitraum und die nahe Zukunft vorliegen, idealerweise auch für die Gegenwart und die ferne Zukunft, falls diese betrachtet werden sollen.
- ▶ Werden Datenlücken frühzeitig identifiziert, kann entschieden werden, ob Klimawirkungen quantifiziert werden können oder über qualitative Interviews abgeschätzt werden sollten.

- ▶ Der Untersuchungsaufwand für die Messung von Klimawirkungen hängt mehr von der Wahl der Indikatoren als von der gewählten Operationalisierungsmethode ab. Und nicht nur die Durchführung der Untersuchung an sich, auch die Interpretation der Ergebnisse benötigt Zeit.

BEISPIEL: Factsheets für Indikatoren des Netzwerks Vulnerabilität

Das Netzwerk Vulnerabilität hat zu den verwendeten Indikatoren Factsheets erstellt, die jeweils eine Beschreibung des Indikators inklusive der verwendeten Quellen umfassen. Diese sind in Anhang 7 des Abschlussberichtes enthalten (adelphi/PRC/EURAC 2015b, S. 47–152).

Der Anhang ist abrufbar unter:
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_anhang_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf

Grad der Gewissheit einschätzen

Sowohl die berechneten als auch die über Experteninterviews ermittelten Ergebnisse sind mit Unsicherheiten behaftet. Um die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern, wird empfohlen, die Gewissheit der Ergebnisse bezüglich der Klimawirkungen einzuschätzen. Dies sollte getrennt für die über Modelle oder Proxyindikatoren sowie für die über Interviews operationalisierten Klimawirkungen geschehen. Quellen für die Unsicherheit von berechneten Klimawirkungen können in den verwendeten Modellen und Szenarien, den Daten und beim Zuschnitt der ausgewählten Indikatoren selbst liegen. Die Gewissheit von Interviewergebnissen ergibt sich aus der Sicherheit der Expertinnen und Experten hinsichtlich ihrer Aussagen und der Einigkeit der verschiedenen Expertinnen und Experten – analog zum Konzept des „Confidence Scale“ des Intergovernmental Panel on Climate Change (Mastrandrea et al. 2010).

¹⁴ Ein Beispiel für einen solchen Interviewleitfaden findet sich im Anhang des Abschlussberichtes des Netzwerkes Vulnerabilität (adelphi/PRC/EURAC 2015b, S. 17f.).

BEISPIEL:**Bewertung des Gewissheitsgrades von Interviewergebnissen im Netzwerk Vulnerabilität**

Die Expertinnen und Experten wurden gebeten, selbst einzuschätzen, wie sicher sie sich mit ihren Aussagen zu einer Klimawirkung waren. Ihre Angaben wurden anschließend gemittelt. Wenn etwa eine Expertin angab, sich sicher zu sein und der zweite befragte Experte sich unsicher war, ergibt sich ein mittlerer Wert für die Sicherheit der Expertinnen und Experten. War dies nicht möglich, wurde der nächstschlechteste Wert angenommen. Der Wert für die Einigkeit der Expertinnen und Experten ergibt sich aus folgenden zwei Kriterien:

1. Liegen die Bewertungen der Expertinnen und Experten maximal um eine Bewertungsstufe auf der Bewertungsskala auseinander?
2. Ist die Tendenz der Veränderungen von t_0 zu t_1 (geringer Wandel) und von t_1 (geringer Wandel) zu t_1 (starker Wandel) gleich?

Treffen beide Kriterien zu, ist die Einigkeit hoch.

Trifft nur eines zu, ist sie mittel und trifft keines zu, ist sie gering.

Damit kann der Grad der Gewissheit für die Experteninterviews nach folgendem Schema in fünf Stufen angegeben werden (Tabelle 3).

Tabelle 3:

Bewertungsschema zum Grad der Gewissheit

Einigkeit der Expert/innen	3	4	5
	2	3	4
	1	2	3
Sicherheit der Expert/innen			

Quelle: adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 59

Entsprechend wird empfohlen, den Grad der Gewissheit für jeden Indikator und jede Klimawirkung mindestens auf einer Skala von „gering“ über „mittel“ bis „hoch“ zu bewerten, besser noch auf einer fünfstufigen Skala. Für Klimawirkungen, die über mehrere Indikatoren abgebildet werden, sollte ein textliches Fazit gezogen werden.

Da die Bewertung der Gewissheit zum Teil subjektiver Natur ist, sollte sie von der den beteiligten Expertinnen und Experten und Fachakteur/innen je nach inhaltlicher Kompetenz vorgenommen werden.

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN: Klimawirkungen operationalisieren

1. Um Klimawirkungen zu beschreiben, empfehlen sich klar definierte Indikatoren. Diese können quantitativ, semi-quantitativ oder qualitativ sein.
2. Für die Operationalisierung der ausgewählten Klimawirkungen sollten gemeinsam mit den beteiligten Fachakteur/innen die relevanten Indikatoren und die Möglichkeiten der Operationalisierung identifiziert und festgelegt werden.
3. Je nach Zielstellung der Analyse sind eher quantitative oder qualitative Methoden zu verwenden. Quantitative Methoden, wie Wirkmodelle und Proxyindikatoren, sind objektiv nachvollziehbar und ermöglichen räumlich detaillierte Ergebnisse, während qualitative Methoden unabhängig von der Datenverfügbarkeit sind und Wissen sowie Erfahrungen der befragten Expertinnen und Experten zusammenfassen.
4. Klimawirkungen sollten für die Zeiträume Referenz, Gegenwart und (nahe) Zukunft jeweils mit der gleichen Methodik analysiert werden, um vergleichbare Ergebnisse zu erzeugen.
5. Eine frühzeitige Anfrage nach Daten bei den entsprechenden Behörden oder Forschungseinrichtungen ist zu empfehlen, da zum Teil ein sehr hoher zeitlicher (und personeller) Aufwand besteht, um die angefragten Daten zusammenzustellen.
6. Um die Interpretation zu erleichtern, wird empfohlen, die Gewissheit der Ergebnisse für die Klimawirkungen einzuschätzen.

BEISPIEL: Operationalisierung von Klimawirkungen im Netzwerk Vulnerabilität: Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Starkregen/Sturzfluten

Abbildung 5 auf Seite 29 zeigt Karten zum Indikator „Potenzielle Schäden an Gebäuden durch Sturzfluten“. Hierzu lassen sich die folgenden Kernaussagen treffen:

- ▶ Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Sturzfluten werden durch Starkregenereignisse in Kombination mit dem Gefälle beeinflusst. Für die Sensitivität spielen insbesondere die Zahl potenziell gefährdeter Gebäude und die vorhandene Infrastruktur eine Rolle.
- ▶ Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Sturzfluten wurden im Netzwerk Vulnerabilität auf Basis eines Proxyindikators operationalisiert. Dieser bezieht für den klimatischen Einfluss als Klimawirkung erster Ordnung die Anzahl der Starkregentage (Tage mit mehr als 20 Millimeter Niederschlag) und die Reliefenergie (Standardabweichung Gefälle) ein. Diese wurden sowohl in ihren relativen als auch absoluten Werten additiv miteinander verknüpft. Die Sensitivität wurde über Siedlungsflächen (bebaute Gebiete sowie Industrie- und Gewerbeflächen) sowie Bevölkerungsdaten approximiert. Die Proxyindikatoren für klimatischen Einfluss und Sensitivität wurden multiplikativ miteinander verknüpft.
- ▶ Besonders starke Gefährdungen infolge Auswirkungen des Klimawandels zeigen sich in Großstädten und Landkreisen mit hoher Siedlungs- und Bevölkerungsdichte am Alpenrand (München, Landkreis Rosenheim), am Rand des Sieger- und Sauerlands (Essen, Bergisches Städtedreieck) sowie, insbesondere aufgrund der Sensitivität (hohe absolute und relative Werte bei den Siedlungsflächen), in Stuttgart, Berlin und Hamburg. Die Auswirkungen des Klimawandels könnten in naher Zukunft unter Bedingungen eines starken Wandels aufgrund der Zunahme von Tagen mit Starkregen im Schwarzwald besonders deutlich und im Erzgebirge, im Sieger- und Sauerland sowie am Alpenrand deutlich zunehmen.
- ▶ Auf Ebene von Landkreisen und kreisfreien Städten ist die vorhandene Datengrundlage geeignet, um mit mittlerer bis hoher Gewissheit Aussagen über Gefährdungen von Siedlungsflächen durch Sturzfluten zu treffen. Eine Einschränkung ergibt sich dahingehend, dass Senken, in denen sich Wasser stauen kann, nicht mit abgebildet werden und der Gebäudezustand nicht berücksichtigt werden kann.

3.2.3 Klimawirkungen bewerten und aggregieren

Bewertungsansätze

Wichtig ist es, die fachliche Analyse und die Bewertung der Ergebnisse klar voneinander zu trennen. Die Stärke einer potenziellen Klimawirkung kann nicht mit ihrer Bedeutung gleichgesetzt werden. Während in einigen Systemen – zum Beispiel bestimmten Ökosystemen – schon kleine Änderungen eine große Bedeutung haben können, können andere Klimawirkungen, die möglicherweise stärker sind, leichter kompensiert werden.

Die Kriterien und das Schema der Bewertung sind abhängig vom Zweck der Analyse. Sofern dieser darin besteht, langfristig, großräumig und unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen Klimawirkungen die Allokation von Ressourcen zur Anpassung an den Klimawandel, inklusive Forschungsförderung, zu priorisieren, bietet es sich zum Beispiel an, die Klimawirkungen oder Handlungsfelder integriert zu betrachten. Eine solche integrierte Bewertung kann über verschiedene Ansätze geschehen:

1. Quantitativ anhand von klimawirkungsspezifischen Maßstäben (Schwellenwerte),
2. Quantitativ über gemeinsame Bezugsgrößen, beispielsweise durch Normalisierung oder Monetarisierung,
3. Qualitativ durch Expertinnen und Experten auf Grundlage von übergreifenden – mit der Entscheidungsebene abgestimmten – Bewertungskriterien.

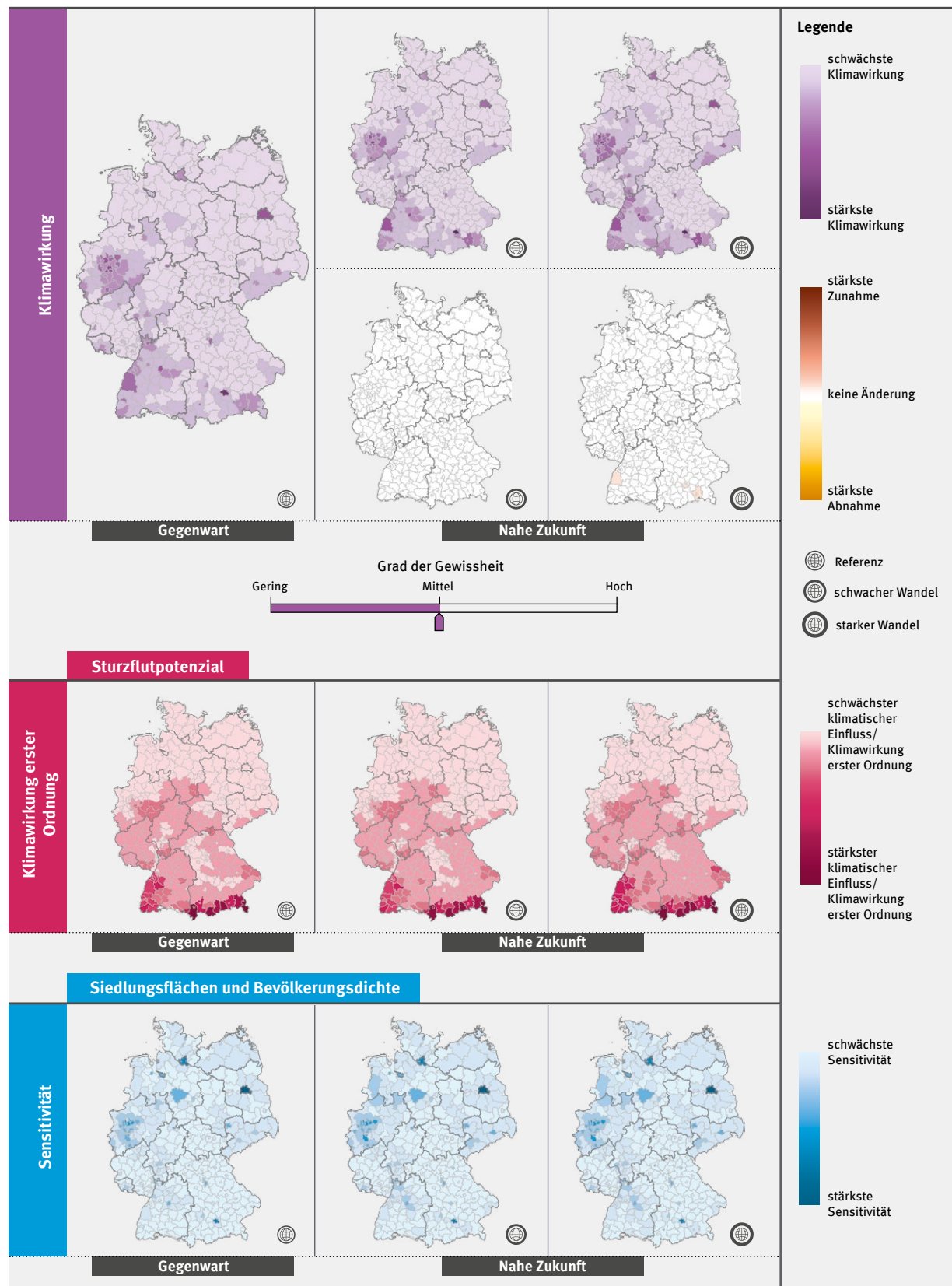
Grundsätzlich ist es eine Herausforderung, klimawirkungsspezifische und übergreifende Bewertungskriterien festzulegen. Um Einzelbewertungen zusammenzuführen, benötigt man zudem ein Maß für die Gewichtung dieser Bewertungen.

Spezifische Schwellenwerte zu ermitteln, ab wann eine Klimawirkung kritisch wird, ist schwierig (siehe Abschnitt 3.2.2), und viele Klimawirkungen können ohnehin (bisher) nicht quantifiziert werden. Daher ist eine qualitative, übergreifende Bewertung nicht selten die einzige Möglichkeit, vergleichende Aussagen zu treffen. Selbst dann, wenn Klimawirkungen über Modelle

BEISPIEL (Fortsetzung von Seite 28): Operationalisierung von Klimawirkungen im Netzwerk Vulnerabilität

Abbildung 5:

Karten zum Indikator „Potenzielle Schäden an Gebäuden durch Sturzfluten“



Quelle: adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 431

oder Proxyindikatoren berechnet werden können, sind einheitliche quantitative Bewertungsmaßstäbe, wie die Monetarisierung nur schwer auf alle Klimawirkungen anzuwenden. Um etwa Klimawirkungen auf Naturräume und Ökosysteme zu monetarisieren, z. B. die Etablierung invasiver Arten, sind eine ganze Reihe normativer Annahmen erforderlich.

BEISPIEL: Vergleichende Bewertung von Klimawirkungen im Netzwerk Vulnerabilität

Im Netzwerk Vulnerabilität haben die beteiligten Bundesbehörden und -institutionen bewertet, welche Bedeutung die ermittelten Klimawirkungen für Deutschland haben. Die Bewertung erfolgte für die Gegenwart sowie für die nahe Zukunft im Fall eines schwachen oder starken Wandels.

In einer strukturierten Abfrage haben die Netzwerkpartner diese Bedeutung auf einer Skala von „niedrig“ über „mittel“ bis „hoch“ bewertet. Die Netzwerkpartner berücksichtigten bei ihrer Bewertung mehrere Kriterien gleichzeitig: die soziale, die

ökonomische, die ökologische und kulturelle sowie die flächenmäßige Bedeutung der Klimawirkungen. Als Orientierung hat das wissenschaftliche Konsortium die Bedeutung aller Klimawirkungen für Deutschland zunächst selbst bewertet und sie den Netzwerkpartnern für deren Bewertung zur Verfügung gestellt. In die abschließende Gesamtbewertung ist diese Bewertung durch das Konsortium allerdings nicht eingeflossen. Die Gesamtbewertung wurde durch die Bildung eines Mittelwertes aus den einzelnen Bewertungen der Netzwerkpartner ermittelt.

Tabelle 4:

Maske um die Bedeutung von Klimawirkungen für Deutschland zu bewerten (Handlungsfeld „Boden“)

Klimawirkung	Bedeutung der Klimawirkung für Deutschland					
	Gegenwart		Nahe Zukunft			
			Schwacher Wandel		Starker Wandel	
	Konsortium	Netzwerkpartner	Konsortium	Netzwerkpartner	Konsortium	Netzwerkpartner
Boden						
Bodenerosion durch Wasser und Wind, Hangrutschung	niedrig		niedrig		mittel	
Bodenwassergehalt, Sickerwasser	niedrig		niedrig		mittel	
Produktionsfunktionen (Standortstabilität, Bodenfruchtbarkeit)	niedrig		niedrig		mittel	
Boden-Biodiversität, mikrobielle Aktivität	mittel		mittel		mittel	
Organische Bodensubstanz, Stickstoff- und Phosphor-Haushalt, Stoffausträge	mittel		mittel		mittel	



Maske, mit der die Netzwerkpartner eigene Bewertungen vorgenommen haben

Quelle: adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 60

Aggregation

Um sektorenübergreifende und zusammenfassende Aussagen zu treffen, kann es sinnvoll sein, die Ergebnisse einzelner Klimawirkungen zu aggregieren. Eine solche Aggregation ist allerdings nur dann möglich, wenn die Einheiten der Datensätze kompatibel sind oder wenn die Daten dimensionslos sind. Durch die in Abschnitt 3.2.2 beschriebene Normalisierung können Daten dimensionslos und damit vergleichbar gemacht werden. Um Daten räumlich differenziert zu aggregieren bzw. zu verschneiden, müssen sie in der Regel eine ähnliche Auflösung haben und flächendeckend vorliegen.

Auch wenn die genannten Kriterien erfüllt sind, sollte berücksichtigt werden, dass eine Zusammenfassung von Klimawirkungen immer nur einen Ausschnitt aus dem Gesamtergebnis darstellen kann. Für die Aggregation müssen nämlich stets vereinfachende Entscheidungen getroffen werden, etwa welche Klimawirkungen einbezogen und wie sie gewichtet werden. Damit bedarf eine Aggregation normativer Entscheidungen und muss transparent dargestellt werden. In der Praxis stellen sich vor allem bei komplexeren und sektorenübergreifenden Analysen die Fragen, inwieweit solche Aggregationen durchführbar und begründbar sind und wie die dafür notwendigen Entscheidungen herbeigeführt werden. Sind diese Fragen nicht hinreichend zu beantworten, sollte eine qualitative, interpretierende Zusammenfassung der Einzelergebnisse bevorzugt werden – denn auch die Entscheidung alle Klimawirkungen gleich zu gewichten wäre willkürlich und müsste letztlich normativ begründet werden.

Mit Blick auf die Transparenz der Ergebnisse ist es in jedem Fall wichtig, eine schrittweise Aggregation vom Kleinteiligen zum Großen zu bevorzugen. Denn jede Aggregation bedeutet einen Informationsverlust, der für die Adressat/innen erkennbar und nachvollziehbar sein muss. So sollten zunächst die Klimawirkungen für einzelne Handlungsfelder auf Grundlage der Wirkungsketten aggregiert werden, bevor diese miteinander verschnitten werden.

Liegen quantitative Ergebnisse zur Stärke von Klimawirkungen bei gleichem Raumbezug vor, können sie über eine Mittelwertbildung aggregiert werden. Eine Bewertung der Ergebnisse mit einheitlicher Bewertungsskala kann in diesem Fall zur Gewichtung der Klimawirkungen herangezogen werden. Im Rahmen der Analyse des Netzwerks Vulnerabilität wurden nicht die Werte zur (relativen) Stärke der Klimawirkung aggregiert, sondern deren (dimensionslose, raumunspezifische) Bedeutung. Dies ermöglichte die Aggregation von Klimawirkungen, die auf verschiedenem Weg quantitativ oder qualitativ operationalisiert wurden. Auf diese Weise konnte die Betroffenheit pro Handlungsfeld eingeschätzt werden (siehe Abschnitt 3.1.5). Für dieses Vorgehen ist es wichtig, dass das Skalenniveau der Bewertungsskala eine Mittelwertbildung zulässt.

An dieser Stelle endet die Klimawirkungsanalyse und geht direkt in Arbeitsschritt 3 – Ergebnisse kommunizieren (siehe Abschnitt 3.3) – über, die folgenden Schritte (Abschnitte 3.2.4 und 3.2.5) sind nur für die Vulnerabilitätsanalyse relevant.

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN: Klimawirkungen bewerten und aggregieren

1. Es wird empfohlen, die Bedeutung einzelner Klimawirkungen quantitativ zu bewerten, wenn entsprechende Schwellenwerte bekannt sind oder die Klimawirkungen in gemeinsame Bezugsgrößen umgerechnet werden können. Ist dies nicht möglich, wird eine semi-quantitative oder qualitative Bewertung unter Einbezug fachlicher Expertinnen und Experten empfohlen.
2. Wichtig ist es, zwischen den fachlichen Ergebnissen und deren normativer Bewertung deutlich zu unterscheiden. Eine Aggregation sollte schrittweise erfolgen. So sollten zunächst die Klimawirkungen für einzelne Handlungsfelder aggregiert werden, bevor diese miteinander verschnitten werden.
3. Aufgrund der methodischen Komplexität einer quantitativen Aggregation der Einzelergebnisse sollte stattdessen erwogen werden, diese qualitativ zusammenzuführen oder die Bewertungen der einzelnen Klimawirkungen zu aggregieren.

BEISPIEL:**Bewertung der Klimawirkungen für das Handlungsfeld Bauwesen im Netzwerk Vulnerabilität**

Tabelle 5:

Bewertung der Klimawirkungen für das Handlungsfeld Bauwesen

Zentrale klimatische Einflüsse:				
	Meeres- spiegelhöhe	Temperatur	Hitze	Extremereig- nisse
Zentrale Sensitivitäten:	Lage und Zustand von Gebäuden und Infrastrukturen, Bevölkerungsdichte und Anteil älterer Menschen			
Handlungsfeldspezifische Anpassungskapazität:	mittel			

Klimawirkung	Klimatischer Einfluss	Bedeutung		Gewissheit/ Analysemethode
Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Sturmfluten	Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten	Gegenwart		Gering / Experteninter- views
		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		Gering bis mittel / Indikatoren
		Nahe Zukunft: Schwacher Wandel	Nahe Zukunft: Starker Wandel	
		Ferne Zukunft: ++		

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

Für die ferne Zukunft wurde lediglich die Entwicklung des klimatischen Einflusses bis zum Ende des Jahrhunderts betrachtet:
 ++ starke Änderung + Änderung ~ ungewiss

Quelle: adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 444

3.2.4 Anpassungskapazität bewerten

Um eine vollständige Vulnerabilitätsanalyse durchzuführen, muss neben den Klimawirkungen auch die Anpassungskapazität bewertet werden. Aus Praktikabilitätsgründen wird empfohlen, die Anpassungskapazität als Status quo, also ihren Zustand aus heutiger Sicht, in die Vulnerabilitätsanalyse einzubeziehen. Die Anpassungskapazität repräsentiert damit den derzeit erkennbaren Raum der Möglichkeiten, sich mithilfe zusätzlicher Maßnahmen an den zu erwartenden Klimawandel anzupassen. Somit kann darauf verzichtet werden, spezielle Szenarien zu entwickeln oder zu betrachten, wie sich die Anpassungskapazität in der Zukunft möglicherweise verändern könnte.

Trotzdem ist die Bewertung der Anpassungskapazität eine besondere Herausforderung bei einer Vulnerabilitätsanalyse. Denn sie umfasst zum einen technische und finanzielle Möglichkeiten, wie man sich an den Klimawandel anpassen bzw. auf Extremereignisse reagieren kann, also die Ausstattung mit unterschiedlichen Ressourcen wie Infrastrukturen, Know-how oder Einkommen. Zum anderen beeinflusst eine Vielzahl weiterer gesellschaftlicher Faktoren die Anpassungskapazität – und diese sind teilweise schwierig zu messen. Hierzu zählen beispielsweise das Bewusstsein,

dass Anpassung nötig ist, das Sozialkapital und die Governance-Strukturen. Diese stehen auch in Wechselwirkung zueinander. Um solche Faktoren im Ansatz berücksichtigen zu können, wird empfohlen, drei Arten der Anpassungskapazität getrennt zu untersuchen: Die sektorenunabhängige, die sektorspezifische und die klimawirkungsspezifische Anpassungskapazität. Diese drei Anpassungskapazitäten ermöglichen unterschiedliche Aussagen zur Vulnerabilität einer Region im Allgemeinen, eines Sektors oder gegenüber einer einzelnen Klimawirkung und damit eine unterschiedlich differenzierte Einschätzungen der Handlungsbedarfe.

Die sektorenunabhängige, generische Anpassungskapazität einer Region kann im Allgemeinen quantitativ bestimmt werden über Indikatoren zu sozialen, administrativen und wirtschaftlichen Fragen. Um die Anpassungskapazität verschiedener Teilräume vergleichen zu können, sollten diese Daten räumlich differenziert sein. Außerdem können die Anpassungskapazitäten einfließen, die sich aus den in der Deutschen Anpassungsstrategie bezeichneten Querschnittsthemen „Raumplanung“ und „Bevölkerungsschutz“ ergeben – eventuell ergänzt um „Finanzwirtschaft“ (Versicherungs- und Kreditwesen). Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Vorsorge und Schadensbewältigung.

BEISPIEL: Kriterien der sektoralen Anpassungskapazität im Netzwerk Vulnerabilität

- ▶ **Raum der potenziellen Anpassungsmöglichkeiten:** Sind – aus heutiger Sicht – ausreichend viele Maßnahmen (und Instrumente) verfügbar, um sich an den Klimawandel anzupassen und Wetterextremen zu begegnen?
- ▶ **Bestehende Ressourcen, um mögliche Anpassungsmaßnahmen durchzuführen:** Wie gut ist die finanzielle, personelle, institutionelle und technische Ausstattung des Handlungsfeldes? Betrachtet wurden aus Sicht der befragten Expertinnen und Experten potenziell verfügbare Ressourcen, nicht die tatsächlich vorhandenen wirtschaftlichen und technischen Kapazitäten und Möglichkeiten der Ressorts, bestimmter Institutionen oder einzelner Akteure.
- ▶ **Hinderliche und unterstützende Faktoren für die Umsetzung von Maßnahmen:** Wie hoch ist das Anpassungsbewusstsein? Wie sehr sind die verantwortlichen Akteur/innen in dem Handlungsfeld sensibilisiert für die Wirkungen des Klimawandels und von Extremwetterereignissen? Wie gut können das Handlungsfeld beziehungsweise Teile davon mit Anpassungsoptionen auf langfristige klimatische Veränderungen (und kurzfristige Wetterextreme) reagieren? Sind die verfügbaren Anpassungsmaßnahmen hinreichend gesellschaftlich akzeptiert?
- ▶ **Zeitraum der Anpassung:** Wie viel Zeit wird benötigt, das System flächendeckend umzustellen bzw. wie viel Zeit benötigt das System, um sich anzupassen? Bis wann sollten die wichtigsten Maßnahmen begonnen werden, wenn mit intensiven klimatischen Veränderungen ab Mitte des Jahrhunderts zu rechnen ist?

Um die sektor- oder klimawirkungsspezifische Anpassungskapazität zu bestimmen, sollten Interviews mit den beteiligten Fachakteur/innen und weiteren Expertinnen und Experten für alle einschlägigen Handlungsfelder bzw. Klimawirkungen durchgeführt werden. Denn deren Anpassungskapazität hängt von vielen Faktoren ab, etwa der Baumartenzusammensetzung im Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“ oder der Unternehmensgröße im Handlungsfeld „Industrie und Gewerbe“, die über solche Interviews identifiziert und in ihrer Bedeutung eingeschätzt werden können. Ziel der Interviews ist es daher, von den befragten Akteur/innen bzw. Expertinnen und Experten möglichst spezifische Informationen zur Anpassungskapazität des jeweiligen Sektors oder zur Anpassungskapazität an eine bestimmte Klimawirkung zu erhalten. Hierbei kommt denjenigen Aspekten eine besondere Bedeutung zu, die die Anpassungsmöglichkeiten von denen anderer Sektoren oder Klimawirkungen unterscheiden. Im Netzwerk Vulnerabilität wurde aus Kapazitätsgründen nur die sektorale Anpassungskapazität durch Experteninterviews untersucht (siehe Beispiel Seite 33).

3.2.5 Vulnerabilität bewerten

Die Ergebnisse zur Vulnerabilität quantitativ darzustellen, ist nur dann möglich und sinnvoll, wenn für Klimawirkungen und Anpassungskapazität gleichermaßen klar definierte und messbare Kenngrößen bestehen. Notwendig ist dies zum Beispiel, um den Effekt von Anpassungsmaßnahmen auf die Vulnerabilität von Systemen abzuschätzen – unabhängig davon, ob die Maßnahmen tatsächlich umgesetzt werden oder nicht.

Aber: Die ermittelten Klimawirkungen mit den Anpassungskapazitäten zur Vulnerabilität zu verschneiden, ist methodisch und inhaltlich schwierig – vor allem, wenn diese sektorenübergreifend bestimmt werden soll. Grund ist unter anderem die heterogene Natur der Informationen (räumlich, nicht-räumlich, quantitativ, qualitativ). Deshalb wird empfohlen, die Vulnerabilität für die einzelnen Handlungsfelder rein verbal-qualitativ oder semi-quantitativ einzuschätzen. Über die räumliche Dimension der Klimawirkung können dabei mit Hilfe der Indikatoren zumindest verbal auch Aussagen dazu getroffen werden, wie sich die Vulnerabilitäten einzelner Regionen unterscheiden.

Mit Blick auf die Interpretation der Ergebnisse zur Vulnerabilität sollte Folgendes bedacht werden: Besitzt ein System eine hohe Anpassungskapazität, ist es relativ gering vulnerabel. Allerdings bedeutet diese Feststellung nicht, dass es keinen Handlungsbedarf für die Politik gibt und dieser Zirkelschluss sollte unbedingt vermieden werden. Schließlich heißt allein die Fähigkeit zur Anpassung noch lange nicht, dass diese auch genutzt und erforderliche Maßnahmen umgesetzt werden. Somit können auch gering vulnerable Systeme dennoch Anreize bedürfen, damit Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden (siehe auch Tabelle 6). Insofern sind die Ergebnisse der getrennten Analyse und Bewertung von Klimawirkungen und Anpassungskapazität häufig wichtiger als deren Aggregation zu einem Vulnerabilitätswert. Zudem sollte berücksichtigt werden, dass die Aussage zur Vulnerabilität eines Sektors meist schwierig zu interpretieren ist, da sie Bewertungen und Erkenntnisse unterschiedlicher Qualität stark zusammenfasst.

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN: Anpassungskapazität und Vulnerabilität

1. Es wird empfohlen, die sektorenunabhängige, die sektorspezifische und die klimawirkungsspezifische Anpassungskapazität getrennt zu untersuchen.
2. Die Anpassungskapazität sollte stets getrennt von den Ergebnissen zu Klimawirkungen kommuniziert werden. Denn sie kann zukünftige Klimawirkungen nur dann reduzieren, wenn sie auch dafür genutzt wird, erforderliche Maßnahmen umzusetzen.
3. Wenn klar definierte und quantifizierbare Kenngrößen für Klimawirkungen und Anpassungskapazität bestehen, kann Vulnerabilität mittels Indikatoren quantitativ bewertet werden. Gibt es diese Kenngrößen nicht, bedarf es einer qualitativen oder semi-quantitativen Bewertung, die auf Experteneinschätzungen basiert. Aufbauend auf der räumlichen Verteilung der Klimawirkungen sind damit indikative Aussagen zur räumlichen Verteilung von Vulnerabilitäten möglich.
4. Es wird empfohlen, Vulnerabilitätsaussagen nur für einzelne Handlungsfelder und nicht integriert über verschiedenen Sektoren zu treffen. Die dafür notwendigen Aggregationsschritte sind zu komplex und die zugrundeliegenden heterogenen Informationen begrenzen die Vergleichbarkeit über die Sektoren.

BEISPIEL: Vulnerabilitätsbewertung im Netzwerk Vulnerabilität

Die Vulnerabilität wurde aus der Betroffenheit der Handlungsfelder und ihrer sektoralen Anpassungskapazität qualitativ für die nahe Zukunft abgeleitet. Wie stark betroffen die einzelnen Handlungsfelder sind, wurde anhand der Bedeutung ihrer Klimawirkungen für Deutschland in naher Zukunft im Fall eines starken Wandels eingeschätzt:

$$B_{HF} = \frac{2 * KW_h + 1 * KW_m + 0 * KW_g}{KW_{ges}}$$

mit

B_{HF} = Betroffenheit des Handlungsfeldes

KW_h = Anzahl der operationalisierten Klimawirkungen des Handlungsfeldes mit einer hohen Bedeutung im Fall eines starken Wandels

KW_m = Anzahl der operationalisierten Klimawirkungen des Handlungsfeldes mit einer mittleren Bedeutung im Fall eines starken Wandels

KW_g = Anzahl der operationalisierten Klimawirkungen des Handlungsfeldes mit einer geringen Bedeutung im Fall eines starken Wandels

KW_{ges} = Gesamtanzahl der operationalisierten Klimawirkungen des Handlungsfeldes

Die einzelnen Klimawirkungen werden so auf Basis ihrer Bedeutung und nicht auf Basis ihrer (relativen) Stärke aggregiert. Die Betroffenheit eines Handlungsfeldes kann in diesem Fall zwischen null und zwei liegen. Anschließend wurden diese Werte in eine fünfstufige Skala überführt und der sektoralen Anpassungskapazität in einer Kreuztabelle gegenübergestellt (siehe Tabelle 6). Das Ergebnis ist die Vulnerabilität eines Sektors.

Tabelle 6:

Kreuztabelle zur Bestimmung der Vulnerabilität eines Handlungsfeldes

		Betroffenheit				
		gering	gering bis mittel	mittel	mittel bis hoch	hoch
Sektorale Anpassungskapazität	gering	gering	mittel	mittel	mittel bis hoch	hoch
	gering bis mittel	gering	gering bis mittel	mittel	mittel bis hoch	mittel bis hoch
	mittel	gering	gering bis mittel	gering bis mittel	mittel	mittel bis hoch
	mittel bis hoch	gering	gering	gering bis mittel	mittel	mittel
	hoch	gering	gering	gering	gering bis mittel	mittel

Quelle: adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 57

3.3 Arbeitsschritt 3: Ergebnisse kommunizieren und nutzen

Zunächst muss bereits bei der Konzepterstellung geklärt sein, wer die Zielgruppe der Analyse und ihrer Ergebnisse ist. An ihnen sollte sich die Darstellung der Ergebnisse ausrichten. Insbesondere wenn die Ergebnisse oder zumindest ein Teil davon auch die Öffentlichkeit adressieren, sind ausreichend Ressourcen finanzieller und zeitlicher Art für Kommunikationsmaßnahmen zu kalkulieren. Notwendig ist dann eine geeignete, allgemeinverständliche Sprache und Darstellungsform. Darüber hinaus – und auch dies muss im Vorhinein kalkuliert werden – könnten Datensätze wissenschaftsjournalistisch so aufbereitet werden, dass sie online für eine breitere Öffentlichkeit dargestellt werden können.

Um klimatische Größen und sozioökonomische Daten zu vermitteln, ist zu empfehlen, Messergebnisse für den Referenzzeitraum als Absolutwerte und Modellergebnisse für die Zukunft als Veränderungswerte darzustellen. Auf diese Weise können Tendenzen schneller erfasst werden. Auch ist zu beachten, dass qualitative und quantitative Ergebnisse jeweils eigene Darstellungsformen benötigen. Die berechneten Klimawirkungen sollten unabhängig von deren Bewertung kommuniziert werden. Ebenso sollten Ergebnisse zu Klimawirkungen, Anpassungskapazität und Vulnerabilität unbedingt getrennt voneinander dargestellt werden.

In der Dokumentation sollte transparent gemacht werden, ob die getroffenen Aussagen in erster Linie selbst erarbeitet wurden („Primäranalyse“) oder ob hauptsächlich Aussagen aus anderen Quellen zusammengetragen wurden („Sekundäranalyse“). Die Grenzen sind hier oft fließend, ein solcher Hinweis hilft aber, die Bedeutung der Analyse im Vergleich zu anderen Analysen einschätzen zu können.

Die fachliche Dokumentation der Analyse in einem Abschlussbericht sollte nicht nur die Ergebnisse, sondern auch die Methodik inklusive aller Annahmen und normativen Entscheidungen enthalten. Dies erleichtert es, die Ergebnisse zu interpretieren und zwischen Analysen zu vergleichen. Darüber hinaus tragen insbesondere einheitliche Bewertungs- und Formulierungsregeln zu einer größeren Transparenz der Ergebnisse bei. Diese sollten idealerweise in einer Textbox mit hohem Wiedererkennungswert im zusammenfassenden Teil der Analyse dargestellt werden (siehe Beispiel). Zudem sollten die zentralen Angaben zur Methodik in der Zusammenfassung stehen, denn oft verstecken sich wichtige methodische Angaben im Fließtext der häufig mehrere hundert Seiten umfassenden Analysen.

BEISPIEL: Überlegungen zu einheitlichen Vorgaben zur Bewertung der Ergebnisse von Klima- wirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen

Die Bewertung der Ergebnisse sollte über im Voraus definierte und – wo möglich – anerkannte Vorgaben erfolgen, ähnlich wie es das IPCC für Aussagen zur Wahrscheinlichkeit des Eintretens zukünftiger Ereignisse vorgenommen hat (Mastrandrea et al. 2010):

- ▶ **Wahrscheinlichkeit des Eintretens:** Abstufung, wann die abgeschätzten Klimaauswirkungen „sicher“, „wahrscheinlich“, „sehr unwahrscheinlich“ usw. eintreten werden.
- ▶ **Stärke der Veränderung:** Abstufung, wann die Änderung einer Klimawirkung als „gering“, „moderat“ oder „stark“ eingeschätzt wird.
- ▶ **Häufigkeit:** Insbesondere wenn es um das verstärkte Auftreten von Ereignissen (zum Beispiel Extremwetterereignissen) geht, sollte klar definiert sein, was „selten“, „häufig“ oder „sehr häufig“ bedeutet, und dieses Wording entsprechend konsistent verwendet werden.

Generell bietet sich an, zunächst das Konzept und die Methode der Analyse und dann jedes Element von Vulnerabilität separat darzustellen. Bei sektorenübergreifenden Klimawirkungs- oder Vulnerabilitätsanalysen ist es hilfreich, die Klimawirkungen für jeden Sektor einzeln darzustellen. Daran sollten gleich die sektorspezifische Anpassungskapazität und die sektorale Vulnerabilität anschließen, damit sie im Zusammenhang mit den Klimawirkungen interpretiert werden können. Da Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen nicht selten viele Akteur/innen sowie Expertinnen und Experten einbeziehen (siehe Abschnitt 3.1.1), sollte ausreichend Zeit für einen Review-Prozess des Abschlussberichtes und weitere Kommunikationsformate eingeplant werden.

Weitere Hinweise zur Darstellung, Visualisierung und Vermittlung von Ergebnissen finden sich in den Leitlinien des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, S. 16 ff.

ZENTRALE EMPFEHLUNGEN:

Darstellung und Dokumentation von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse

1. In jeder Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse sollten ihr Zweck und die Adressat/innen genannt werden, denn dies bestimmt viele der normativen Entscheidungen, die in der Analyse und Bewertung getroffen werden.
2. Es sollte stets angegeben werden, auf welchen Daten, Modellen und Szenarien die Abschätzung der Klimawirkungen oder der Vulnerabilität beruht. Besonders wichtig ist auch ein Hinweis, für welchen Zeitpunkt die Aussagen getroffen werden sowie auf welches Referenzjahr sich die Abschätzung der Veränderungen bezieht.
3. Es ist zu empfehlen, alle beteiligten Fachakteur/innen, Interviewpartner/innen sowie Expertinnen und Experten zu nennen.
4. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen grafisch abzubilden. Für räumliche Analysen bieten sich Kartendarstellungen an. Dabei können Klimawirkungskarten leichter interpretiert werden, wenn die in die Analyse eingeflossenen Klima- und Sensitivitätsparameter sowie die Parameter für räumliches Vorkommen mit abgebildet werden. Bei Kartendarstellungen ist auf die räumliche Auflösung der Daten zu achten.
5. Für jede Analyse sollte kenntlich gemacht werden, wie die Qualitätssicherung durchgeführt wurde, zum Beispiel ob und in welcher Form es ein Review-Verfahren gegeben hat.

4 Literaturverzeichnis

adelphi; PRC; EURAC (2015a): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau
Online verfügbar unter:
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf
(zuletzt abgerufen am 12.04.2016)

adelphi; PRC; EURAC (2015b): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Anhang. Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau
Online verfügbar unter:
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_anhang_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf
(zuletzt abgerufen am 12.04.2016)

Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, vom Bundeskabinett beschlossen am 31.08.2011
Online verfügbar unter:
www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf
(zuletzt abgerufen am 12.04.2016)

Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, 16.11.2015
Online verfügbar unter:
www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf
(zuletzt abgerufen am 28.04.2016)

EEA [Europäische Umweltagentur] (2015): Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS).
Online verfügbar unter:
<http://glossary.eea.europa.eu/terminology>
(zuletzt abgerufen am 21.2.1017)

Fritzsche, K.; Schneiderbauer, S.; Bubeck, P.; Kienberger, S.; Buth, M.; Zebisch, M.; Kahlenborn, W. (2014): Sourcebook – Concept and guidelines for standardized vulnerability assessment, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Bonn
Online verfügbar unter:
https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp342deP/1443/wp-content/uploads/filebase/va/vulnerability-guides-manuals-reports/Vulnerability_Sourcebook_-_Guidelines_for_Assessments_-_GIZ_2014.pdf
(zuletzt abgerufen am 12.04.2016)

Imbery, F.; Plagemann, S.; Namyslo, J. (2013): Processing and analyzing an ensemble of climate projections for the joint research project KLIWAS
In: Advanced in Science and Research 10, S. 91–98

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2007a): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M. L.; Canziani, O.; Palutikof, J.; Linden, P. v. d.; Hanson, C. (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, UK

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2007b): Annex 2. Glossary, Alfons P. M.; Baede, A. P. M.; van der Linden, P.; Verbruggen, A. (Hrsg.). In: IPCC: Climate Change 2007. Synthesis Report.
Online verfügbar unter:
www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_appendix.pdf
(zuletzt abgerufen am 21.02.2017)

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea und L.L. White (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, UK und New York, USA

Linke, C. et al. (2015): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Hannover, Oktober 2015

Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers, (2010): Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Nohlen, D. (2005): Operationalisierung. In: Nohlen und Schultze (Hrsg.): Lexikon der Politikwissenschaft. Theorien, Methoden, Begriffe. Orig.-Ausg., 3., aktualisierte und erw. Aufl., München: Beck (Beck'sche Reihe, 1463), S. 637

SRES (2000): Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Nakicenovic & Swart (Eds.), Cambridge

Trewin, B. (2007): The role of climatological normals in a changing climate. Report, WMO – WCDMP, No. 61; WMO-TD No. 1377

UBA [Umweltbundesamt] (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel – Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung
Online verfügbar unter:
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht_2015_zur_deutschen_anpassungsstrategie_an_den_klimawandel.pdf
(zuletzt abgerufen am 08.07.2016)

5 Weiterführende Informationen und Links

5.1 Netzwerk Vulnerabilität

Netzwerk Vulnerabilität:

<http://netzwerk-vulnerabilitaet.de>

Abschlussbericht des Netzwerkes Vulnerabilität:

www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf

Factsheets zu Indikatoren des Netzwerkes Vulnerabilität, inkl. Hinweis auf Datenquellen (im Anhang des Ergebnisberichtes des Netzwerkes Vulnerabilität:

www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_anhang_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf

Wirkungsketten des Netzwerkes Vulnerabilität: siehe Abschlussbericht des Netzwerkes Vulnerabilität und

www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/klimawirkungsketten_umweltbundesamt_2016.pdf

Klimastudienkatalog des Netzwerkes Vulnerabilität:

<http://netzwerk-vulnerabilitaet.de/klimastudienkatalog>
(in Zukunft: aktualisierte Version unter www.anpassung.net)

5.2 Klimadaten

Deutscher Klimaatlas: www.dwd.de/klimaatlas

Euro-Cordex – Forschungsprojekt zu regionalen Klimaprojektionen:

www.euro-cordex.net

ReKliEs – Forschungsprojekt zu regionalen Klimaprojektionen:

<http://reklies.hlnug.de>

5.3 Sozioökonomische Daten

Arnold, S. (2012): Differenzierte Freirauminformationen durch Fernerkundung – Das Digitale Landbedeckungsmodell DLMDE und Integrationsmöglichkeiten in das ATKIS Basis-DLM. In: Meinel, G.; Schumacher, U. und Behnisch M. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring IV: Genauere Daten – informierte Akteure – praktisches Handeln. IÖR Schriften 60, Berlin: Rhombos. S. 55–62
Online verfügbar unter:

www.ioer.de/fileadmin/internet/IOER_schriften/IOER_Schrift_Band_60.pdf
(zuletzt abgerufen am 25.06.2015)

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2011) (Hrsg.): Auf dem Weg, aber noch nicht am Ziel – Trends der Siedlungsflächenentwicklung
BBSR-Berichte KOMPAKT 10/2011, Bonn

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2012) (Hrsg.): Trends der Siedlungsflächenentwicklung. Status Quo und Projektion 2030. BBSR-Analysen KOMPAKT 09/2012, Bonn

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011) (Hrsg.): 30-Hektar-Ziel realisiert – Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung. BMVBS Forschungen, Heft 148, Berlin

Distelkamp, M.; Großmann, A.; Hohmann, F.; Lutz, C.; Ulrich, P. und Wolter, M. I. (Verf.); Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung, Osnabrück (Hrsg.) (2009): PANTA RHEI REGIO. Ein Modellsystem zur Projektion der künftigen Flächeninanspruchnahme in Deutschland und zur Folgenabschätzung fiskalischer Maßnahmen, Osnabrück
Online verfügbar unter:
<http://edoc.difu.de/edoc.php?id=Q0234517>
(zuletzt abgerufen am 25.02.2015)

Distelkamp, M.; Mohr, K.; Siedentop, S. und Ulrich, P. (2011): Supplement zur Veröffentlichung „30-Hektar-Ziel realisiert – Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung“, BMVBS Forschungen, Heft 148, Osnabrück/Stuttgart

European Environment Agency (EEA) (2007):

Urban Atlas

Online verfügbar unter:

www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas

(zuletzt abgerufen am 05.04.2016)

Hilferink, M. und Rietveld, P. (1999): Land Use Scanner: An integrated GIS based model for long term projections of land use in urban and rural areas. In: Journal of Geographical Systems, 1(2), S. 155–177

Koomen, E.; Stillwell, J.; Bakema, A. und Scholten, H. J. (Hrsg.) (2007): Modelling Land-Use Change. Progress and Applications. The GeoJournal Library, Vol. 90, Springer

6 Anhang

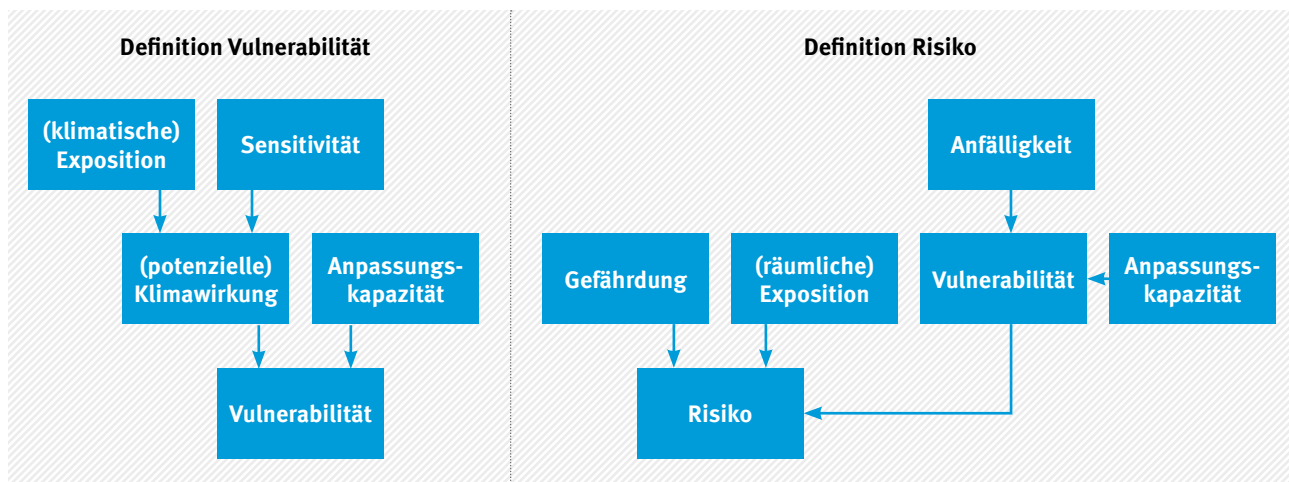
6.1 Anhang 1: Veränderungen im Vulnerabilitätsverständnis des IPCC

Der Intergovernmental Panel on Climate Change definiert in seinem vierten Sachstandsbericht Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel als Endergebnis eines Abschätzungsprozesses: „Verwundbarkeit ist das Maß, zu dem ein System gegenüber nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderung, einschließlich Klimavariabilität und Extremwerte, anfällig ist und nicht damit umgehen kann. Verwundbarkeit ist eine Funktion der Art, des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und -schwankung, der ein System ausgesetzt ist, seiner Sensitivität und seiner Anpassungskapazität.“ (IPCC 2007a, S. 21; siehe Abbildung 6). Vulnerabilität ist damit die Endgröße, die untersucht werden sollte, um das Gefährdungspotenzial eines (zukünftigen) Klimawandels unter Berücksichtigung der Klimavariabilität einzuschätzen.

Im 5. Sachstandsbericht (IPCC 2014) wurden die Begrifflichkeiten geändert. Dort wurde als Endgröße der Begriff Risiko eingeführt: „Risiko resultiert aus der Wechselwirkung von Verwundbarkeit, Exposition und Gefährdung. In diesem Bericht wird der Begriff Risiko primär verwendet, um Risiken bezüglich der Folgen des Klimawandels zu beschreiben“ (IPCC 2014, S. 40). Vulnerabilität (Verwundbarkeit) wird hier als eine Zwischengröße definiert, die so unterschiedliche Konzepte wie Sensitivität, Anpassungs- und Bewältigungskapazität umschließt (siehe Abbildung 6): „Vulnerabilität ist die Neigung oder Prädisposition, nachteilig betroffen zu sein. Vulnerabilität umfasst eine Vielzahl von Konzepten und Elementen, wie z. B. Empfindlichkeit oder Anfälligkeit gegenüber Schädigung und die mangelnde Fähigkeit zur Bewältigung und Anpassung“ (IPCC 2014, S. 39).

Abbildung 6:

Vulnerabilität nach IPCC 2007 und Risiko nach IPCC 2014



Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt 2017, unter Berücksichtigung der Definitionen in IPCC 2007a, S. 6 und IPCC 2014, S. 37 ff., linke Grafik nach adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 28

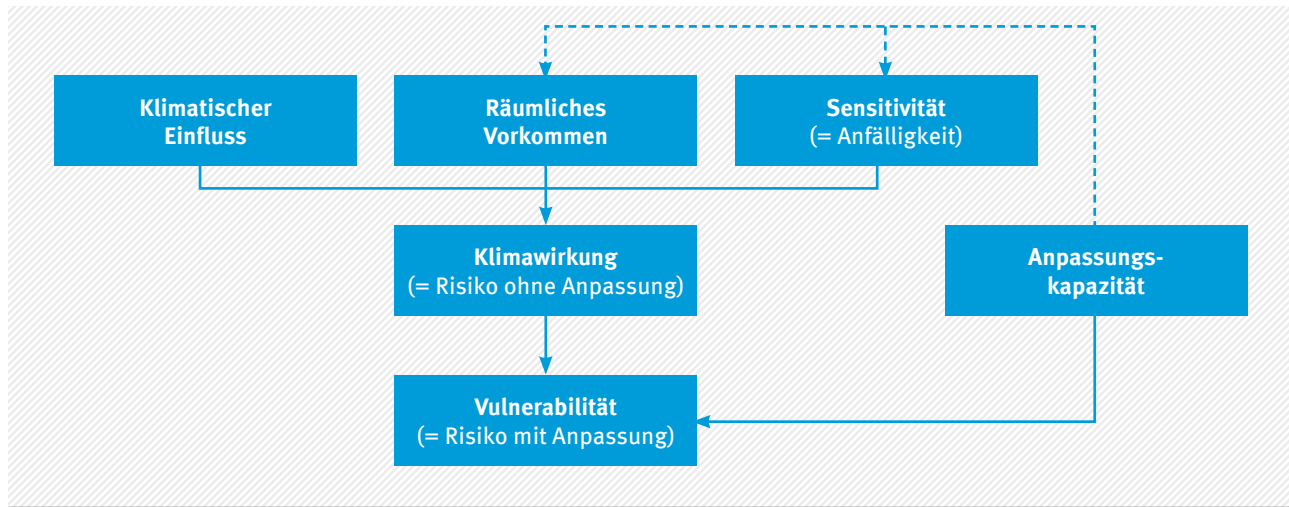
Das Vulnerabilitätskonzept des IPCC 2007 wurde intensiv diskutiert, u. a. weil die Begriffe unscharf definiert sind, die Funktion, wie die Komponenten zusammenhängen, nicht geklärt ist, und damit die empirische Umsetzung des Konzeptes schwierig ist. Insbesondere der Begriff Anpassungskapazität in seinem Verhältnis zur Sensitivität und in seiner zeitlichen Zuordnung ist schwierig messbar. Mit den Jahren wurde dieses Vulnerabilitätskonzept weiterentwickelt und in Projekten durch Indikatoren operationalisiert. Hierbei zeigten sich – trotz aller Schwächen – auch Vorteile:

1. Das Konzept ist zukunftsgerichtet, d. h. es schließt die Veränderbarkeit des Systems durch den Klimawandel aber auch durch sozioökonomischen oder technischen Wandel in Zukunft ein. Ziel kann – je nach Stärke des Wandels und Zustand des Systems – die Erhaltung des Status Quo oder die Entwicklung eines resilienten Systems sein.
2. Die explizite Nennung der Anpassungskapazität ermöglicht die explizite Nennung von (zukünftigen) Anpassungsmöglichkeiten und -maßnahmen. Anpassungskapazität entspringt dem Vorsorgegedanken: „Die Gesamtheit der Fähigkeiten, Ressourcen und Institutionen eines Landes oder einer Region, um wirksame Maßnahmen zur Anpassung umzusetzen“ (IPCC 2007b, S. 76). Damit ermöglicht sie Vergleiche zwischen unterschiedlichen Systemen, auch hinsichtlich möglicher Unterstützungsbedarfe von außen. Allerdings ist die Anpassungskapazität – aufgrund der vielen Einflussfaktoren, wie z. B. politischer Wille – schwierig fachlich-objektiv zu bestimmen und beruht daher häufig auf einer normativen Bewertung.
3. Die Unterscheidung zwischen Sensitivität (Anfälligkeit) und Anpassungskapazität ermöglicht eine Unterscheidung in (potenzielle) Klimawirkung (Impact) und Vulnerabilität. Vulnerabilität ist hierbei meist niedriger als die Klimawirkung, weil die Anpassungskapazität – im Gegensatz zu Sensitivität – als negativer Term, d. h. die Klimawirkung mindernde Größe, in die Berechnung der Vulnerabilität eingeht. Zudem ist die Anpassungskapazität eine hypothetische Größe, da nicht sicher ist, ob sie wirklich in Zukunft eingesetzt wird, um die Vulnerabilität zu verringern. Aus diesen Gründen ist der Zwischenschritt Klimawirkung die häufig robustere und politisch für Entscheidungen relevante Größe.

4. Eine Umsetzung der aktuellen Anpassungskapazität in zukünftige Anpassungsmaßnahmen würde eine Reduzierung der zukünftigen Sensitivität und damit auch der zukünftigen potenziellen Klimawirkung bewirken. Bei der Anwendung des Konzeptes wird die operativ noch umzusetzende Anpassungskapazität aber meist direkt von der (zukünftigen) potenziellen Klimawirkung abgezogen, um so die (zukünftigen) Vulnerabilität zu bestimmen. Damit entsteht ein logischer Bruch, aber die Operationalisierung wird vereinfacht.
5. Vulnerabilität ist ein relativ weicher Begriff, der so dehnbar ist, dass er sowohl Risiken als auch Chancen umfassen kann, die durch eine langsame Veränderung als auch durch extreme Ereignisse entstehen. Auch in den mittleren Breiten hat der sogenannte schleichende Klimawandel große Auswirkungen. Vulnerabilität wird verstanden als eine Eigenschaft eines Systems, welche durch Maßnahmen beeinflusst werden kann. Der Begriff suggeriert aber nicht, dass sie mittels mathematischer Verfahren exakt berechnet werden kann.

Auch die Begriffsdefinitionen des IPCC 2014 haben Vor- und Nachteile. Auch diese Begriffe sind unscharf definiert und schwierig zu operationalisieren. Der Begriff Risiko impliziert die Berechenbarkeit einer Eintrittswahrscheinlichkeit der zugrundeliegenden Gefährdung, die für zukünftige, unsichere Entwicklungen schwierig ist. Vorteilhaft ist, dass der Begriff des Risikos für viele Akteure geläufig und eng verbunden mit den Möglichkeiten des Risikomanagements ist, d. h. durch Maßnahmen und Verhaltensänderungen konkrete Risiken zu beeinflussen. Für den Risikoansatz ist – neben der Anpassungskapazität – auch die Bewältigungskapazität bedeutsam. Sie umfasst die Fähigkeit eines Systems auf bereits bestehende Gefahren zu reagieren und durch kurzfristige Maßnahmen vor, in und nach einem akuten Ereignis den Ursprungszustand wieder herzustellen. Ein weiterer Vorteil wird in der neuen Definition für Exposition gesehen: „Das Vorhandensein von Menschen, Erwerbsgrundlagen, Arten oder Ökosystemen, Umweltfunktionen, -dienstleistungen oder -ressourcen, Infrastruktur oder ökonomischem, sozialem oder kulturellem Vermögen an Orten und in Umgebungen, die nachteilig betroffen sein könnten“ (IPCC 2014, S. 39). Damit wird das räumliche Vorkommen oder die Struktur des Untersuchungsobjektes oder -gebietes als wichtiger Einflussfaktor herausgehoben. Dieser Faktor wurde im Rahmen des IPCC 2007 unter Sensitivität berücksichtigt. Durch den Verzicht auf die explizite Ausweisung

Abbildung 7:

Kombination IPCC 2007 und IPCC 2014 Definitionen

Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt 2017

der Anpassungskapazität hat das Konzept zudem den Vorteil, dass alle seine Komponenten einen klaren Zeitbezug haben. Für die Zukunft können so verschiedene Risiken bestimmt werden: ein Risiko ohne und ein Risiko mit Berücksichtigung von zusätzlichen Anpassungsmaßnahmen.

Um die Vorteile beider Ansätze zu nutzen, wird daher eine Kombination aus beiden Ansätzen bei der Bearbeitung von Risiko-/Vulnerabilitätsanalysen vorgeschlagen, die auf dem IPCC 2007 Konzept aufbaut und kompatibel mit dem IPCC 2014 Konzept ist (siehe Abbildung 7).¹⁵

1. Der **klimateische Einfluss** umfasst Art, Ausmaß und Geschwindigkeit einer Klimaänderung und -schwankung, die damit zusammenhängenden physikalischen Ereignisse oder Trends. Mit klimatischer Einfluss wird die klimatische Exposition (IPCC 2007) bzw. die Gefährdung (IPCC 2014) bezeichnet, z. B. mittlerer Niederschlag, Anzahl der Tage mit Starkregen oder Höhe des Starkregens. Gefährdung erscheint als Begriff ungeeignet, da er zu einseitig nur auf negative Auswirkungen ausgerichtet ist.
2. Es wird wie im IPCC 2007 zwischen Sensitivität und Anpassungskapazität unterschieden. **Sensitivität** bezeichnet die Empfindlichkeit eines Systems gegenüber klimatischen Einflüssen aufgrund von sozioökonomischen und biophysikalischen Eigenschaften des betroffenen Systems. Sie kann sich aufgrund von sozioökonomischen und sonstigen Entwicklungen, z. B. in Folge des demographischen Wandels, mit der Zeit verändern, beispielsweise der Versiegelungsgrad einer Stadt oder der Zustand der Kanalisation. Sie umfasst auch bereits durchgeführte Anpassungsmaßnahmen zum bestehenden Zeitpunkt, z. B. Verfügbarkeit von Wasserpumpen in Tiefgaragen, Vorhandensein von Risikomanagementplänen. Anstelle von Sensitivität kann man auch den Begriff Anfälligkeit, wie im IPCC 2014, benutzen. Von Vulnerabilität, wie im IPCC 2014, sollte man an dieser Stelle nicht sprechen, da dies in Deutschland im Bereich der Klimaanpassung im Sinne des IPCC 2007 als Endgröße verstanden wird.
3. Das **räumliche Vorkommen**, d. h. die Anwesenheit von durch klimatischen Einfluss potenziell beeinträchtigten Systemen in einer Untersuchungsregion, soll wie im IPCC 2014 Konzept explizit untersucht werden, beispielsweise die Anzahl von Kläranlagen in den überflutungsgefährdeten Regionen einer Stadt. Es verändert sich zeitlich beispielsweise durch Landnutzungsänderungen. Der Begriff Exposition sollte aufgrund der unterschiedlichen Bedeutung im IPCC 2007 und 2014 gemieden werden.
4. Aus klimatischem Einfluss, räumlichem Vorkommen und Sensitivität des betroffenen Systems ergibt sich die (potenzielle) **Klimawirkung**, beispielsweise (potenzielle) Auswirkungen von Starkregenereignissen auf Kläranlagen in Städten. Die Klimawirkung entspricht nach dem Begriffsverständnis des IPCC 2014 einem Risiko ohne (zusätzliche) Anpassung.

¹⁵ Diese Abbildung und die dazugehörige Erläuterungen entsprechen dem derzeitigen Diskussionsstand in Deutschland. Sie können sich im Zuge der weiteren Etablierung und Ausdifferenzierung des IPCC 2014 Konzepts in Zukunft ändern.

5. **Anpassungskapazität** umfasst den Raum der Möglichkeiten für zukünftige, zusätzliche Anpassungsmaßnahmen (im Sinne einer Vorsorge), die über die projizierte Entwicklung der Sensitivität hinausgehen, z. B. Einbau von Schwellen vor Tiefgaragen, Einbau von Pumpen. Sie kann nur für die Zukunft abgeschätzt werden. Diese Anpassungsmaßnahmen können sowohl die Sensitivität vermindern als auch das räumliche Vorkommen verbessern.
6. Die **Bewältigungskapazität** umfasst die Möglichkeiten eines Systems, sich kurzfristig auf ein Extremereignis einzustellen oder sich nach einem Extremereignis wieder zu erholen (im Sinne einer Nachsorge oder einer Reaktionsfähigkeit), beispielsweise Verfügbarkeit von Trocknungsgeräten bei der Feuerwehr. Da sie meistens bei der Ermittlung der Sensitivität mit berücksichtigt wird, aber auch zur Anpassungskapazität hinzugerechnet oder einzeln untersucht werden kann, wird sie in diesem Konzept nicht explizit verortet.
7. Die Endgröße der Analyse ergibt sich aus der (potenziellen) Klimawirkung und der Anpassungskapazität. Bei der Operationalisierung kann die Anpassungskapazität direkt als eigenständige Größe oder indirekt bei der Einschätzung der Sensitivität und dem räumlichen Vorkommen und somit bei der (potenziellen) Klimawirkung berücksichtigt werden. Die Endgröße kann als **Vulnerabilität** (wie im IPCC 2007) oder Risiko mit zusätzlicher Anpassung (wie im IPCC 2014) bezeichnet werden. Sie kann nur für die Zukunft abgeschätzt werden.

6.2 Anhang 2: Beispielhafte Erläuterung von Ursache-Wirkungsbeziehungen in einer Wirkungskette

In Abschnitt 3.2.1 wird die Entwicklung von Wirkungsketten thematisiert. Dafür enthält der Abschnitt exemplarisch die Abbildung einer Wirkungskette für das Handlungsfeld Bauwesen aus den Arbeiten des Netzwerks Vulnerabilität (siehe Abbildung 4, Seite 23). Eine ausführliche Beschreibung der Wirkungskette des Handlungsfelds Bauwesen erfolgt in der Vulnerabilitätsanalyse Deutschlands (siehe adelphi/PRC/EURAC 2015a, S. 417 ff.). Anhand dieser Wirkungskette werden in diesem Abschnitt beispielhaft einzelne Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen den klimatischen Einflüssen unterschiedlicher Extremwetterereignisse und den damit verbundenen potenziellen biophysikalischen

und sozioökonomischen Auswirkungen näher erläutert. Diese wirken sich teilweise auf einzelne Sektoren aus beziehungsweise erzeugen Querbezüge zwischen verschiedenen Sektoren.

Die Wirkungsketten des Netzwerks Vulnerabilität sind (entsprechend Abbildung 4 von links nach rechts) jeweils in drei Teile unterteilt: Links werden die für das Handlungsfeld wichtigsten klimatischen Einflüsse dargestellt, dann die Klimawirkungen erster Ordnung (direkte Klimawirkungen), gleichzusetzen mit allgemeinen biophysikalischen Auswirkungen sowie ganz rechts die Klimawirkungen zweiter Ordnung (indirekte Klimawirkungen), meist gleichzusetzen mit sozioökonomischen Auswirkungen auf den Sektor. Diejenigen Klimawirkungen zweiter Ordnung, die im Netzwerk Vulnerabilität operationalisiert wurden, sind in der Abbildung fliederfarbig hinterlegt. Die nicht untersuchten Klimawirkungen sind grau hinterlegt. In Anlehnung an den Monitoringbericht (siehe UBA 2015) werden den (sektoralen) Klimawirkungen jeweils Indikations- bzw. Themenfelder zugeordnet (in der Abbildung auf der untersten Ebene schwarz hinterlegt).

Die Extremereignisse im Bauwesen umfassen die klimatischen Einflüsse Starkregen, Sturm und Hagel. Durch Starkregenereignisse können als Klimawirkung erster Ordnung Hochwasser in Form von Flusshochwasser oder Sturzfluten entstehen. Dadurch besteht auch ein Querbezug zum Handlungsfeld *Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft*, in dem diese Klimawirkungen operationalisiert und bewertet werden. Ebenso können im Bauwesen durch Starkregenereignisse in Abhängigkeit vom Untergrund Massenbewegungen wie Rutschungen auftreten. Diese biophysikalischen Auswirkungen können zu Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen führen. In ähnlicher Art und Weise können auch Stürme und Hagel zu direkten Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen führen.

Diese Klimawirkungen können dem Themenfeld „Schäden an Gebäuden, Bauwerken und der zugehörigen Infrastruktur“ zugeordnet werden. Dieses ist eines von insgesamt vier Themenfeldern im Handlungsfeld Bauwesen. Die Gesamtheit der Klimawirkungen in diesem Themenfeld haben Querbezüge zu anderen Handlungsfeldern, wie *Verkehr, Industrie und Gewerbe, Menschliche Gesundheit, Bevölkerungsschutz, Tourismus und Finanzwirtschaft* beziehungsweise beeinflussen diese.



□ **Diese Broschüre als Download**
www.uba.de/publikationen

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt