



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



Methodenhandbuch zur regionalen Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung

Systematisierung der Grundlagen regionalplanerischer Klimafolgenbewertung



Inhalt

1	Ein Methodenhandbuch zur Klimafolgenbewertung in der Regionalplanung	5
1.1	Warum ein Methodenhandbuch?	6
1.2	Was kann das Methodenhandbuch leisten?	8
1.3	Wie ist das Methodenhandbuch aufgebaut?	10
1.4	Wie kam das Methodenhandbuch zustande?	11
2	Rolle und Rahmenbedingungen der Regionalplanung	13
2.1	Welche Rolle spielt die Regionalplanung im Kontext der Klimaanpassung?	14
2.2	Was regelt die Regionalplanung?	15
2.3	Welche Erfahrungen gibt es bisher?	20
2.4	Wo liegen die Grenzen? Wo bleiben offene Fragen?	28
2.4.1	Unsicherheit in den Klimaprojektionen	28
2.4.2	Belastbarkeit der Ergebnisse (Rechtssicherheit für die formalen Instrumente)	30
2.4.3	Umgang mit Ungewissheit	34
3	Grundkonzept der Klimafolgenabschätzung in der Regionalplanung	37
3.1	Welcher methodische Grundansatz eignet sich?	38
3.2	Flexibilität ermöglichen: ein dreistufiges Verfahren für die Regionalplanung	42
3.3	Wie lassen sich Klimafolgenanalysen in den Planungsprozess einbetten?	44
4	Screeningverfahren	47
4.1	Wozu dient das Screeningverfahren?	48
4.2	Wie funktioniert das Screeningverfahren?	49
4.3	Wie funktioniert das Webtool?	53
5	Referenzverfahren	57
5.1	Was sollen die Referenzverfahren leisten?	58
5.2	Wie lässt sich das Referenzverfahren operationalisieren?	59
5.3	Klimafolgenbewertung für die Handlungsfelder der MKRO	69
5.3.1	Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten	69
5.3.2	Regionale Wasserknappheiten	83
5.3.3	Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen (bioklimatische Belastungsgebiete)	103
5.3.4	Schutz der Berggebiete (v.a. Alpenraum) – Anpassung an geogene Naturgefahren	117
5.3.5	Küstenschutz	125
5.3.6	Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen	137
5.3.7	Veränderungen im Tourismusverhalten	149
6	Szenarioverfahren	153
6.1	Wozu dienen Szenarioverfahren?	154
6.2	Beispiele der Operationalisierung	155
6.2.1	Methodischer Ansatz und Fallbeispiel KlimaMORO II Region Westsachsen	155
6.2.2	Methodischer Ansatz „Regionale Zukünfte“ und Modellregion Dresden	160
7	Anwendungshinweise und Ausblick	167
8	Quellen und weitergehende Links	171

1. Ein Methodenhandbuch zur Klimafolgenbewertung in der Regionalplanung

1.1 Warum ein Methodenhandbuch?

Die Anpassung von Städten und Regionen an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels ist seit einigen Jahren ein wichtiges Forschungs- und Arbeitsfeld der räumlichen Planung. Extremereignisse, die weltweit für Schlagzeilen in den Medien sorgen, und die Warnungen der Versicherungswirtschaft vor steigenden Schadenspotenzialen insbesondere in dicht besiedelten Bereichen verdeutlichen die Brisanz des Themas. Der Handlungsdruck zur Vorsorge wächst, auch wenn erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts die Wirkfolgen des Klimawandels zu grundlegenden und nachhaltigen Veränderungen unserer Lebenswelten führen werden. Mit Blick auf die Persistenz städtebaulicher Strukturen wie auch auf die Langlebigkeit der oftmals kostenintensiven Infrastrukturen müssen bereits heute die Weichen für eine resiliente Entwicklung unserer Städte und Regionen gestellt werden.

Der Klimawandel wirkt sich räumlich sehr unterschiedlich aus. Gründe hierfür liegen in den groß- wie kleinräumig differenzierten klimatischen Veränderungen, den räumlich wie sektoral variierenden Sensitivitäten von Raum und Gesellschaft sowie den Unterschieden bezüglich der Anpassungskapazität, d.h. den Möglichkeiten, auf klimatische Veränderungen (vorsorgend) zu reagieren. Städte und Regionen müssen sich dementsprechend mit ihrer individuellen Betroffenheit in Bezug auf die zu erwartenden Klimawandelfolgen auseinandersetzen.

Um diesen raumspezifischen Herausforderungen gerecht zu werden, bedarf es belastbarer Grundlagen, die es ermöglichen, politisch-planerisches Handeln im Bereich der Klimaanpassung auf die erforderlichen Strategien und Maßnahmen zu konzentrieren (BMVBS 2007; Bundesregierung 2008; MKRO 2009; Europäische Kommission 2009). Die räumlichen Auswirkungen des Klimawandels sind zudem mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Der Umgang mit diesen Unsicherheiten wirft viele Fragen auf, nicht zuletzt nach abwägungsfesten Methoden zur Ermittlung der Klima(wandel)betroffenheit als Grundlage für verbindliche Planungsaussagen zur Klimaanpassung. Hiermit verbindet sich auch die durchaus kontrovers geführte Diskussion um

die Verwendbarkeit von Projektionen zum Klimawandel als Grundlage rechtsverbindlicher Aussagen in der Regionalplanung.

Die zahlreichen Veröffentlichungen zu Klimafolgen und Klimaanpassung lassen erkennen, dass es bislang weder ein einheitliches Konzept, noch einen einheitlichen Begriffskanon zur Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung gibt (BMVBS 2011b, Franck/Overbeck 2012). Deshalb bietet die Bundesraumordnung mit diesem Methodenhandbuch ein anwenderbezogenes, fachliches Unterstützungsangebot zur Ermittlung der regionalen Klima(wandel)betroffenheit für die Planungspraxis an, das auch den unterschiedlichen regionalen Voraussetzungen Rechnung trägt.

Das Methodenhandbuch beruht auf Erkenntnissen, die auf Bundes-, Länder- und regionaler Ebene im Rahmen zahlreicher Forschungsaktivitäten und Modellvorhaben gewonnen wurden. So starteten 2009 die Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“, kurz KlimaMORO, mit der Entwicklung regionaler Klimaanpassungsstrategien und mit Pilotprojekten. Erste Auswertungen zeigt die im Oktober 2011 erschienene BMVBS Online-Publikation 21 „Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis. Inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Betroffenheiten“. Die vorliegende Broschüre zur Klimafolgenbewertung ist die übergreifende Expertise des KlimaMORO – Phase II, in der sieben Modellvorhaben spezifische Fragestellungen vertiefen.

Resilienz

Der Begriff der Resilienz stammt zwar ursprünglich aus der Ökologie (Holling 1973), wird aber mittlerweile auch in der Risiko- und Klimafolgenforschung verwendet und in einen normativen Kontext gestellt. Damit soll eine wünschenswerte Eigenschaft von Systemen im Sinne ihrer Lernfähigkeit bzw. Anpassungsflexibilität und damit ihrer Fähigkeit, unbekannte Entwicklungen in Maßnahmenplanungen und deren Umsetzung einbeziehen zu können, ausgedrückt werden (Birkmann et al. 2012: 93).



Dem Klimawandel aktiv begegnen: KlimaMORO – Phase II

Das Methodenhandbuch zur regionalen Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung ist eingebettet in die Phase II und damit die Weiterentwicklung des Forschungsfeldes „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO – Phase II) der Bundesraumordnung. Es beschäftigt sich mit dem sinnvollen Einsatz von Klimafolgenanalysen in der Regionalplanung.

Das Methodenhandbuch wurde im Austausch mit den Ländern und den MORO-Regionen erstellt. Es will die Akteure der Stadt-, Regional- und Fachplanung dabei unterstützen, sich angemessen mit den komplexen Anforderungen im Kontext von Klimawandel und Klimaanpassung auseinanderzusetzen.

Ein weiteres Produkt ist ein webbasiertes Tool zur Ersteinschätzung der regionalen Klimafolgen. Damit unterstützt die Bundesraumordnung die Akteure der Regionalplanung bei der Erarbeitung und regionalplanerischen Umsetzung von Strategien und Maßnahmen zur Klimaanpassung.

www.klimastadtraum.de
www.klimamoro.de

1.2 Was kann das Methodenhandbuch leisten?

Die Forschungen zum Klimawandel und seinen räumlichen Folgen sind ein sehr dynamisches und weitverzweigtes Feld; viele Grundlagen und Methoden sind derzeit in Entwicklung. Das bedeutet, dass das Methodenhandbuch lediglich auf den gegenwärtigen Stand einer lebhaft und durchaus kontrovers geführten Diskussion zu Klimafolgenbewertungen in der Planungspraxis Bezug nimmt. Gleichwohl soll es in seinen Aussagen flexibel genug sein, um eine Integration neuerer Erkenntnisse zu ermöglichen.

Das Methodenhandbuch liefert die Grundlagen für ein gemeinsames Verständnis von Klimafolgenbetroffenheit in der räumlichen Planung und darauf aufbauend einen konsistenten methodischen Grundansatz zur Klimafolgenbewertung. Die Bundesraumordnung will damit zu einer praxisorientierten „Übersetzung“ von Ergebnissen der Klimawandelforschung wie auch zu einer Harmonisierung der Begrifflichkeiten und Bewertungen beitragen.

Ein entscheidendes Hemmnis in der konkreten Arbeit auf Ebene der Regionalplanung ist der oftmals schwierige Zugang zu notwendigen Grundlageninformationen, um die Betroffenheit der Region durch den Klimawandel einschätzen zu können. Der Bund möchte daher mit dem Methodenhandbuch die Regionen bei der Informationsbeschaffung unterstützen und hierzu insbesondere die Erfahrung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und die Zwischenergebnisse aus der räumlichen Klimafolgenforschung einbinden. Darüber hinaus wird aufgezeigt, wo und in welcher Form eine enge Zusammenarbeit mit den zuständigen Fachplanungen erforderlich wird, um die erforderlichen Datengrundlagen für die Regionalplanung generieren zu können.

Aufbauend auf dem Handlungskonzept der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) zu den räumlichen Konsequenzen des Klimawandels (MKRO 2013) werden die Erfassung und Bewertung von Klimafolgen mit Blick auf die Möglichkeiten regionalplanerischer Interventionen

priorisiert. Die Fokussierung auf regionalplanerisch bedeutsame Handlungsfelder ermöglicht eine zielgerichtete Ausgestaltung raumordnerischer Instrumente wie auch einen effizienten Einsatz personeller und finanzieller Ressourcen auf regionaler Ebene. Hinweise auf eine Integration der Ergebnisse in die Planungspraxis erleichtern die Einschätzung des regionalen Analyseaufwandes.

Das Methodenhandbuch zeigt mit einem dreistufigen Verfahren der Klimafolgenbewertung einen praktikablen Weg auf, um den unterschiedlichen Planungserfordernissen, Anwendungsbereichen und regionalen Voraussetzungen gerecht zu werden. Es werden Mindestanforderungen an Datengrundlagen und Methodik formuliert, die sowohl Entscheidungshilfe leisten als auch die Planungs- und Abwägungssicherheit stärken.

Aufgrund der Komplexität des Themas und der Unterschiedlichkeit der Regionen kommen einheitliche Indikatoren und Schwellenwerte zur Bewertung der Klimafolgen nur im sogenannten Screeningverfahren zum Einsatz. Zur Erläuterung der vertieften GIS-gestützten Analysen werden aus der Vielfalt aktueller Konzepte und Verfahren gute Beispiele ausgewählt und in den Grundansatz zur Klimafolgenbewertung eingeordnet. Die transparente Darstellung und Erläuterung der Methodik sowie weiterführende Links und Quellen erleichtern eine individuelle Anpassung und Kombination methodischer Ansätze wie auch die Beschaffung und Bewertung von Datengrundlagen.

Als für die Planungspraxis direkt einsetzbares Produkt wird zudem ein Webtool zum Screeningverfahren angeboten, das es erlaubt, auf Basis standardisierter Analyseschritte regionale Besonderheiten mit bundesweit verfügbaren Grundlagendaten zu Klimafolgen in Form von Regionalsteckbriefen zu verarbeiten und damit eine erste Einschätzung regionaler Betroffenheiten zu erhalten.

Klimafolgenbewertungen sind Teil der Planungsprozesse auf regionaler Ebene und müssen in diese sinnvoll eingebettet werden. Hierzu gibt die Broschüre Hinweise und stärkt damit die integrierende Aufgabe der räumlichen Planung im Kontext von Anpassungsstrategien und im Zusammenspiel mit Fachplanungen und anderen Raumakteuren.

Das Methodenhandbuch

- ✓ ...fördert das gemeinsame Grundverständnis von Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung
- ✓ ...trägt zu einer Harmonisierung zentraler Fachbegriffe bei
- ✓ ...beruht auf einem konsistenten methodischen Ansatz
- ✓ ...ermöglicht über ein dreistufiges Verfahren zur Klimafolgenbewertung ein adaptives Vorgehen
- ✓ ...systematisiert die Klimafolgenbewertung in den relevanten Handlungsfeldern der räumlichen Planung
- ✓ ...unterstützt bei der Beschaffung von Grundlagendaten
- ✓ ...bietet ein Webtool zur Ersteinschätzung der regionalen Klimafolgenbewertung an
- ✓ ...liefert gute Beispiele aus der Planungspraxis
- ✓ ...erhöht die Planungs- und Abwägungssicherheit
- ✓ ...stärkt die integrierende Rolle der räumlichen Planung
- ✓ ...richtet sich an Akteure der Stadt-, Regional- und Fachplanung



1.3 Wie ist das Methodenhandbuch aufgebaut?

Kapitel 2 widmet sich der Rolle und den Rahmenbedingungen der Regionalplanung im Kontext der Klimaanpassung. Es geht um die Raumbedeutsamkeit der Wirkfolgen des Klimawandels und den sich daraus ableitenden Regelungsbedarfen der Regionalplanung. Es wird aufgezeigt, welche Erfahrungen bislang zur Klimaanpassung in der Planungspraxis vorliegen und welche offenen Fragen und Herausforderungen sich damit verbinden. [>> Kapitel 2](#)

In **Kapitel 3** werden der Grundansatz der Klimafolgenbewertung erläutert und zentrale Begriffe definiert. Das Kapitel gibt einen Überblick über Grundkonstruktion und Ausrichtung des dreistufigen Verfahrens. Ein wichtiges Thema ist zudem die Einbettung von Klimafolgenbewertungen in die Systematik und Prozesse der räumlichen Planung. [>> Kapitel 3](#)

Kapitel 4 beschreibt das Screeningverfahren, das ein einheitliches Indikatorenset und standardisierte Analyse-schritte zur Ersteinschätzung der regionalen Betroffenheiten ermöglicht. Das Webtool und die Ergebnisse des ersten Praxistests in drei Modellregionen werden vorgestellt. So lässt sich der Anwendungsbereich des Screeningverfahrens gut nachvollziehen. [>> Kapitel 4](#)

Ein Schwerpunkt des Methodenhandbuchs liegt auf **Kapitel 5** mit methodischen Erläuterungen und Beispielen zu den Referenzverfahren. Es gliedert sich nach den Handlungsfeldern der MKRO und geht auf die je unterschiedlichen Ansätze und Rahmenbedingungen der Klimafolgenbewertungen explizit ein. Dabei steht die Einordnung der Beispiele in den konsistenten Grundansatz ebenso im Vordergrund wie die individuelle Ausgestaltung in Abhängigkeit von den Spezifika des jeweiligen Handlungsfeldes. [>> Kapitel 5](#)

Kapitel 6 beschäftigt sich mit den sogenannten Szenarioverfahren, die sich auf komplexe Art und Weise mit einer Verknüpfung zukünftiger Entwicklungstrends in der Regionalplanung auseinandersetzen. Die Szenarioverfahren sind voraussetzungsvoll und erst in der Entwicklung; sie bieten gleichwohl einen Blick auf die zukünftigen Erfordernisse einer zukunftsfähigen Regionalentwicklung. [>> Kapitel 6](#)

Kapitel 7 gibt Anwendungshinweise und einen Ausblick auf die weiteren zu erwartenden Entwicklungen in den Bereichen Klimafolgenbewertung und Klimaanpassung. [>> Kapitel 7](#)

Quellen und weitergehende Links in **Kapitel 8** sind ein Angebot zur individuellen Vertiefung des Themas in der Planungspraxis. Ein Schwerpunkt liegt auf den Grundlagedaten und Auswertungen von Klimamodellierungen sowie auf guten Beispielen von Klimafolgenbewertungen mit ausführlichen Beschreibungen der methodischen Ansätze bzw. der Ergebnisstruktur. [>> Kapitel 8](#)

1.4 Wie kam das Methodenhandbuch zustande?

- 1 In einem ersten Schritt wurden im Rahmen einer Literaturrecherche die verschiedenen Ansätze und Kontexte der Klimafolgenbewertung ausgewertet. Die Ergebnisse mündeten in eine Grundkonzeption zur Klimafolgenbewertung in der Raumplanung sowie deren methodischer Konkretisierung. Damit war auch eine Klärung und Harmonisierung zentraler Begriffe verbunden.
- 2 Im zweiten Schritt lieferte eine Länderrecherche Erkenntnisse zum aktuellen Anwendungsrahmen von Klimafolgenanalysen auf Landes- und regionaler Ebene – sowohl in strategischer als auch in instrumenteller Hinsicht. Die Ergebnisse wurden durch eine Befragung von Vertretern der Raumordnung in den Ländern und Regionen vertieft. Die Befragung gab zudem Hinweise auf mögliche Einsatzbereiche von Klimafolgenbewertungen, relevante Handlungsfelder der Klimaanpassung in der Regionalplanung sowie auf Anforderungen an ein Methodenhandbuch. Die Auswertung bisheriger Erfahrungen aus den Modellvorhaben der Raumordnung zum Klimawandel und weiteren einschlägigen Projekten diente dazu, tragfähige Ansätze zu Betroffenheitsanalysen zu erarbeiten, die sich methodisch und instrumentell in die Landes- und Regionalplanung einbinden lassen.
- 3 Im dritten Schritt stand die Entwicklung eines kohärenten methodischen Ansatzes im Vordergrund. Die Operationalisierung der Klimafolgenbewertung sollte zudem den unterschiedlichen regionalen Voraussetzungen wie auch den unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Regionalplanung in den Ländern gerecht werden. Daraus entstand ein dreistufiges Verfahren, das sukzessive weiterentwickelt wurde.
- 4 Im vierten Schritt wurde das webbasierte Tool für das Screeningverfahren konkretisiert. Dazu gehörte die inhaltliche Ausgestaltung auf der Basis frei zugänglicher und bundesweit verfügbarer Datensätze sowie die Programmierung der Web-Plattform.
- 5 Der fünfte Schritt bestand aus einem Praxistest für das Webtool. Dazu gab es Testläufe in drei ausgewählten Regionen. Die Ergebnisse ermöglichten eine Optimierung des Tools – sowohl inhaltlich als auch hinsichtlich der Benutzeroberfläche.
- 6 Der sechste Schritt wurde als Praxisworkshop am 13.11.2012 durchgeführt. Der bisherige Bearbeitungsstand wurde mit Experten aus Forschung und Planungspraxis erörtert. Eine wichtige Rolle spielten die Testläufe für das Screeningverfahren sowie ausgewählte regionale Ansätze, die als Diskussionsgrundlage für die Referenz- und Szenarioverfahren dienten. Es kamen zahlreiche Anregungen; der Workshop stellte damit einen wichtigen Meilenstein zur Entwicklung des Methodenhandbuchs dar, da die teilweise durchaus kontroversen Diskussionen die Ausgestaltung wesentlich mit beeinflussten.
- 7 Im siebten Schritt wurden die Ergebnisse des Praxisworkshops für die Referenz- und Szenarioverfahren für alle Handlungsfelder der MKRO in die Grundlogik des methodischen Ansatzes zur Klimafolgenbewertung „übersetzt“. Dies war einer der zentralen Arbeitsschritte, um von der Betrachtung einzelner Beispiele zur systematischen Aufbereitung des Vorgehens im Rahmen der unterschiedlichen Handlungsfelder zur Klimaanpassung zu kommen.
- 8 Im achten Schritt entstand das eigentliche Methodenhandbuch, das nun in einer Version 1.0 vorliegt.

Wir bedanken uns bei all denjenigen, die mit ihren Projekterfahrungen und Projektergebnissen sowie den vielfältigen Anregungen im Rahmen des Praxisworkshops zum Gelingen des Methodenhandbuchs beigetragen haben.

2. Rolle und Rahmenbedingungen der Regionalplanung

2.1 Welche Rolle spielt die Regionalplanung im Kontext der Klimaanpassung?

Um den räumlichen Auswirkungen des Klimawandels angemessen begegnen zu können, sind viele Akteure in der Pflicht, geeignete Strategien zu entwickeln und umzusetzen. Dies sind in erster Linie die Fachpolitiken, die sich – wie im Falle der Wasserwirtschaft, des Naturschutzes oder der Landwirtschaft – bereits intensiv dem Thema Klimaanpassung widmen. Sie generieren Daten, Bewertungen, Maßnahmen und Projekte, die die ökologische wie auch die sozioökonomische Robustheit des betrachteten Systems stärken und damit den erwarteten Folgen des Klimawandels wirkungsvoll begegnen sollen. Allerdings gibt es nicht für alle raumrelevanten Wirkfolgen entsprechende Fachplanungen: Prominentes Beispiel ist der Hitzeinseleffekt in großen Stadtregionen. Zudem zeigt sich, dass Anpassungsstrategien der Sektorpolitiken durchaus zu Zielkonflikten und Konkurrenzen mit anderen Raumnutzungen oder auch mit Klimaschutzpolitiken führen können.

Hier ist die Regionalplanung gefordert, ihren überörtlichen und überfachlichen Koordinierungs- und Planungsauftrag wahrzunehmen. Auch die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) betont: „Die Raum-, Regional- und Bauleitplanung stehen am Anfang der Risikovermeidungskette, da sie räumliche Vorsorgekonzepte entwickeln, die Planungsdokumente hohe Bestandsdauer und rechtliche Ver-

bindlichkeit besitzen und bis zur praktischen Umsetzung der Planinhalte teilweise lange Vorlaufzeiten entstehen“ (Bundesregierung 2008: 42).

Der Regionalplanung kommt demnach eine wichtige Rolle zu, insbesondere mit Blick auf eine Integration

- von Maßnahmen zu Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel,
- der unterschiedlichen fachplanerischen Belange in ein abgestimmtes Gesamtkonzept,
- von kurz- und langfristigen Planungszielen,
- der unterschiedlichen planerischen Ebenen (Overbeck/Hartz/Fleischhauer 2008: 367f).

Raum- und Regionalplanung werden in der Deutschen Anpassungsstrategie als Querschnittssektor betrachtet. Mit ihrem integrativen Charakter koordinieren sie die Planungen und Maßnahmen der raumrelevanten Fachplanungen. Dabei handelt es sich aber nicht um einen originären Analyseauftrag; vielmehr besteht die Aufgabe darin, auf vorbereitende fachliche Planungen und Fachbeiträge aufzubauen und deren Belange – soweit diese raumbedeutsam sind – in die Abwägung einzustellen. Deshalb gewinnt das Zusammenspiel von Regional- und Fachplanung im Kontext von Klimaanpassung eine besondere Bedeutung.

Allerdings variieren die Gestaltungsspielräume zur Erfüllung dieser Integrationsaufgaben in erheblichem Maße – entsprechend der rechtlichen Verfasstheit der Raumordnung in den Ländern, der politischen Prioritäten und Planungskulturen in den Regionen, der personellen und finanziellen Ressourcen der Planungsstellen wie auch der Verfügbarkeit der notwendigen Daten (BMVBS 2011b: 6).

Klimaschutz

„Der Begriff Klimaschutz wird mit zwei Bedeutungen verwendet: (1) In der Diskussion zum Klimawandel versteht man darunter alle Bemühungen zum Schutz des globalen Klimas, also zur möglichst weitgehenden Vermeidung des Klimawandels. Hierfür wird häufig auch der Begriff Mitigation verwendet. (2) Daneben kann Klimaschutz als Schutz bzw. Sicherung der lokalen (bio-)klimatischen Funktionen verstanden werden, i.S. des Schutzgutes ‚Klima‘ der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) oder der Strategischen Umweltprüfung (SUP)“ (Website Klima- und-Raum). Der Klimaschutz sieht im Zusammenhang mit Klimawandel verschiedene Strategien und Maßnahmen zur Minderung der Emission klimarelevanter Gase (sog. Treibhausgase) vor.

Klimaanpassung

Klimaanpassung „umfasst Initiativen und Maßnahmen, um die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber tatsächlichen oder erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung zu verringern. Es können verschiedene Arten von Anpassungen unterschieden werden, darunter vorausschauende und reaktive, private und öffentliche, autonome und geplante Anpassung. Beispiele sind die Erhöhung von Fluss- und Küstendeichen, der Einsatz von Pflanzen, die besser mit Temperaturschocks umgehen können.“ (Bundesregierung 2008: 69)

2.2 Was regelt die Regionalplanung?

Raumplanerisches Handeln ist für die Reduzierung der Folgen des Klimawandels sowie den gezielten Aufbau von Klimaschutz- und Anpassungskapazitäten von zentraler Bedeutung. Dies erkennt auch das Raumordnungsgesetz (ROG) mit dem Grundsatz § 2 Abs. 2 Nr. 6 Satz 6 an: „Den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen.“

Das Kriterium der Raumbedeutsamkeit spielt hierbei eine entscheidende Rolle (siehe Greiving 2011b; BMVBS 2010/2011b; Birkmann et al. 2012): Dies bedeutet nach § 3 Abs. 6 ROG zum einen, dass Raum in Anspruch genommen bzw. die räumliche Entwicklung oder Funktion eines Gebiets durch Klimafolgen beeinflusst wird. Gegenstand der Regionalplanung sind zum anderen nur diejenigen Handlungsbereiche, die im Sinne des § 1 Abs. 1 bzw. § 7 Abs. 3 ROG eine überörtliche, überfachliche Betrachtung erfordern, weil ihre Auswirkungen bzw. Vermeidungs- und/oder Bewältigungsstrategien von überörtlicher Bedeutung sind.

Den Gemeinden ist dabei ein substanzieller Raum zur Verwirklichung eigener bauleitplanerischer Vorstellungen zu gewähren, mit der Folge, dass die Ziele der Raumordnung den Gemeinden nur einen ausfüllungsbedürftigen Rahmen setzen können (BVerwG, Urt. v. 18.09.2003 – 4 CN 20/02 –, NVwZ 2004, S. 226 ff (226 f), Urt. v. 15.05.2003 – 4 CN 9/01 –, BauR 2003, S. 1679 ff (1680 f); Runkel 2009, § 3 Rnrrn. 44-47). Dennoch kann die Planungshoheit der Gemeinden durch die Aufstellung von Zielen der Raumordnung eingeschränkt werden, wenn das Willkürverbot und der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz beachtet werden. Die Planungshoheit wird jedenfalls nicht verletzt, wenn einzelne Gemeinden aufgrund der Situationsgebundenheit ihres Raums Einschränkungen ihrer Planungshoheit hinzunehmen haben und wenn und soweit die Ziele der Raumordnung aus überörtlichen Belangen erforderlich sind. Diese haben dann ein höheres Gewicht als die örtlichen Belange

(BVerfG, Beschl. v. 07.10.1980 – 2 BvR 584, 598, 599, 604/76 –, BVerfGE 56, S. 298 ff. (312 ff); Durner/Greiving/Reitzig 2011; Schmidt-Eichstaedt/Reitzig 2001; Gawron et al. 2010: 65, Bunzel/Hanke 2011: 50f).

Das Kriterium der Raumbedeutsamkeit war auch maßgeblich für die im Beschluss „Raumordnung und Klimawandel“ der 36. Ministerkonferenz für Raumordnung vom 10.06.2009 (MKRO 2009) angesprochenen Handlungsfelder der Raumordnung auf Landes- und Regionalplanungsebene zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien an den Klimawandel:

- **Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten**
- **Küstenschutz**
- **Schutz der Berggebiete (insbesondere Alpenraum)**
- **Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen (bioklimatische Belastungsgebiete)**
- **Regionale Wasserknappheiten**
- **Veränderungen im Tourismusverhalten**
- **Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen**

Im „Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien im Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels“ vom 23.01.2013 werden die o.g. Handlungsschwerpunkte mit der Bandbreite raumordnerischer Instrumente und Strategien verknüpft: Neben den formellen Landes- und Regionalplänen und damit einhergehenden Umweltprüfungen werden Raumordnungsverfahren, informelle Instrumente nach § 13 ROG und die laufende Raumb Beobachtung genannt (MKRO 2013: 5; s. Abb. 1). Mit der Begründung der Raumbedeutsamkeit und dem Verweis auf die Regelungsoptionen der Raumordnung wird gleichzeitig der Rahmen des Methodenhandbuchs gesetzt, der sich primär an die Akteure der Regionalplanung wendet.

Darüber hinaus stehen weitere wichtige Aspekte in Diskussion, wie beispielsweise der Umgang mit kritischen Infrastrukturen. Inwieweit sich hier Handlungsbedarf für die Regionalplanung ergibt, muss sich zukünftig zeigen und hängt sicherlich eng mit den jeweiligen regionalen Aufgabenstellungen zusammen.

Grundsätzlich muss betont werden, dass die Regionalplanningen in den verschiedenen Bundesländern von ihrer institutionellen Verfasstheit (staatlich organisiert, Mischformen, kommunalisiert), aber auch in Bezug auf ihre Steuerungsmodelle unterschiedlich aufgestellt sind, was wiederum Einfluss auf ihre Handlungsmöglichkeiten im Bereich der Anpassung an den Klimawandel hat. Insgesamt kommt im Bereich raumordnerischer Anpassung an den Klimawandel den Freiraumfunktionen eine herausgehobene Bedeutung zu. Die vielfältigen Steuerungsansätze, die die MKRO (2013) hier für alle o.g. Handlungsbereiche aufzeigt, können grundsätzlich von allen Bundesländern aufgegriffen werden, ähneln sich doch die Festlegungsmöglichkeiten für die Freiraumstruktur gemäß § 8 Abs. 5 Nr. 2 i.V.m. Abs. 7 ROG (Vorrang-, Vorbehalts- und Eignungsgebiete) weitgehend.

Demgegenüber besteht eine große Vielfalt an landesplanerischen Steuerungskulturen hinsichtlich der anzustrebenden Siedlungsstruktur (§ 8 Abs. 5 Nr. 1 ROG):

- Bundesländer, in denen die Siedlungsflächenentwicklung generell in Form einer positiv-allokativen Standortplanung gesteuert wird (Hessen, Nordrhein-Westfalen);
- Bundesländer, die die Siedlungsflächenentwicklung generell über die Festlegung eines maximalen Flächenkontingents in Verbindung mit der Vorgabe von Dichtewerten steuern (Rheinland-Pfalz, Saarland für Wohnbauflächen);

- Bundesländer, die ihr Steuerungsinstrumentarium von raumstrukturellen Gegebenheiten abhängig machen und eine Standortplanung primär in verdichteten Landesteilen zumindest optional (Baden-Württemberg, Sachsen) oder sogar verpflichtend (GL Berlin-Brandenburg, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein) vorsehen;
- Bundesländer, die ausschließlich auf negativ-restriktiven Freiraumschutz im Sinne der Festlegung eines Restriktionsraums vor Siedlungsentwicklung setzen (Bayern, Sachsen-Anhalt, Thüringen)

Die Siedlungsstruktur spielt für bestimmte Handlungsfelder wie etwa dem Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen (Dichte der Bebauung) oder der Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen (Reduzierung der Flächeninanspruchnahme) eine wichtige Rolle. Dies unterstreicht auch die MKRO (2013: 27), indem sie die Festlegung ermittelter Siedlungszuwachsfächen als Vorranggebiete in den Regionalplänen vorschlägt, was u.a. dem Schutz ökologisch wertvoller und klimarelevanter Freiflächen sowie der Sicherung von Flächen für die siedlungsnaher Erholung diene. Diese Handlungsoptionen können jedoch von denjenigen Bundesländern, die ausschließlich auf negativ-restriktiven Freiraumschutz im Sinne der Festlegung eines Restriktionsraums vor Siedlungsentwicklung setzen, nicht genutzt werden.

Raumbedeutsamkeit der Handlungsfelder der MKRO zur Klimaanpassung

Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten:

Die Raumbedeutsamkeit ist flächendeckend gegeben. Die sich mit dem fortschreitenden Klimawandel verändernden Temperatur- und Niederschlagsmuster erfordern eine überörtlich und überfachlich abgestimmte, räumlich differenzierte Bewältigung von Hochwasserrisiken in allen Flusseinzugsgebieten.

Küstenschutz:

Die Raumbedeutsamkeit ist in den Küstenräumen gegeben. Der mit Anstieg des Meeresspiegels zu ertüchtigende Küstenschutz benötigt Flächen, die raumordnerisch gesichert werden müssen. Zudem sind die Raumnutzungen hinter den Küstenschutzdeichen entsprechend dem jeweiligen Überflutungsrisiko anzupassen.

Schutz der Berggebiete (insbesondere Alpenraum):

Die Raumbedeutsamkeit ist in den Gebirgsräumen gegeben. Der Klimawandel beeinflusst Häufigkeit und Ausmaß geogener Naturgefahren (Muren, Lawinen, Felsstürze etc.). Für betroffene Flächen sind differenzierte Nutzungsregelungen zu treffen, die überörtlich und überfachlich abzustimmen sind.

Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen (bioklimatische Belastungsgebiete):

Der Hitzeineffekt tritt lokal auf und betrifft in der Regel dicht bebaute Siedlungslagen; er fällt mithin grundsätzlich in die Zuständigkeit der Bauleitplanung. Allerdings sind zumindest in Ballungsräumen, in denen ein relevanter Hitzeineffekt auftritt, stadregionale Kalt- und Frischluftbahnen und damit Austauschsysteme betroffen. Die Sicherung von Luftaustauschbahnen, aber auch klimawirksamer Ausgleichsräume sowie die Anpassung der Siedlungsstrukturen sind überörtlich und überfachlich abzustimmende Aufgaben, die den Ausschluss entgegenstehender Nutzungen erfordern.

Regionale Wasserknappheiten:

Die Raumbedeutsamkeit ist grundsätzlich gegeben. Sowohl die Sicherung von Wasserressourcen als auch die Verbesserung des Wasserhaushalts der Böden ist überörtlich und überfachlich abzustimmen und der Ausschluss entgegenstehender Nutzungen ist erforderlich. Allerdings kommt dem regionalen Wasserhaushalt eine wesentliche Rolle zu, so dass nicht flächendeckend, sondern nur dort regionalplanerischer Steuerungsbedarf besteht, wo aufgrund natürlicher Standortbedingungen (klimatische Wasserbilanz, Grundwasserneubildung etc.) und anthropogener Nutzungsansprüche eine Wasserknappheit bereits besteht (etwa in Teilen Brandenburgs) oder zukünftig zu erwarten ist.

Veränderungen im Tourismusverhalten:

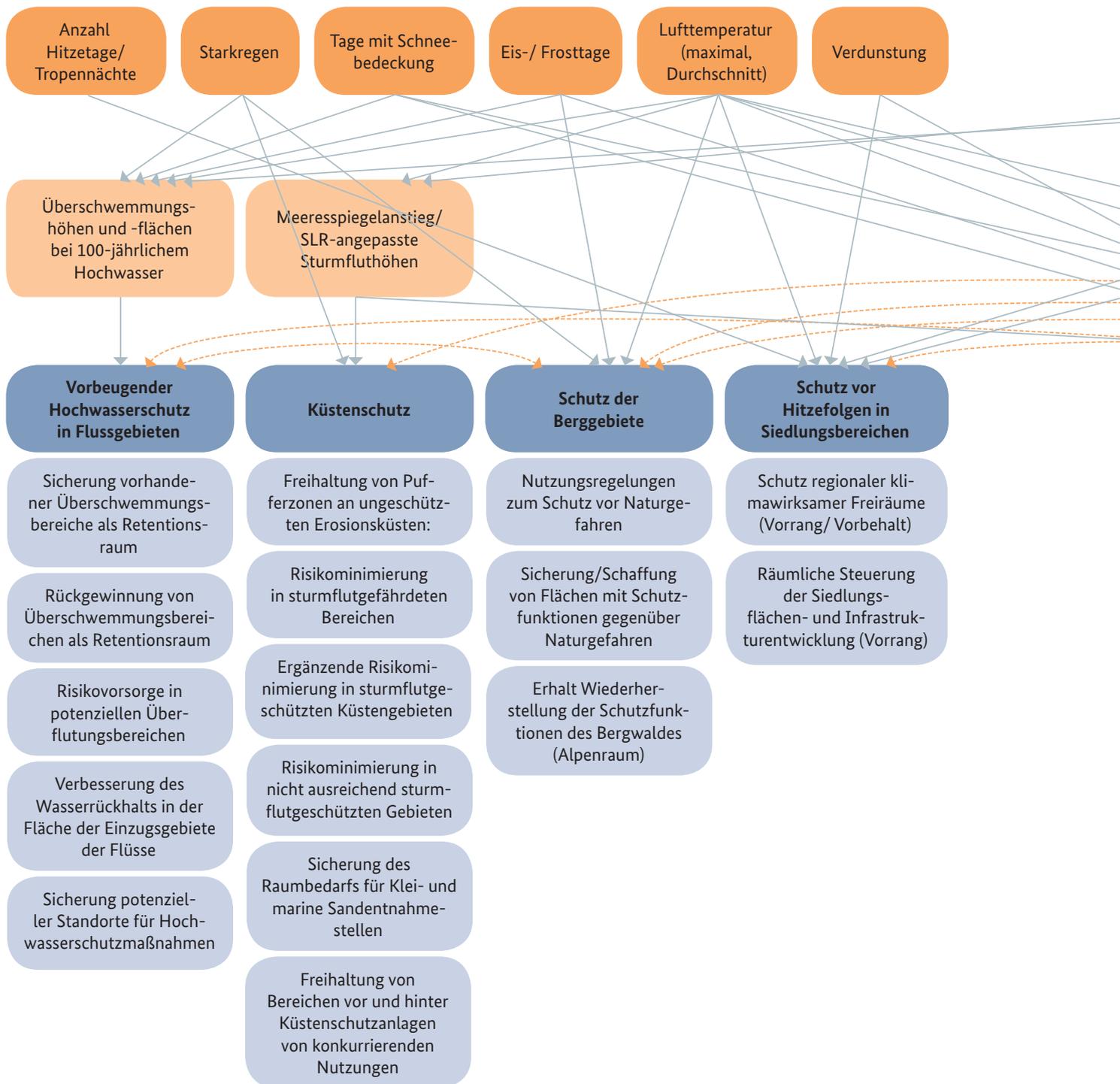
Die Raumbedeutsamkeit ist nur bedingt gegeben. Die wesentlichen Entwicklungen vollziehen sich hier privatwirtschaftlich. In Einzelfällen sind raumbedeutsame Flächennutzungskonkurrenzen zu bewältigen, etwa wenn aufgrund einer Veränderung im Tourismusverhalten öffentliche Infrastruktur auszubauen ist oder neue Tourismusinfrastrukturen im Rahmen einer Standortsicherung raumordnerisch vorbereitet werden. Dies wäre beispielsweise der Fall bei einer möglichen Zunahme des Massentourismus an der Nordseeküste aufgrund günstiger werdender Bedingungen für Badetourismus bei gleichzeitig abnehmender Attraktivität des Mittelmeerraums im Sommer.

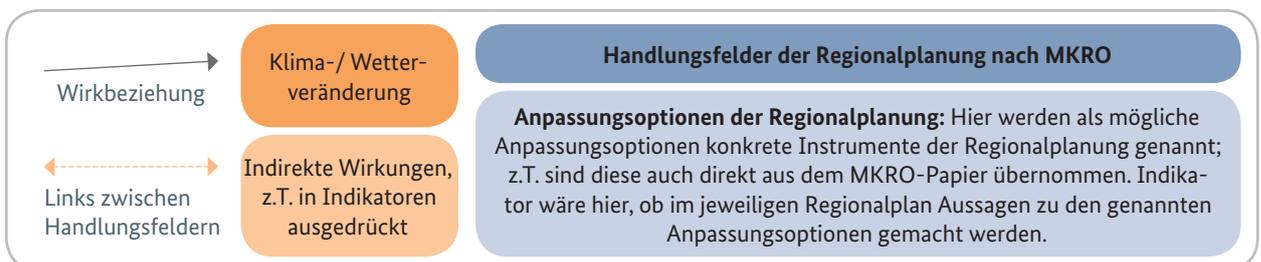
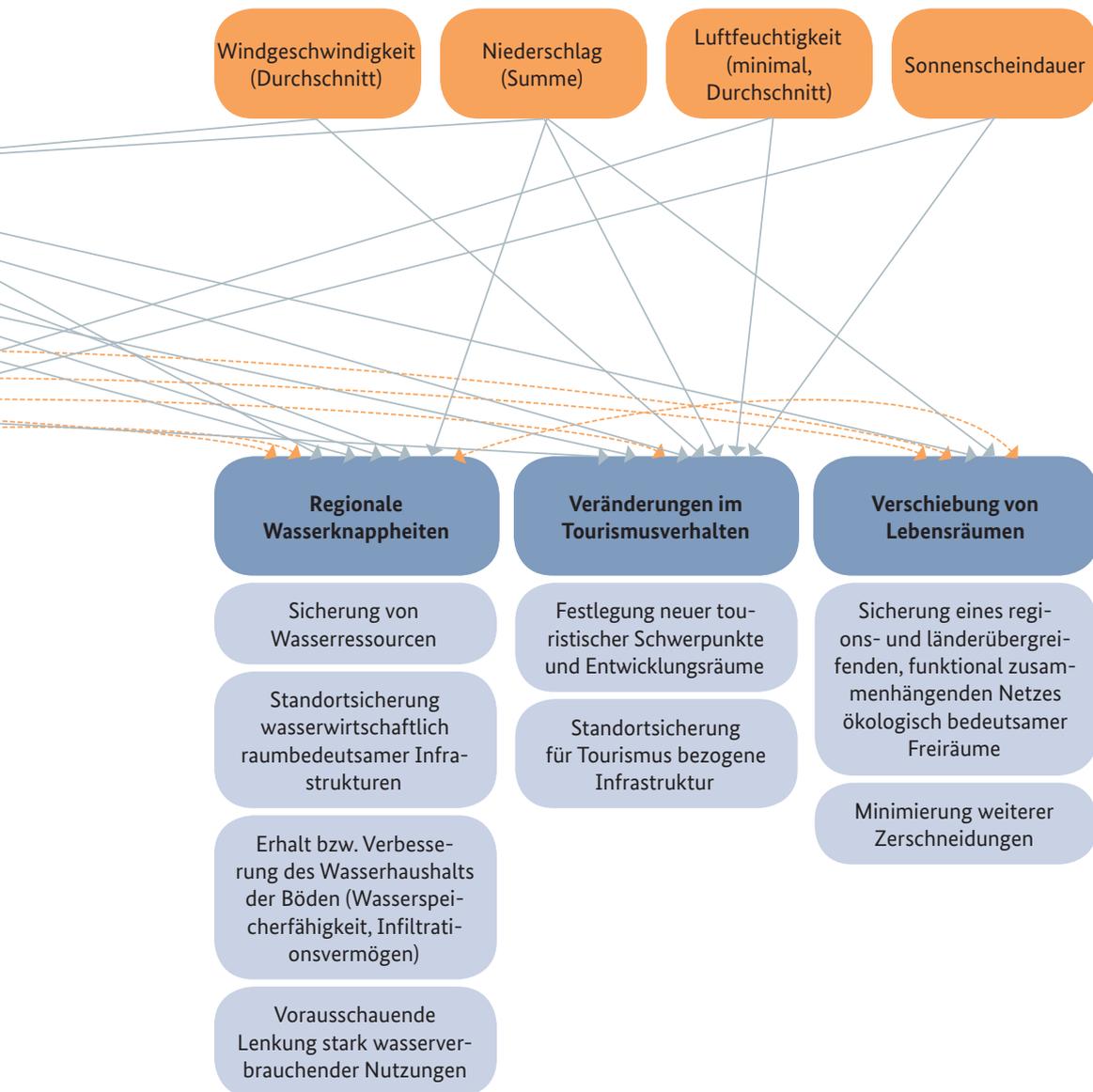
Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen:

Die Raumbedeutsamkeit ist flächendeckend gegeben. Wegen der durch die klimatischen Veränderungen ausgelösten Verschiebungen der Lebensräume wird die Sicherung eines funktional zusammenhängenden Biotopverbundsystems immer bedeutsamer. Zugleich führt die fortschreitende Flächeninanspruchnahme zu einer Fragmentierung von Lebensräumen. Die erforderliche Flächensicherung ist ebenso wie die Begrenzung der Siedlungsflächenentwicklung eine überörtliche und überfachliche Aufgabe.

Abb. 1: Klimasignale, MKRO-Handlungsfelder und Anpassungsoptionen der Regionalplanung

(eigene Darstellung auf Basis von MKRO 2013)





2.3 Welche Erfahrungen gibt es bisher?

Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (Bundesregierung 2008) definiert Bedarfe und Ziele für den nationalen Anpassungsprozess. Der Aktionsplan Anpassung (Bundesregierung 2011) konkretisiert die DAS für die Handlungsoptionen des Bundes und für Kooperationsprojekte mit den Bundesländern. Er lotet zudem Verknüpfungspotenziale mit anderen nationalen Strategieprozessen aus. Dies ist von besonderer Bedeutung, da unterschiedliche Fachressorts eigene Programme und Vorhaben auf den Weg gebracht haben, deren Ergebnisse und Erfahrungen für den nationalen Anpassungsprozess nutzbar gemacht und miteinander verschränkt werden müssen.

Aus der Perspektive der gesamträumlichen Planung eröffneten insbesondere die Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ die Möglichkeit, das notwendige Know-how im Bereich Klimaanpassung systematisch aufzubauen und Erfahrungen auszutauschen. Die acht Modellregionen starteten 2009 mit der Erarbeitung regionaler Klimaanpassungsstrategien. Mitte 2011 schlossen die Regionen die erste Phase des KlimaMORO ab. Schwerpunkte lagen auf dem vorsorgenden Hochwasserschutz, dem Küstenschutz und der thermischen Belastung von Siedlungsbereichen. Expertisen und Expertenworkshops begleiteten den Erarbeitungsprozess. Eine wichtige Voraussetzung, um Anpassungsstrategien in den Regionen erfolgreich zu verankern und Anpassungsmaßnahmen auf den Weg zu bringen, war und ist, die erforderlichen Grundlagendaten zu generieren. Hier stand insbesondere die Schnittstelle zwischen regionalen Klimamodellierungen und Anpassungsstrategien in der Raumplanung zur Diskussion (BMVBS 2010b: 31ff). Zudem stellt die angemessene Bewertung der räumlichen Auswirkungen des Klimawandels eine der zentralen Herausforderungen dar. Die BMVBS Online-Publikation 21 vom Oktober 2011 „Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis“ fasst die Ergebnisse dieser ersten Phase des KlimaMORO zusammen.

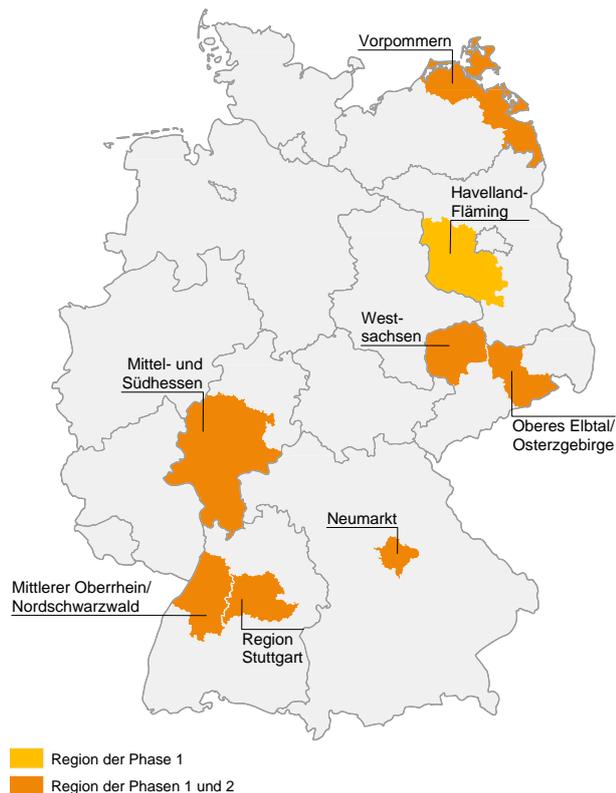


Abb. 2: KlimaMORO-Regionen der Phasen I und II (eigene Darstellung auf Grundlage von Geodaten des BBSR und der Regionen)

Tab. 1: KlimaMORO-Regionen der Phase I und ihre vertiefenden Projekte der Phase II (eigene Zusammenstellung)

Modellregionen der Phase I	Vertiefende Projekte der Phase II	Link zur Website
Vorpommern	Meeresspiegelanstieg und Konsequenzen für die Siedlungs- und Landnutzungsentwicklung des Küstensaums	www.rpv-vorpommern.de
Westsachsen	Wasserhaushaltsproblematik in Bergbaufolgelandschaften	www.rpv-west Sachsen.de
Oberes Elbtal/ Osterzgebirge	Weiterentwicklung der Hochwasservorsorge im Siedlungsbestand und planerischer Schutz des Oberbodens vor Wassererosion	www.rpv-elbtalosterz.de
Mittel- und Südhessen	Siedlungsklima in der Regionalplanung durch Ausweisung von Vorbehaltsgebieten für besondere Klimafunktionen	www.moro-klamis.de
Mittlerer Oberrhein/ Nordschwarzwald	Einbringen von Anpassungsstrategien zum Siedlungsklima in die kommunale Planung	www.region-karlsruhe.de
Region Stuttgart	Vorsorgender Hochwasserschutz, vorsorgender Grundwasserschutz und Wasserversorgung	www.region-stuttgart.org
Neumarkt	Zusammenführung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen durch planerische Festlegungen in Regionalplan und kommunalen Bauleitplänen	www.klimaanpassung-landkreis-neumarkt.de
Havelland-Fläming	-	www.havelland-flaeming.de

Im Kontext des KlimaMORO fand im Juni 2011 ein „Bilanzworkshop“ in Berlin statt. Die Forderung der Experten nach besseren und abgestimmten Grundlagen für die räumliche Planung wurde im Rahmen der vierten KlimaMORO-Konferenz im November 2011 in Berlin nachdrücklich bestätigt. Die Erfahrungen und Ergebnisse des KlimaMORO – Phase I wurden schließlich im Januar 2013 in der Schriftenreihe Forschungen des BMVBS, Heft 157 veröffentlicht. Die Frage, „wie kann Raumplanung zur Anpassung an den Klimawandel beitragen?“ wird hierbei in vielen Aspekten beleuchtet. Nicht zuletzt gaben diese Meilensteine den Ausschlag, das vorliegende Methodenhandbuch zur Klimafolgenbewertung zu erarbeiten. Das Methodenhandbuch ist ein Produkt der übergreifenden Expertise der zweiten Phase des KlimaMORO, in der bis Mitte 2013 in sieben Modellvorhaben spezifische Fragestellungen zur Klimaanpassung vertieft werden.

Die Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern der Länder und Regionen im Rahmen der Erarbeitung des Methodenhandbuchs gaben Aufschluss über den aktuellen Anwendungsrahmen von Klimafolgenanalysen in der Planungspraxis. Der Klimawandel und insbesondere die Anpassung an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels sind zwar bei den Akteuren der Landes- und Regionalplanung als wichtiges Themenfeld „angekommen“, allerdings fehlt bislang eine einheitliche Grundlage zur

systematischen Aufbereitung des Belangs Klimawandel als Grundlage für die räumliche Planung. Im Rahmen der zweiten Phase des KlimaMORO tragen insbesondere die Querschnittsworkshops dazu bei, das generierte Wissen zu bündeln, zu systematisieren und weiteren Forschungsbedarf aufzuzeigen.

Ein wesentlicher Grund hierfür liegt in den damit verbundenen methodischen Schwierigkeiten: Die Vielfalt an Forschungsergebnissen, Analysen und Modellvorhaben zeigt eine sehr große Bandbreite unterschiedlicher Ansätze der Klimafolgenbewertung. Viele der Befragten sehen gerade im methodischen Bereich die Herausforderung, den wissenschaftlichen Anspruch mit den Anforderungen und Bedarfen der Raumordnung in Einklang zu bringen. Die Erfahrungen in den Ländern und Regionen fußen vielfach auf akteurs-, problem- und maßnahmenorientierten Ansätzen, die bislang nur in Einzelfällen oder in Einzelsektoren auf einer systematisierten und GIS-basierten Analyse der Klimabetroffenheiten beruhen. Ergebnisse bzw. Erarbeitungsprozesse wurden dabei vor allem dann positiv bewertet, wenn ein klarer Bezug zum raumordnerischen Instrumentarium hergestellt werden konnte und die interdisziplinäre Zusammenarbeit zu einer integrierten Betrachtung unterschiedlicher sektoraler Politiken der Bewältigung von Klimafolgen führte.

Insbesondere hinsichtlich der Datengrundlagen wünschen sich die Befragten mehr Unterstützung für die Regionen: Mit Ausnahme beispielsweise des Hochwasserschutzes liegen aus Sicht vieler Befragter oftmals wenig belastbare bzw. nicht ausreichend räumlich differenzierte Informationen vor. Wesentliche Datengrundlagen wie auch Interpretationen liefern die Fachplanungen. Allerdings variieren Qualität und Detailschärfe der Daten zwischen den einzelnen Sektoren, den Bundesländern und den Regionen sehr stark. Viele Daten sind nicht im notwendigen Umfang aufbereitet oder werden derzeit erst generiert. Dies gilt insbesondere für die Bereiche, in denen eine eigene Fachplanung fehlt, beispielsweise beim Thema thermische Belastung in Stadtregionen. Auch in den Sektoren Tourismus, Energieversorgung, Infrastruktur, insgesamt Ver- und Entsorgung, oder auch Gesundheit wird der Mangel an verwendbaren Daten beklagt. Aufwändige Modellierungen, Datenerhebungen oder eine entsprechende Aufbereitung vorhandener Daten sind aufgrund finanzieller und personeller Engpässe der Planungsträger meist nicht möglich. Insofern müssen sich methodische Ansätze zur Klimafolgenanalyse in erster Linie auf verfügbare Daten fokussieren, um nicht der Argumentation Vorschub zu leisten, Anpassungsmaßnahmen erst nach aufwändiger und langwieriger Datengenerierung in Angriff nehmen zu können.

Die Befragungsergebnisse bestätigen, was Franck und Overbeck bezüglich einer methodischen Aufbereitung neuer Ansätze wie Vulnerabilität diagnostizieren: „Insgesamt sind diese neuen Konzepte derzeit von einer Operationalisierung noch weit entfernt. Ein Anzeichen hierfür mag sein, dass in aktuellen Konzepten zur Anpassung an den Klimawandel auf Ebene der Bundesländer diese Ansätze bislang kaum verbreitet sind bzw. überwiegend sektorale Strategien aufgeführt werden“ (Franck/Overbeck 2012: 90).

Bundes- und europaweit arbeiten Forschungsverbände an diesen Fragestellungen, die wichtige Erkenntnisse für regionale Anpassungsstrategien und Klimafolgenanalysen im Kontext der räumlichen Planung liefern. Im Forschungsverbund „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ etwa wird das Themenfeld Klimawandel in Regionen durch Forschungsprojekte abgedeckt, die in verschiedenen Modellregionen in ganz Deutschland durch-

geführt werden. Die Regionen bringen ganz unterschiedliche Voraussetzungen mit, so dass auf vielfältige Weise die Entwicklung und Erprobung geeigneter Anpassungsmaßnahmen getestet werden kann. Das von BMVBS und BBSR initiierte KlimaExWoSt-Projekt „Urbane Strategien zum Klimawandel“ setzt im Gegensatz dazu zwar direkt auf städtischer Ebene an, allerdings finden auch regionale Bezüge Berücksichtigung, schon weil die Modellvorhaben des Nachbarschaftsverbands Karlsruhe und der Städteregion Aachen die stadregionale Ebene abbilden, aber auch bei der thermischen Belastung von Städten, die nur im stadregionalen Kontext planerisch sinnvoll behandelt werden kann. Das „Netzwerk Vulnerabilität“ widmet sich auf Bundesebene der Aufgabe, die Vulnerabilität Deutschlands über alle Sektoren für ganz Deutschland gegenüber dem Klimawandel aufzuzeigen und einen Beitrag zur Umsetzung der „Deutschen Anpassungsstrategie“ (DAS) und des „Aktionsplans Anpassung“ (APA) zu leisten.

Auskunft über europaweite Aktivitäten gibt die Plattform CLIMATE-ADAPT (climate-adapt.eea.europa.eu). Neben CLIMATE-ADAPT bieten zahlreiche deutsche Portale einen direkten Zugriff zu Klimainformationen und Klimamonitoring. Auf der Website des DWD können aktuelle Wetterlagen sowie Fakten zu Klima und Umwelt abgefragt werden. Der Regionale Klimaatlas Deutschland informiert über den Forschungsstand zum möglichen künftigen Klimawandel auf Basis regionaler Klimaszenarien, die von verschiedenen Forschungseinrichtungen in Deutschland zusammengetragen und ausgewertet wurden. Das Climate Service Center (CSC) zielt darauf ab, Ergebnisse aus der Klimaforschung für die Praxis aufzubereiten und für verschiedenste Akteure in Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Diesem Auftrag folgt ebenso das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), das in einem Gemeinschaftsprojekt mit der WetterOnline Meteorologische Dienstleistungen GmbH ein Portal zu Klimafolgen auf den Weg gebracht hat. Der im Rahmen des KlimaExWoSt-Projekts entwickelte Stadtklimaalotse als eigenständig anwendbares aktorsbezogenes Beratungsinstrument bietet darüber hinaus die Möglichkeit, geeignete Klimaanpassungsmaßnahmen lokalspezifisch auszuwählen. Auch in den Ländern werden Portale zur Unterstützung der Anpassungsnetzwerke entwickelt.

Tab. 2: Forschungsverbünde und Portale zum Klimawandel (eigene Zusammenstellung)

Forschungsverbünde		
KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten		
dynaklim – Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region (Ruhrgebiet)		www.dynaklim.de
INKA BB – Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin		www.inka-bb.de
KLIMZUG-NORD – Strategische Anpassungsansätze zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg		http://klimzug-nord.de
KLIMZUG-Nordhessen – Klimaanpassungsnetzwerk für die Modellregion Nordhessen		www.klimzug-nordhessen.de
nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten		www.nordwest2050.de
RADOST – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste		http://klimzug-radost.de
REGKLAM – Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden		www.regklam.de
Forschungsprogramme des BBSR		
Urbane Strategien zum Klimawandel – KlimaExWoSt: Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel (Forschungsschwerpunkt I)		http://stadt-und-klimawandel.de/forschungsschwerpunkt_1
Urbane Strategien zum Klimawandel – KlimaExWoSt: Immobilien- und wohnungswirtschaftliche Strategien und Potenziale zum Klimawandel (Forschungsschwerpunkt II)		http://stadt-und-klimawandel.de/forschungsschwerpunkt_2
Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel – KlimaMORO, Phasen I und II		www.klimamoro.de
Klimazwei – Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen		www.klimazwei.de
KLIFF-IMPLAN – Implementierung von Ergebnissen aus KLIFF in der räumlichen PLANung in Niedersachsen		http://ibumap.uni-oldenburg.de/implan/
KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen		www.kliwas.de
„Netzwerk Vulnerabilität“ – ein Netzwerk von Bundesoberbehörden, das zur Umsetzung der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ sowie des „Aktionsplans Anpassung“ beiträgt		http://netzwerk-vulnerabilitaet.de
Portale – Klimainformationssysteme/Klimamonitoring in Deutschland und Europa		
Deutscher Wetterdienst (DWD)		
Deutsches Klimaportal		www.deutschesklimaportal.de
Deutscher Klimaatlas		www.dwd.de/klimaatlas
WEBWERDIS		noch nicht frei zugänglich
Regionaler Klimaatlas Deutschland (Helmholtz-Gemeinschaft)		www.regionaler-klimaatlas.de
Climate Service Center (Helmholtz-Gemeinschaft)		www.climate-service-center.de
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.; WetterOnline Meteorologische Dienstleistungen GmbH		www.klimafolgenonline.com
Stadtklimalotse (Arbeitsplattform des Forschungsfeldes StadtKlima ExWoSt)		www.stadtklimalotse.net
ReKIS – Regionales Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen		www.rekis.org
kwis-rlp – Klimawandelinformationssystem Rheinland-Pfalz		www.kwis-rlp.de
KlimLandRP – Forschungsprojekt Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz		www.klimlandrp.de
Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen		www.klimawandel-rlp.de
CLIMATE-ADAPT – European Climate Adaptation Platform		www.climate-adapt.eea.europa.eu
weADAPT – Collaborating on Climate Adaption (online open space wiki)		http://weadapt.org/
Plattform Klimawandel und Raumentwicklung (Akademie für Raumforschung und Landesplanung)		www.klima-und-raum.org
Portal des BBSR zum Thema Klimaanpassung		www.klimastadtraum.de

Informationsangebote und Beratungsdienste des Deutschen Wetterdienstes

Eine klimaangepasste Raumplanung benötigt detaillierte Informationen über das aktuelle und das zukünftig zu erwartende Klima. Die Messung, Modellierung und Bereitstellung dieser Daten ist eine Kernaufgabe des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Die Klimadienste umfassen verschiedenste Themenbereiche, von denen einige auch für die Raumplanung relevant sind: Von der Bereitstellung von Klimainformationen im Internet über die Abgabe von Rasterdaten und Karten verschiedenster klimatologischer Größen bis zu Simulationen mit Wirkmodellen im Hinblick auf spezielle Fragestellungen (Kaltluftabflüsse, Stadtklima) und der Erstellung umfangreicher Gutachten.

Abb. 3: Themenbereiche der Klimageservice Leistungen des DWD (Website DWD)



Im Folgenden sollen die wichtigsten Klimadienste dargestellt werden. Eine wirklich umfassende Auflistung ist hier nicht möglich. Sollte, das was Sie suchen, nicht dabei sein, empfiehlt sich daher auf alle Fälle eine Nachfrage beim DWD.

1. Bereitstellung von Klimaüberwachungsprodukten im Internet

Im Climate Data Center des DWD (www.dwd.de/cdc) werden die Klimadaten bereitgestellt, die vom DWD generiert, gesammelt und archiviert werden. Einige der Datensammlungen stehen online frei zur Verfügung. Dazu gehören verschiedenste Klimadaten – z.B. vieljährige Mittelwerte des Niederschlags, der Temperatur, der Sonnenscheindauer oder der Anzahl heißer Tage – für 78 Messstationen aber auch für ganze Bundesländer.

Im Deutschen KlimaAtlas (www.deutscher-klimaAtlas.de) findet man u.a. Informationen – vor allem Karten – zum Klimawandel in Deutschland (s. Abb. 4). Hier können z.B. Abweichungen einzelner Jahre (einzelne Monate, Jahreszeiten oder das ganze Jahr) von der Klimareferenzperiode dargestellt werden, aber vor allem auch der bis zum Ende dieses Jahrhunderts zu erwartende Klimawandel, wobei verschiedene Emissionsszenarien zur Verfügung stehen und die

Ergebnisse auf ein Ensemble von bis zu 21 regionalen Klimamodellen basieren. Die Variationsbreite bzw. die Trendsicherheit wird mit Hilfe von Perzentilen veranschaulicht.

2. Klimakarten und Rasterdaten

Der DWD erstellt Rasterdatensätze und Karten für über 50 Klimaparameter von der mittleren Temperatur über die Niederschlagshöhe, die Wasserbilanz oder die Tage mit Neuschnee bis hin zum Bioklima (s. Abb. 5). Die horizontale Auflösung liegt in der Regel bei ca. 1 km. Karten der Windgeschwindigkeit und etlicher anderer Größen sind frei im Internet zugänglich.

Im Hinblick auf den Klimaschutz und die Nutzung regenerativer Energien sind dabei vor allem die Karten zur Windenergienutzung (www.dwd.de/windkarten) und die Karten der Globalstrahlung (www.dwd.de/globalstrahlung) von Interesse. Rasterdaten, z.B. zur Nutzung im eigenen GIS können – zum Teil auch in höherer Auflösung – bestellt werden.

3. Analyse und Kartierung sowie Downscaling eines umfangreichen Ensembles regionaler Klimaprojektionen

Zur Einschätzung zukünftig zu erwartender Klimaprojektionen müssen die räumlich sehr groben Ergebnisse der globalen Klimamodelle mit Hilfe regionaler Klimamodelle auf die regionale Skala heruntergerechnet („Downscaling“), d.h. regionalisiert werden (s. Abb. 6). Im Projekt KLIWAS wurden Methoden erarbeitet, mit denen eine Korrektur systematischer Fehler in den Klimamodellen („Biaskorrektur“) und ein weiteres Downscaling auf eine Gitterweite von ca. 5 km möglich sind (www.kliwas.de).

Da Klimasimulationen immer mit Unsicherheiten behaftet sind, ist es unabdingbar, ein Ensemble von Klimasimulationen zu betrachten, um so die Variationsbreite der regionalen Projektionen bzw. die Trendsicherheit abschätzen zu können. Auf den Deutschen KlimaAtlas wurde bereits in Abschnitt 1 hingewiesen. Hier erfolgt die Betrachtung deutschlandweit. Darüber hinaus werden vom DWD aber auch einzelne Bundesländer analysiert. Auch eine detailliertere Auswertung für einzelne Regionen oder z.B. Flusseinzugsgebiete ist – begrenzt durch die räumliche Auflösung der regionalen Klimamodelle – möglich.

4. Simulationen mit Wirkmodellen

Beim DWD stehen unterschiedlichste sogenannte Wirkmodelle zur Verfügung mit deren Hilfe klimatische Fragestellungen aus den Bereichen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Bodenschutz, Medizin-Meteorologie sowie Stadt- und Raumplanung beantwortet werden können. Zum Beispiel werden mit Hilfe des Klima-Michel-Modells die Gefühlte Temperatur und daraus die jährliche Anzahl der Tage mit

Abb. 4: Der Deutsche Klimaatlas gibt einen Überblick über die zu erwartenden Klimaänderungen in Deutschland (Website DWD)

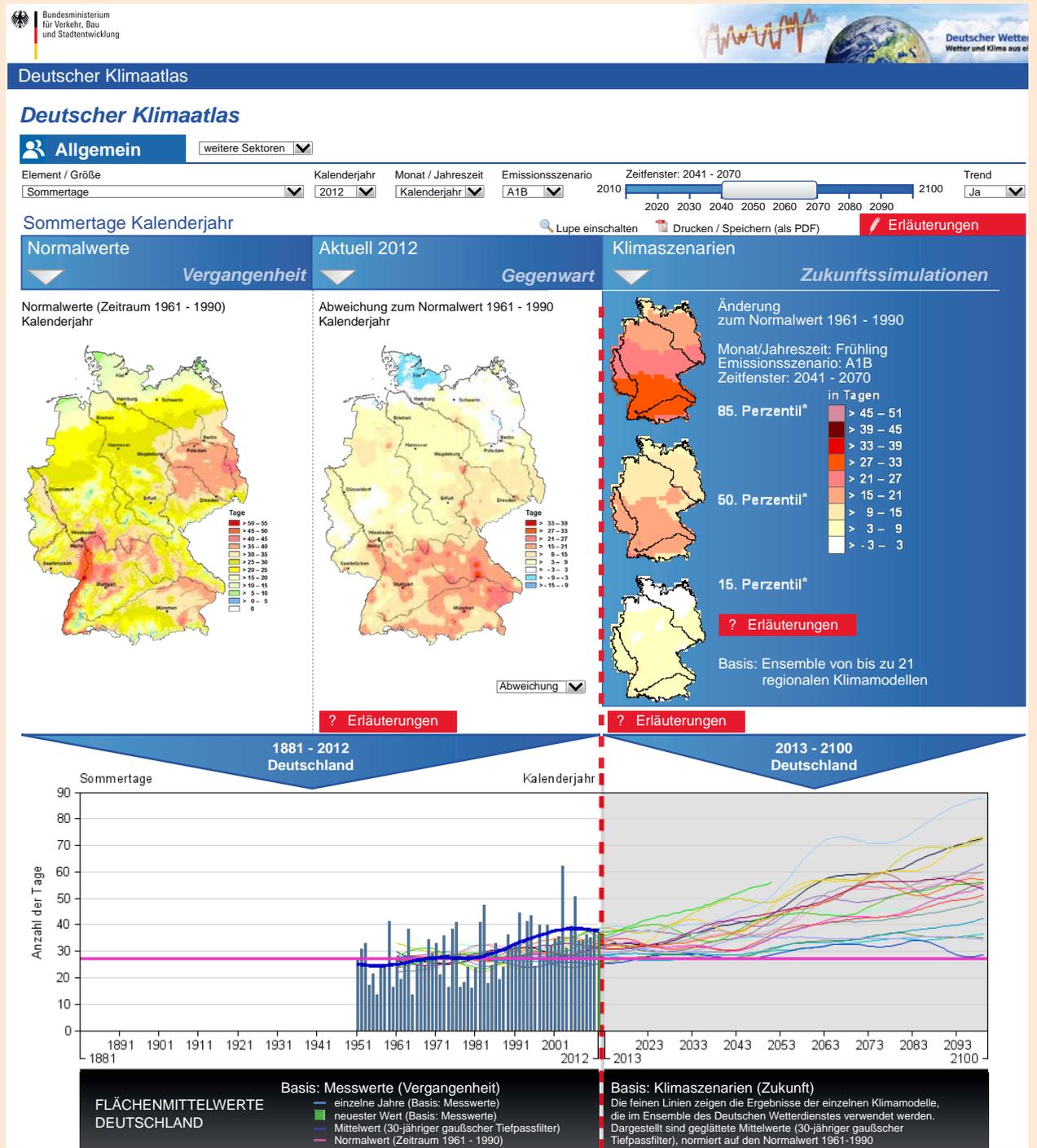
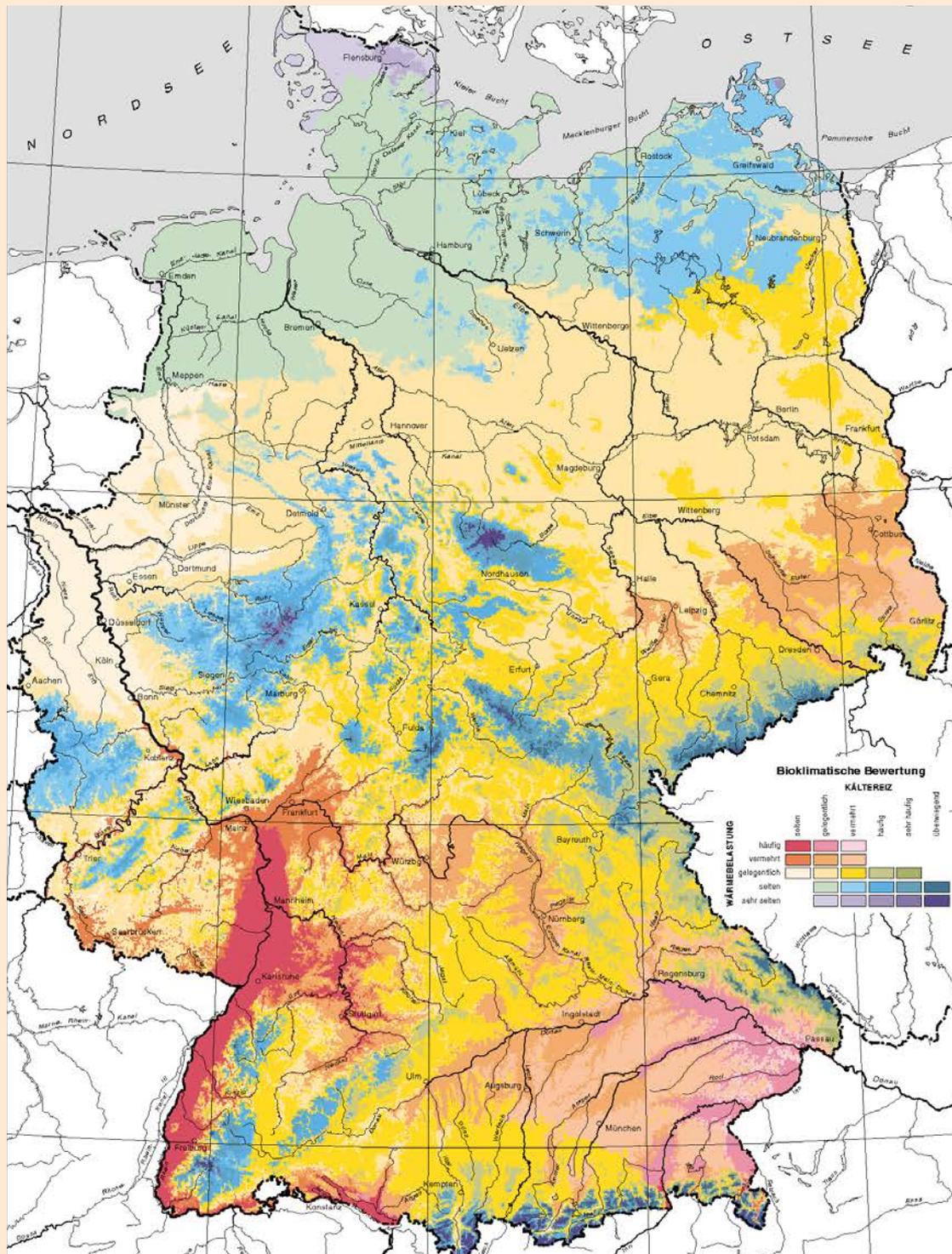


Abb. 5: Eine der vielen verfügbaren Klimakarten ist die Bioklimakarte von Deutschland. Sie gibt eine bioklimatische Bewertung hinsichtlich der Häufigkeit von Wärmebelastung und Kältereizen wieder (Zeitraum 1971-2000; DWD; Kartographie: Institut für angewandte Geowissenschaften, Offenbach)



Wärmebelastung oder Kältereizen für den Menschen berechnet. Eine hohe Wärmebelastung hat negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bevölkerung.

Im Hinblick auf die Stadt- und Regionalplanung kommen außerdem Modelle wie das dreidimensionale mikroskalige urbane Klimamodell MUKLIMO_3 oder das zweidimensionale Kaltluftabflussmodell KLAM_21 zum Einsatz. Dies gilt auch für Klimaeignungskarten, bei denen auf Grundlage der Durchlüftung einer Stadt selbst und der Wirkung der verschiedenen Flächen für die Durchlüftung eine „Freiflächensicherungskarte“ erstellt wird.

MUKLIMO_3 gibt es als sogenannte „Strömungsversion“, bei der nur das Windfeld (z.B. in einer Stadt) berechnet wird, und als „Thermodynamikversion“, mit der die Tagesgänge der Lufttemperatur, der Feuchte und des Windfeldes in einer Stadt unter Vorgabe der regionalen Klimasituation der Umgebung bestimmt werden. Man kann damit z.B. feststellen, welche Bereiche der Stadt sich an sommerlichen, wind-schwachen Tagen mit hoher Einstrahlung besonders stark erwärmen. Mit Hilfe der beim DWD entwickelten Quadermethode lassen sich auch Aussagen über das zukünftige Klima einschließlich des Stadteffekts ableiten (Abb. 6). Für Fallstudien kann aus den MUKLIMO_3-Ergebnissen mit dem Klima-Michel-Modell auch die räumlich hoch aufgelöste Verteilung der Gefühlten Temperatur in der Stadt bestimmt werden.

Weitere Informationen zu den Wirkmodellen findet man unter www.dwd.de/klimaforschung.

5. Beratung und Erstellung von Gutachten zu raumplanerischen Fragestellungen

Der DWD berät und erstellt Gutachten auch zu ganz speziellen Fragestellungen in räumlich eingegrenzten Bereichen. Dazu zählen allgemeine Stadtklimagutachten, Planungsgutachten oder Klimagutachten im Rahmen von Umweltverträglichkeitsstudien. Durch Auswertung von Messdaten aus dem operationellen Messnetz, Durchführung spezieller temporärer Messungen und die Nutzung von Klima- und Wirkmodellen kann ganz individuell und bei Bedarf sehr umfangreich auf verschiedene Fragestellungen eingegangen werden.

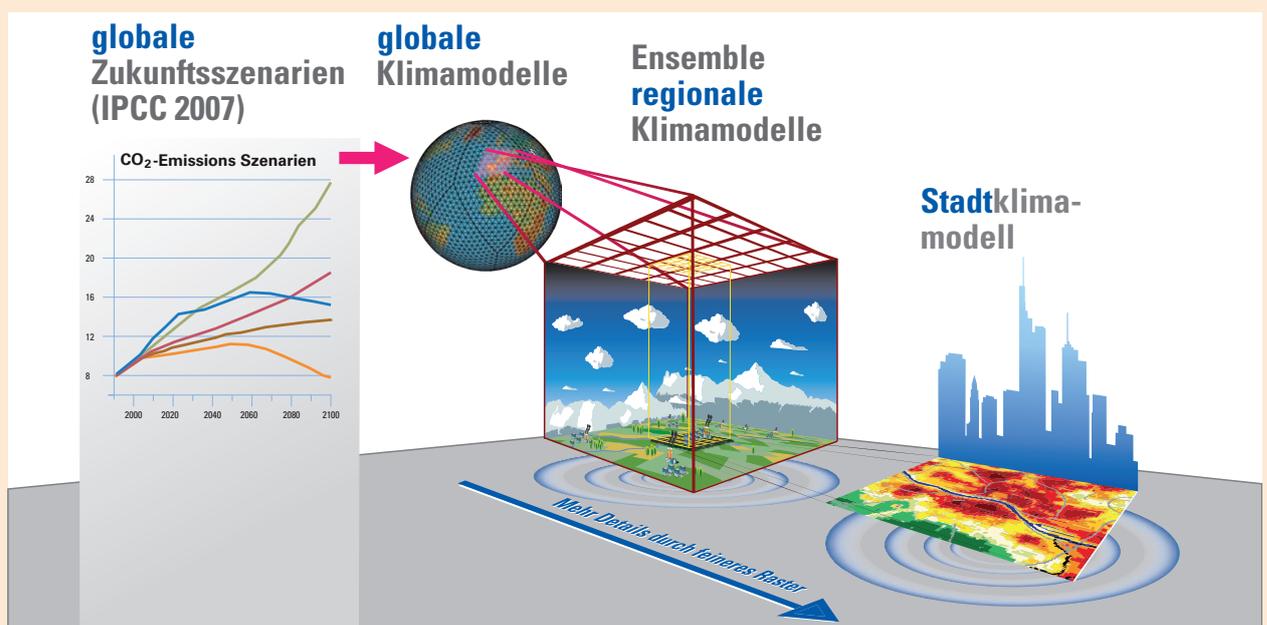
Kontakt

Deutscher Wetterdienst, Klima- und Umweltberatung
Frankfurter Straße 135, D-63067 Offenbach am Main
Tel.: +49 (69) 8062 – 2912, E-mail: klima@dwd.de

Links

www.dwd.de/klima
www.dwd.de/cdc
www.dwd.de/klimawandel
www.deutscher-klima-atlas.de
www.dwd.de/hydrometeorologie

Abb. 6: Das Downscaling von der globalen Skala auf die regionale bis zum Stadtklima mit Hilfe des Wirkmodells MUKLIMO_3 (DWD)



2.4 Wo liegen die Grenzen? Wo bleiben offene Fragen?

2.4.1 Unsicherheit in den Klimaprojektionen

Bereits für die Grundannahmen zum Klimawandel, die sich in regionalen Klimamodellen abbilden, unterscheiden Stock und Walkenhorst (2012) vier Quellen für Unsicherheiten:

- „die Unsicherheit der zukünftigen Treibhausgasemissionen, oder allgemeiner, der zukünftigen Entwicklung der das Klima bestimmenden natürlichen und anthropogenen Größen (darunter auch regionale Einflussgrößen wie z.B. die Art der Landnutzung und Aerosolemissionen)
- die Unsicherheit durch Ungenauigkeiten in den globalen Klimamodellen, deren Ergebnisse als Randbedingungen bzw. Eingangsgrößen regionaler Klimamodelle dienen
- die Unsicherheit durch Ungenauigkeiten in den regionalen Klimamodellen
- die sogenannte Sampling-Unsicherheit, die dadurch entsteht, dass das modellierte Klima immer aus einer begrenzten Anzahl von Modelljahren geschätzt werden muss“ (Stock/Walkenhorst 2012: 12).

Hinzu kommt, dass die Wirkungen von sich wandelnden Klimaparametern auf Ökosysteme, Gesellschaften, einzelne Raumnutzungen und den Menschen sehr komplex sind

(Birkmann et al. 2013). Schließlich sind auch die sozioökonomischen Entwicklungen wie etwa der demographische Wandel und die Siedlungsflächenentwicklung, die maßgeblich auf die Sensitivität gegenüber Klimasignalen wirken, mit großer Unsicherheit verbunden.

Auf Seiten der Modellierung des Klimawandels ist mittlerweile die Verwendung sogenannter Ensemble-Berechnungen Stand der Technik. Mit ihrer Hilfe kann die Spanne der möglichen Entwicklungen, die sich aus verschiedenen Szenarien und Modellen ergeben, beziffert werden. Je größer das Ensemble von Modellprojektionen ist (Multi-Model-Ensembles), umso besser können Unsicherheiten und Unterschiede der Modellergebnisse bewertet werden. Allerdings führt dies – im Vergleich zur Verwendung eines einzelnen Modells – im Ergebnis zu deutlich größeren Spannen in der Aussage über die zukünftige Veränderung der Klimaparameter und damit zu einer anderen Form der Unsicherheit, die im politischen Raum schwierig kommunizierbar ist.

So treffen sowohl die Klimasignalkarten des Climate Service Centers (www.climate-service-center.de) als auch der Regionale Klimaatlas Deutschland der Helmholtz-Gemeinschaft (www.regionaler-klimaatlas.de) nur für diejenigen Teilräume Deutschlands überhaupt Aussagen, die Robustheitstests bestanden haben. Demgegenüber drückt der Deutsche Wetterdienst die Unsicherheiten in den Klimamodellen für drei Perzentilkarten aus, die die Bandbreite der Klimamodelle flächendeckend abbilden (www.dwd.de/klimaatlas).

Abb. 7: Schematische Darstellung möglicher alternativer Projektionen von Klima und Klimafolgen und der Beiträge verschiedener Unsicherheiten bei Multimodellrechnungen (Birkmann et al. 2013: 13; Grafik erstellt von M. Stock in Anlehnung an Viner 2002)

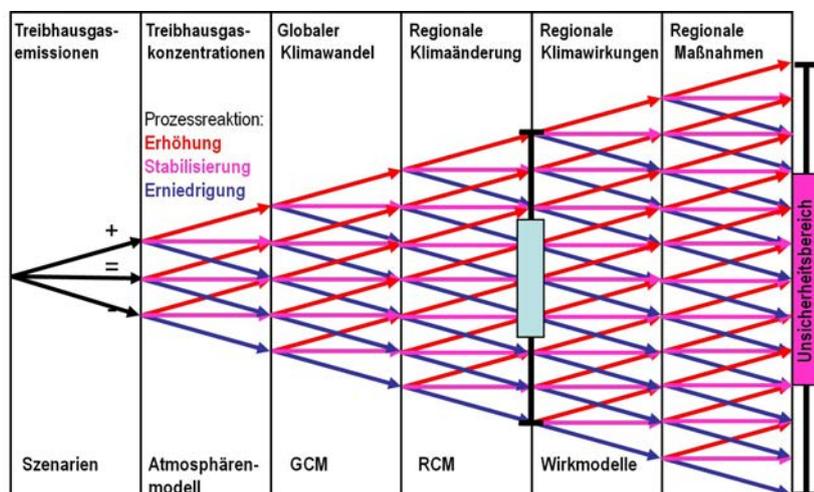
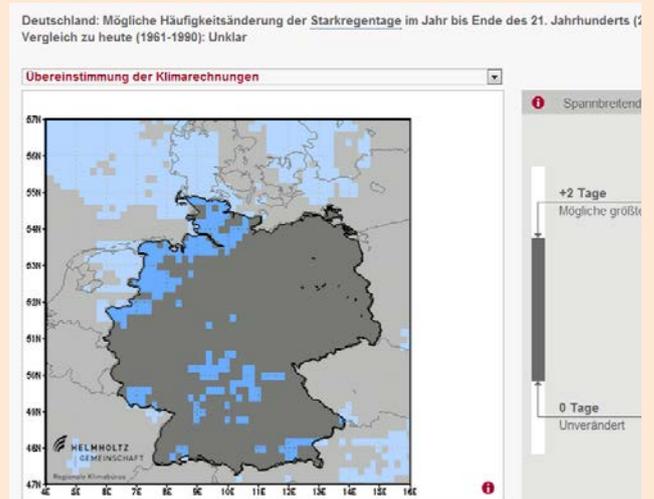


Abb. 8: **Regionaler Klimaatlas Deutschland:** Der von der Helmholtz-Gemeinschaft entwickelte Regionale Klimaatlas Deutschland (www.regionaler-klimaatlas.de) basiert auf elf regionalen Klimamodellen. Die Veränderungen einzelner Klimaparameter sind in Kartenform und zusätzlich in Diagrammen dargestellt, die die Spanne zwischen kleinster und größter Klimaänderung ausweisen. Die Nutzbarkeit für die Klimafolgenbewertung wird allerdings dadurch eingeschränkt, dass nur dann, wenn die verschiedenen Klimaprojektionen Trends in gleicher Richtung zeigen, eine bewertete Kartendarstellung für eine Region erfolgt. Dies ist regelmäßig auf Temperatur-, nicht aber für Niederschlagsveränderungen der Fall. Die übrigen Flächen bleiben dann grau. Zudem lassen sich angegebene Spannweitiendiagramme nicht direkt für eine Bewertung nutzen.

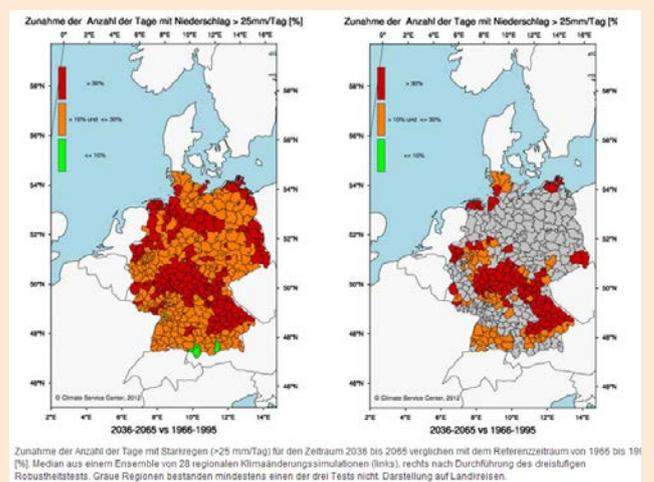


In der Region Deutschland überwiegen die Gebiete, in denen nicht alle Klimarechnungen bezüglich der Änderung der Starkregentage übereinstimmen (dunkelgrau).

Übereinstimmung der Klimarechnungen:

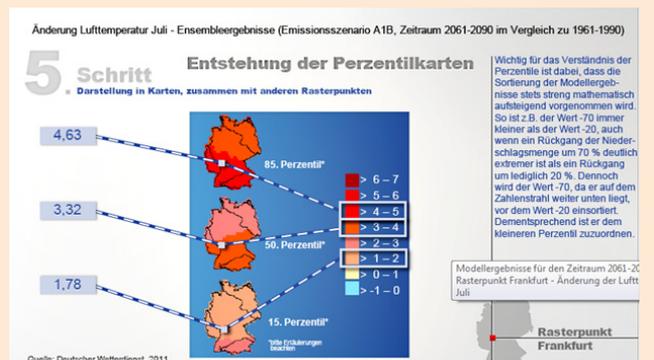
- Alle Klimarechnungen zeigen hier eine Zunahme = 17 % der Region Deutschland
- Alle Klimarechnungen zeigen hier eine Abnahme = 0 % der Region Deutschland
- Alle Klimarechnungen zeigen hier keine Änderung = 0 % der Region Deutschland
- Klimarechnungen stimmen hier nicht überein = 83 % der Region Deutschland

Abb. 9: **Klimasignalkarten (Climate Service Center):** Den Signalkarten liegen regionale Klimaänderungssimulationen auf Basis von Ensembles (EU-ENSEMBLES-Projekt) zugrunde. Nur für Regionen, die einen dreistufigen Robustheitstest bestanden haben, werden Klimaänderungen dargestellt. Neben der Übereinstimmung der Richtung der Klimaänderungen analog dem Regionalen Klimaatlas werden weitere statistische Tests herangezogen. Somit kann für viele Regionen kein eindeutiges Signal abgeleitet werden. Mit den Signalkarten können so Regionen unterschieden werden, bei denen mehr oder weniger verlässliche Datengrundlagen für die Bewertung vorliegen (www.climate-service-center.de).



Zunahme der Anzahl der Tage mit Starkregen (>25 mm/Tag) für den Zeitraum 2036 bis 2065 verglichen mit dem Referenzzeitraum von 1966 bis 1995 [%]. Median aus einem Ensemble von 23 regionalen Klimaänderungssimulationen (links), rechts nach Durchführung des dreistufigen Robustheitstests. Graue Regionen bestanden mindestens einen der drei Tests nicht. Darstellung auf Landraster.

Abb. 10: **Deutscher Klimaatlas (DWD):** Auch hier beruht die Bewertung auf den gleichen Grundlagen wie die Klimasignalkarten (EU-ENSEMBLES-Projekt, www.deutscher-klimaatlas.de). Hier werden die Klimaänderungen für das Szenario A1B flächendeckend für ganz Deutschland dargestellt. Die für eine Flächenauflösung von einem 25 km-Raster berechneten Ergebnisse zeigen die Veränderung des Klimaparameters zwischen den dargestellten Zeitschnitten. Die Unsicherheit aus den unterschiedlichen Klimamodellen wird als Spannbreite mit Hilfe von Perzentilkarten ausgedrückt. Zwischen dem 15. Perzentil und dem 85. Perzentil liegen 70% aller Modellergebnisse, die 15% niedrigsten und die 15% höchsten Werte sind als Extreme nicht dargestellt. Für einen konkreten Standort des 25 km-Rasters, z.B. Stuttgart, ergeben sich so immer drei unterschiedliche Werte, die den relevanten Teil der Spannbreite möglicher Änderungen wiedergeben.



Quelle: Deutscher Wetterdienst, 2011

2.4.2 Belastbarkeit der Ergebnisse (Rechtssicherheit für die formalen Instrumente)

Der Umgang mit dem Klimawandel erfordert Entscheidungen unter Ungewissheit

Entscheidungen unter Unsicherheit sind grundsätzlich nichts Neues für die Regionalplanung. So muss sich die Regionalplanung etwa bei der Steuerung der Siedlungsflächenentwicklung u.a. an den kommunalen Bedarfen für Siedlungsflächen, deren Berechnung ebenfalls mit großen Unsicherheiten verbunden ist, orientieren, und auf Bevölkerungsprognosen zurückgreifen, die nur Entwicklungskorridore angeben können. Gleichwohl muss man sich genau anschauen, um welche Form der Unsicherheit es sich im Einzelfall handelt. Die Entscheidungstheorie differenziert bei Entscheidungen wie folgt (Laux 2007):

Entscheidungen unter Sicherheit: Die eintretende Situation ist bekannt bzw. lässt sich präzise vorhersagen (deterministisches Entscheidungsmodell, das in der Regel bei konditional-programmiertem Verwaltungshandeln eingesetzt wird).

Entscheidungen unter Unsicherheit: Es ist nicht mit Sicherheit bekannt, welche Umweltsituation eintritt, wobei sich der Grad der Unsicherheit deutlich unterscheidet:

- **Entscheidungen unter Risiko:** Die Wahrscheinlichkeit für die begrenzte Anzahl möglicherweise eintretender Umweltsituationen und deren Folgen ist bekannt. Die Unsicherheit, die dabei auf unvollständiges Wissen zurückgeht, wird über die Untersuchung der Systeme reduziert. Die natürliche Variabilität der Umwelt kann dabei zwar nicht reduziert, aber quantifiziert werden. Dies entspricht dem üblichen Vorgehen im Hochwasserrisikomanagement, z.B. bei der Festlegung eines auf HQ 100 basierenden Überschwemmungsgebiets.
- **Entscheidungen unter Ungewissheit:** Man kennt zwar die möglicherweise eintretenden Umweltsituationen, allerdings nicht deren Eintrittswahrscheinlichkeiten und genaue Konsequenzen. Beim Klimawandel sind zwar die Prozesszusammenhänge weitgehend bekannt,

die Wahrscheinlichkeit des Eintretens bestimmter räumlich konkreter Klimafolgen ist jedoch nicht bestimmbar. Dies wird sich aufgrund der Ungewissheit über die sozioökonomischen Entwicklungen (= Input der Klimamodelle) prinzipiell auch zukünftig nicht lösen lassen. Mögliche zukünftige Entwicklungen, die in Klimafolgenanalysen untersucht werden, lassen sich faktisch nur in Form von Szenarien aufzeigen (so auch Birkmann et al. 2012: 16f).

- **Wahre Unbestimmtheit:** Es besteht keine Grundlage zur Beschreibung von Entwicklungsmöglichkeiten (z.B. bei den möglichen Folgen gänzlich neuer Technologien). Diese Entscheidungssituation spielt hier im Weiteren keine Rolle.



Planungsrechtliche Bewertung von Entscheidungen unter Ungewissheit

Häufig wird argumentiert, es fehle den verfügbaren Klimaprojektionen an der erforderlichen Verlässlichkeit und räumlichen Auflösung, um räumlich bestimmbare und letztabgewogene Ziele festlegen zu können, da die Kenntnis um die voraussichtlichen Folgen grundsätzlich Voraussetzung für das staatliche Handeln sei (Mitschang 2011: 31; Janssen 2012: 106). Die Frage der Belastbarkeit der Ergebnisse von Klimafolgenanalysen bedarf daher vertiefter Überlegungen, die auf die Diskussion über Entscheidungen unter Unsicherheit aufsetzen. Diese sind – wie oben ausgeführt – im Wesentlichen in Entscheidungen unter Risiko und unter Ungewissheit zu differenzieren.

Entscheidungen unter Risiko bzw. Risikoanalysen sind grundsätzlich in das Konzept der planerischen Entscheidung einzuordnen und dabei konkret in der Abwägungsentscheidung zu berücksichtigen (Greiving 2002: 74).

Dem ist nach Faßbender (2012: 86) zu folgen, weil dieser Vorschlag den Unzulänglichkeiten des formalisierten konditional-programmierten Entscheidungsprogramms Rechnung trägt, bei dem üblicherweise aus einer genau bestimmbaren Tatbestandsvoraussetzung eine zwingende Rechtsfolge erwächst. Diese Unzulänglichkeiten resultieren vor allem aus der analytischen Unsicherheit bei der Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten (Greiving 2002: 42ff). Deshalb kommt der Verwaltung bei der Ausfüllung der Vorgaben des Gesetzgebers ein Abwägungsspielraum nach dem Modell der planerischen Abwägung zu (Scherzberg, in: VerwArch. 1993: 484 (497ff. zitiert nach Faßbender 2012: 87).

Dies bedeutet faktisch, dass ein Spielraum sowohl bei der Auswahl einer Analysemethode als auch bei der Bewertung deren Ergebnisse für formelle Verfahren besteht.

Das Gewicht des Belangs (z.B. Hochwasserschutz) ergibt sich bei einer Risikoanalyse aus der Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenz bestimmter Ereignisse. Der Abwägungsspielraum besteht dann darin, ob ein bestimmtes Risiko in Kauf genommen werden

soll, weil andere Belange vorgezogen werden, oder eben nicht akzeptiert wird.

Dabei ist in der planerischen Begründung im Einzelnen transparent darzulegen, welche fachlichen Daten und Prognosen aus welchen Gründen herangezogen wurden.

Bei diesem Schritt darf sich die Regionalplanung nicht mit einer schematischen und abstrakten Beurteilung begnügen. Die Einschätzungen und Prognosen müssen vielmehr unter Heranziehung des jeweils gebotenen empirischen Materials plausibel sein. Dafür muss die methodische Herangehensweise der betreffenden Klimafolgenbewertung erläutert werden, und der Regionalplanungsträger muss sich diese zu Eigen machen (Faßbender 2012: 93). Der Konsistenz der methodischen Herangehensweise kommt dabei große Bedeutung für die Rechtssicherheit der planerischen Abwägung bei, die sich auf diese Methodik stützt.

Diese – im Kontext von Entscheidungen unter Risiko formulierten – Anforderungen an die Methodik sind auf Entscheidungen unter Ungewissheit bzw. Klimafolgenanalysen ebenso anzuwenden.

Die bis hierhin skizzierte Vorgehensweise, die Ergebnisse einer Analyse über die planerische Abwägung als Begründung für letztabgewogene Ziele heranzuziehen, stößt bei Klimafolgenanalysen jedoch an ihre Grenzen.

Entscheidungen über Anpassung an den Klimawandel sind nicht – wie beim Risikomanagement – Entscheidungen unter Risiko, sondern unter Ungewissheit, weil sich Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenz von in der Zukunft möglicherweise auftretenden Klimafolgen nicht mit hinreichender räumlicher Bestimmtheit ermitteln lassen, sondern nur szenarienhaft mögliche Entwicklungspfade beschrieben werden können. Konkret sieht sich die Regionalplanung dem Dilemma gegenüber, dass mit fortschreitender Entwicklung der Klimamodellierung (ENSEMBLES-Modelle) immer größere Schwierigkeiten auftreten, die klimatischen Veränderungen im Sinne eines Möglichkeitsraums einzugrenzen, weil die Ergebnisse gerade bei den Parametern Niederschlag und Extremereignisse so widersprüchlich sind, dass nicht einmal ein Trend ablesbar ist (s. Kap. 2.4.1)

Neben der Ungewissheit zukünftiger klimatischer Bedingungen vergrößert das Erfordernis, auch die Sensitivität der einzelnen Raumfunktionen und Raumnutzungen und damit sozioökonomische Entwicklungen räumlich konkret in die Zukunft zu projizieren (s. Kap. 3.1), um die Konsistenz des methodischen Vorgehens zu gewährleisten, die Ungewissheit. Endabgewogene Ziele der Raumordnung bedürfen jedoch belastbarer Grundlagen. Die Ungewissheiten, die sich mit Klimaprojektionen verbinden, können „dem folgeorientierten Recht erhebliche Schwierigkeiten bereiten, denn es besteht das Risiko, dass sich Annahmen, durch die staatliches Handeln gerechtfertigt werden soll, nicht einstellen“ (Janssen 2012: 106).

Im Kern nicht auf Prognosen, sondern auf – sich zudem teilweise widersprechenden – Szenarien aufsetzende Klimafolgenanalysen sind deshalb nicht ausreichend, um auf ihrer Grundlage letztabgewogene Entscheidungen treffen zu können, weil sich das Gewicht des Belangs Klimaanpassung mit ihrer Hilfe räumlich und sachlich nicht hinreichend bestimmen lässt, wenn nicht zumindest ein klarer Trend erkennbar ist.

Damit kann den hohen Anforderungen, die an letztabgewogene Ziele zu stellen sind, nicht entsprochen werden. Das Gebot hinreichender Bestimmtheit verlangt aus Gründen der Rechtssicherheit, der Vorhersehbarkeit und der Berechenbarkeit, dass die sich aus den Zielen der Raumordnung ergebenden inhaltlichen Anforderungen sachlich und räumlich bestimmt sind oder zumindest entsprechend bestimmbar sein müssen (Runkel 2009, § 3 Rnrn. 29–39). Insbesondere quantitative Schwellenwerte bzw. bereichsscharf abgegrenzte Vorranggebiete – etwa im Kontext des Siedlungsklimaschutzes – sind jedoch besonders begründungsbedürftig (Entscheidung des VerfGH Nordrhein-Westfalen vom 26.08.2009, Az. VerfGH 18/08, so auch Faßbender 2012: 94).

Ob die Bezugnahme auf das Vorsorgeprinzip hier weiterhilft ist strittig. Grund dafür ist, dass die Ungewissheit, die mit den Folgen des Klimawandels verbunden ist, ein Rückgriff auf das Vorsorgeprinzip zweifelhaft erscheinen lässt, da die geforderte prognosegestützte Risikoanalyse nicht möglich ist.

Das Vorsorgeprinzip (§ 1 Abs. 1 Nr. 2 ROG), das traditionell zum Aufgabenverständnis der Regionalplanung gehört, kann zur Anwendung kommen, wenn im konkreten Einzelfall nicht von der Hand zu weisen ist, dass ein natürliches Schutzgut Schaden nehmen kann. Der Nachweis muss durch eine Prognose geführt werden, die auf konkreten Feststellungen beruht, sachlich vertretbar und nachvollziehbar ist (§ 26 Abs. 2 und § 34 WHG; BVerwG, Urteil v. 12.09.1980, BayVBl 1980: 759).

Die EU-Kommission sieht im Übrigen drei wesentliche Voraussetzungen für die Anwendung des Vorsorgeprinzips (Europäische Kommission 2000):

- Die möglichen negativen Folgen (eines Vorgangs) müssen im Rahmen einer Risikoanalyse ermittelt werden können.
- Alle verfügbaren wissenschaftlichen Daten zum Vorgang müssen berücksichtigt werden.
- Die wissenschaftlichen Unsicherheiten müssen auf jeder Stufe des Verfahrens ermittelt und bewertet werden; die Ergebnisse der Risikoanalyse müssen überprüft werden, sobald neue wissenschaftliche Daten vorliegen.

Von dieser mit jeder Prognose verbundenen Unsicherheit ist aber die Ungewissheit zu unterscheiden, die bereits die tatsächlichen Grundlagen der Gefahrenprognose betrifft. Hier sei eine Risikobewertung vorzunehmen, die politisch geprägt ist (BVerfG, Beschluss des Ersten Senats - 3. Kammer - vom 28.02.2002 - 1 BvR 1676/01 - DVBl 2002: 614) und deshalb der Exekutive nicht zusteht. „Vielmehr sei es Sache des zuständigen Gesetzgebers, darüber zu entscheiden, ob, mit welchem Schutzniveau und auf welche Weise Schadensmöglichkeiten vorsorgend entgegengewirkt werden soll, die nicht durch ausreichende Kenntnisse belegt, aber auch nicht auszuschließen sind“ (BVerwG, Urteil vom 20.03.2003). Die Frage ist dann, ob der Regionalplanungsträger als Normanwender einer final programmierten Rechtsnorm ROG dazu ermächtigt ist, diese Entscheidung zu treffen.

Unterstellt man, dass die Regionalplanung ermächtigt ist, unter Bezugnahme auf das Vorsorgeprinzip auf ein sogenanntes „Besorgnispotenzial“ bzw. ein „Gefahrenverdacht“ zu verweisen (wobei diese Begriffe als Synonym gelten) (Büdenbender/Heintschel/Von Heinegg 1999: 470), gilt

Folgendes: Für das Feststellen eines Besorgnispotenzials ist keine Wahrscheinlichkeitsprüfung erforderlich, die angenommene Entwicklung darf aber nach dem vom BVerfG ausgesprochenen Grundsatz der praktischen Vernunft auch nicht praktisch ausgeschlossen erscheinen (Büdenbender/Heintschel/Von Heinegg 1999: 469). Für die Beurteilung eines Besorgnispotenzials ist deshalb nicht alleine maßgeblich, in welchen Bandbreiten sich Klimasignale ändern könnten; es ist auch die Sensitivität zu betrachten, weil sich erst aus der Verschneidung von Klimasignal und Sensitivität beurteilen lässt, ob eine erhebliche Betroffenheit vorliegen könnte. Zudem gilt der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Danach muss eine Güterabwägung ergeben, dass der mit dem Ziel der Raumordnung angestrebte Zweck in einem angemessenen Verhältnis zu den damit bewirkten Beschränkungen der kommunalen Planungshoheit steht (also ein gravierendes Besorgnispotenzial im Bereich des Möglichen sein), wenn etwa über die Festlegung von Zielen der Raumordnung in den Siedlungsbestand eingegriffen werden soll. Zudem müsste der Nachweis geführt werden können, dass das Ziel der Raumordnung erforderlich ist, um den angestrebten Zweck zu erreichen (Bunzel/Hanke 2011: 50f), also hier dem Besorgnispotenzial durch Vorsorge Rechnung zu tragen. Der Zweck darf nicht in gleichem Maße durch andere, weniger einschneidende Mittel erreicht werden können (z.B. No-Regret-Maßnahmen, s. Kap. 2.4.3), die dem Besorgnispotenzial ebenso Rechnung tragen.

In Folge dieser Rechtsunsicherheiten ist anzuraten, Klimafolgenanalysen primär auf Bestandsdaten aufzusetzen.

Das heißt, Daten aus dem Klimamonitoring etwa des DWD müssen mit regionalplanerischen Daten zur heutigen Sensitivität der verschiedenen Raumfunktionen und Raumnutzungen verschnitten werden, um die Auswirkungen des gegebenen Klimas auf den Raum hinreichend bestimmt ermitteln zu können. Damit verlässt der Regionalplaner den Bereich der Entscheidung unter Ungewissheit und kehrt zu

Entscheidungen unter Risiko zurück. Zudem ist auch die Kommunikation von Handlungserfordernissen gegenüber Politik und Öffentlichkeit leichter, wenn auf gesicherte Informationen über bereits heute bestehende Betroffenheiten Bezug genommen werden kann. Deshalb bauen die im Methodenhandbuch vorgestellten Screening- und vor allem die Referenzverfahren (welche zu rechtssicheren Abwägungsentscheidungen führen sollen) primär auf relevanten Daten auf. Lediglich die Szenarioverfahren blicken in räumlich differenzierter Form in die Zukunft, zielen aber bewusst nicht auf die formelle Raumordnung, sondern die informelle Regionalentwicklung (s. Kap. 3.1 und 5.2).

Wird dann in der planerischen Abwägung ein gegebenes Handlungserfordernis erkannt, sind rechtssichere Entscheidungen insbesondere zu No-Regret-Strategien (s. Kap. 2.4.2) möglich, die einen Mehrwert unabhängig vom Eintreffen der projizierten Klimawandelfolgen erbringen.

Praktisch bedeutet dies, wo immer möglich, auf multifunktionale Raumfunktionen bzw. Raumnutzungen zu setzen. Klimaprojektionen können dann als ergänzendes Argument in der Abwägung herangezogen werden, um die Bewältigung bereits heute bestehender, sich aber vorrausichtlich verschärfender, klimatischer Auswirkungen in ihrem Gewicht zu unterstreichen. Dies bietet sich grundsätzlich für alle von der MKRO identifizierten Handlungsfelder an.

Insbesondere wenn aus Klimamodellierungen gänzlich neue klimatische Auswirkungen erwartbar sind, die nicht bereits unter gegebenen klimatischen Bedingungen Handlungserfordernisse begründen, sind andere Strategien im raumplanerischen Handeln erforderlich.

Angesichts der Ungewissheit zukünftiger Entwicklungen sind Flexibilität und Anpassungsfähigkeit vorrangige Bewertungskriterien für Alternativen in der planerischen Abwägung (Greiving 2011a).

2.4.3 Umgang mit Ungewissheit

Um den Unsicherheiten beim Umgang mit dem Klimawandel in der Regionalplanung angemessen begegnen zu können, lassen sich unterschiedliche Strategien wirkungsvoll kombinieren:

Eine belastbare Wissensbasis generieren

Wie in diesem Methodenhandbuch vorgeschlagen, können Klimafolgenbewertungen zunächst auf Grundlage des aktuellen Klimas und bestehender Sensitivitäten durchgeführt werden. Damit liegt ein stärkeres Gewicht auf gut validierten Erfahrungswerten aus der Vergangenheit. Es wird eine belastbare Referenzsituation der aktuellen Betroffenheit aus regionaler Perspektive dargestellt, um so die Bandbreite der Veränderungssignale aus den Klimaprojektionen wie auch deren Unsicherheiten besser einordnen zu können.

Wissen frühzeitig zusammenführen

Bisher dezentral oder sektoral vorliegendes Wissen kann breiter verfügbar gemacht werden. Im Falle des Klimawandels bedeutet dies beispielsweise eine frühzeitige und umfassende Zusammenarbeit von Regionalplanung und Fachplanungen (BMVBS 2011b: 54, Appel 2004: 335ff).

Alternative Strategien in raumplanerisches Handeln integrieren

Hallegatte (2008: 244f) fasst neuere Ansätze in fünf Strategien zusammen:

„**No-Regret-Strategien**“, die einen Mehrwert unabhängig vom Eintreffen der projizierten Klimawandelfolgen erbringen. Auf die Bedeutung von No-Regret-Strategien bei Entscheidungen unter Ungewissheit wurde bereits eingegangen (s. Kap. 2.4.2).

Reversible Strategien, die einen flexibleren Umgang mit Klimafolgen erlauben. Übersetzt in die Logik der Raumordnung bedeutet dies (so auch BMVBS 2011b: 5), Festlegungen

primär in Form von Grundsätzen der Raumordnung oder als Planungshinweise für Kommunen und Fachplanungen zu treffen, die noch nicht letztabgewogen und damit reversibel sind, obwohl bereits deutliche Hinweise auf die Bedeutung der Klimaanpassung vorliegen. Bei der Verwirklichung einer fachplanerischen oder bauleitplanerischen Maßnahme ist dann auf Grundlage des zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Wissens endgültig über das Gewicht des Belangs Klimaanpassung zu befinden.

Strategien, die Entscheidungshorizonte verringern und mittelfristige Lösungen anstreben. Diese Strategie setzt auf planerisches Handeln, das sich am Vorsorgeprinzip ausrichtet (§ 1 Abs. 1 Nr. 2 ROG). In Folge dessen kann es sinnvoll sein, künftig nicht den gesamten nachgewiesenen Bedarf von Siedlungsflächen als Kontingent zur Verfügung zu stellen oder allokativ im Regionalplan darzustellen. Dies sollte nur dann erfolgen, wenn sichergestellt werden kann, dass ein Siedlungsbereich auch unter geänderten klimatischen Bedingungen vertretbar erscheint. Dies entspricht dem Konzept der **sequenziellen Realisierung von Planinhalten** (s. Abb. 11). Die weiteren Entscheidungsstufen werden offen gehalten und dann ausgeführt, wenn Dringlichkeit besteht bzw. die Unsicherheit der Informationen überwunden ist (Friend/Jessop 1973: 44f). Ähnlich argumentiert Janssen (2012: 110), wenn er das durch Monitoring, Bewertung und Nachbesserung erlangte Wissen als Chance ansieht, immer neue Informationen in das Verwaltungsverfahren einzubringen und Verwaltungsakte eingeschränkt dynamischer zu gestalten. Ein gutes Beispiel für die sequenzielle Realisierung von Planungen bietet das neue Klimaprofil beim Deichbau in Schleswig-Holstein. Der erste demgemäß ausgebaute Deich befindet sich auf der Insel Nordstrand. Entsprechend dem neuen Klimaprofil wird die Deichkrone nicht nur höher, sondern auch breiter als bisher üblich. „Sollte der Meeresspiegel stärker als nach den derzeitigen Klimaprojektionen steigen, können spätere Generationen dem Deich kurzfristig und mit geringen Kosten eine Kappe aufsetzen“, (MELUR 2013, Umweltminister Habeck, 28.01.2013). Zugleich ist dieses Vorgehen auch eine No-Regret-Strategie, da durch die Abflachung und Verbreiterung der Deichkrone bereits heute eine zusätzliche Sicherheit für heutige Sturmfluten geschaffen wird, da der (zu kehrende) Wellenauflauf mit flacheren Deichaußenböschungen generell abnimmt.

„Sanfte“ Strategien, um auf (meist aufwändige und teure) technische Lösungen verzichten zu können und stattdessen auf kooperativen Ansätze (Climate Governance) aufzubauen. Innerhalb von Prozessen kooperativer Regionalentwicklung kann auch bei Entscheidungen unter Ungewissheit ein Konsens als funktionales Äquivalent rechtlicher Normierung dienen. Hier ist als Beispiel etwa auf die konsensuale Setzung eines Meeresspiegelanstiegs im KlimaMORO-Vorhaben Vorpommern zu verweisen, auf den sich die Beteiligten angesichts der bestehenden Bandbreiten in den Projektionen als Grundlage für die weitere Maßnahmenplanung verständigt haben.

„Safety margin strategies“, die sich auf Maßnahmen mit „Sicherheitszuschlägen“ beziehen. Hier besteht ein enger Zusammenhang zum Vorsorgeprinzip. Auf dessen Unzulänglichkeiten bei Entscheidungen unter Ungewissheit

wurde bereits verwiesen. **Safety-Margin-Strategien** werden etwa in Baden-Württemberg bei der Planung wasserbaulicher Anlagen wie Hochwasserdämmen vorgesehen: Es wird ein „Klimazuschlag“ von 15% auf das Bemessungsereignis (HQ 100) aufgesetzt. Diese sind nur dann begründbar, wenn sie sich aus einer Evidenzbasis ableiten lassen und differenziert für die einzelnen Gewässerabschnitte erfolgen, weil die Auswirkungen des Klimawandels räumlich differenziert auftreten. Sind diese nicht begründbar, dürften sie als willkürlich und damit rechtswidrig anzusehen sein (für Prüfmaßstäbe an Rechtsnormen siehe Bunzel/Hanke 2011: 50f). Gleiches gilt für in der Sache nicht begründbare pauschale Klimazuschläge, die als quantitative Schwellenwerte besonders begründungsbedürftig sind (Entscheidung des VerfGH Nordrhein-Westfalen vom 26.08.2009, Az. VerfGH 18/08, so auch Faßbender 2012: 94).

Beispiel für die sequenzielle Realisierung von Planinhalten: Deichbau in Schleswig-Holstein

Nach Generalplan Küstenschutz Schleswig-Holstein wird regelmäßig – etwa alle 10 Jahre – die Sicherheit der Landeschutzdeiche überprüft. Bei festgestellter Unterbemessung wird zunächst eine Neubemessung (einschl. Klimazuschlag von 0,5 m) nach bisherigem Verfahren durchgeführt (Abb. 11 a). Das somit ermittelte Deichbestick (Höhe und Neigungen) wird anschließend ergänzt, indem die Breite der Deichkrone von 2,5 auf 5 m verbreitert wird und die Außenböschung eine einheitlich flache Neigung erhält (Abb. 11 b). Damit schafft man eine sog. Baureserve, d.h. bei unerwartetem weiteren Anstieg des Meeresspiegels kann kostengünstig eine weitere Erhöhung in Form einer Deichkappe erfolgen (Abb. 11 c).

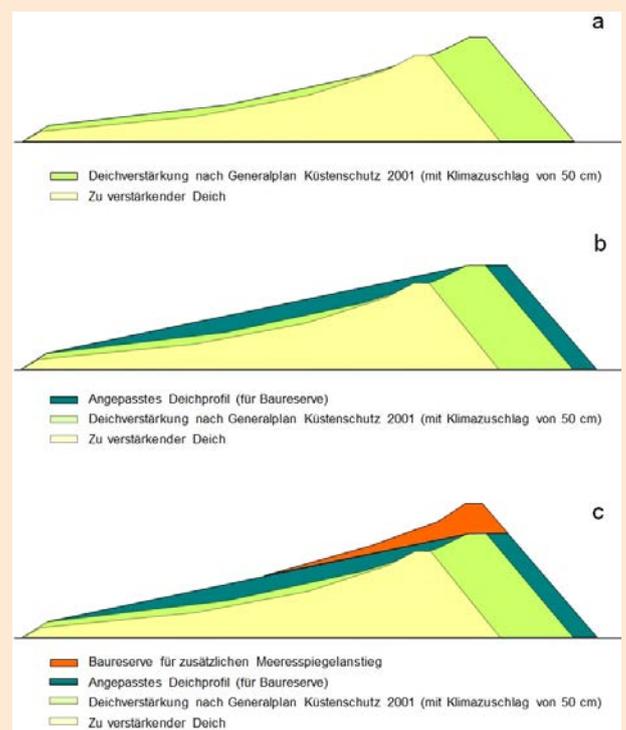


Abb. 11: Beispiel für die sequenzielle Realisierung von Planinhalten: Deichbau in Schleswig-Holstein (MELUR 2012)

3. Grundkonzept der Klimafolgenabschätzung in der Regionalplanung

3.1 Welcher methodische Grundansatz eignet sich?

Einführung

Für die Erstellung regionaler Vulnerabilitätsabschätzungen gegenüber dem Klimawandel in der räumlichen Planung gibt es bislang keinen allgemein anerkannten Stand der Technik (BMVBS 2011b: 40). Die BMVBS-Online-Publikation 21 „Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis“ bietet hier wertvolle inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Verwundbarkeiten und systematisiert Ablaufschritte für eine qualitative wie auch eine quantitative Klimafolgenabschätzung (52f). Die Veröffentlichung baut auf den in den KlimaMORO-Vorhaben gewonnenen Erkenntnissen auf. Jedoch weichen die Vulnerabilitätskonzepte in den MORO-Vorhaben stark voneinander ab; auch wird die terminologische Vielfalt schnell deutlich. Hier zeigen sich die Schwierigkeiten im Umgang mit einer außerordentlich komplexen Thematik.

Deshalb erscheint es geboten, einige methodische und terminologische Problemstellungen explizit zu beleuchten und ein für die Regionalplanung konsensfähiges und in der Praxis anwendbares Konzept zu Klimafolgenanalysen

vorzulegen. Auch wenn eine Bandbreite unterschiedlicher methodischer Ansätze für die Planungspraxis durchaus sinnvoll sein mag, um auf die jeweiligen Rahmenbedingungen adäquat reagieren zu können, führt die aktuelle Situation zu großen Unsicherheiten, die planerisches Handeln einschränken und Rechtsunsicherheiten bedingen. Dazu bedarf es auch eines einheitlichen Verständnisses zentraler Begriffe.

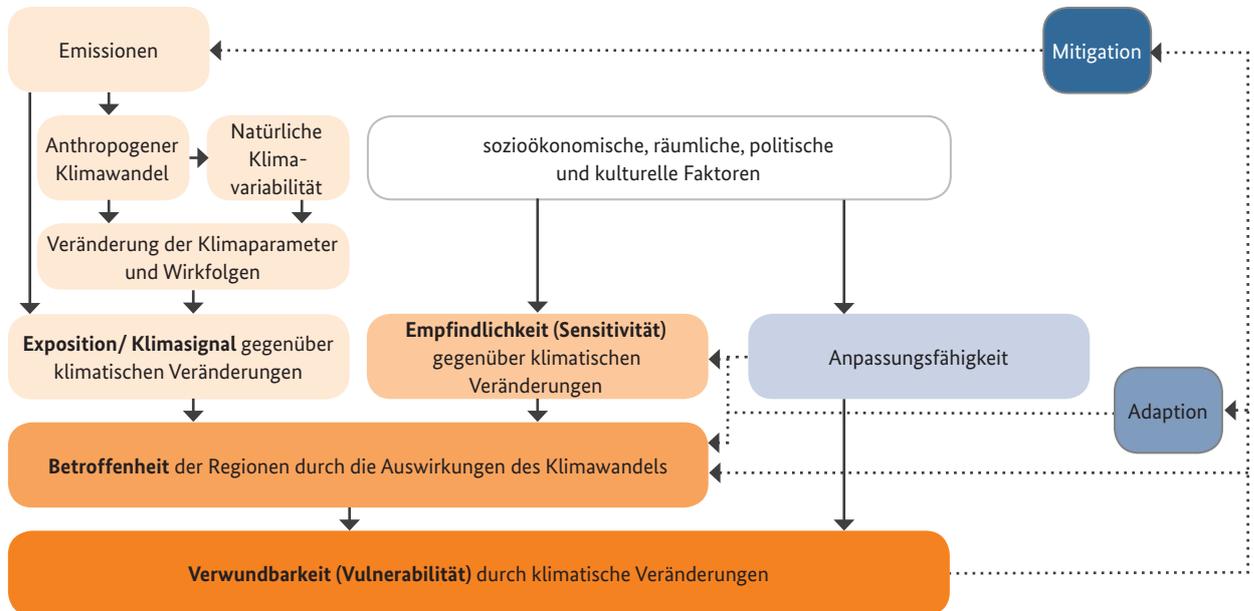
Der vom International Panel for Climate Change (IPCC) entwickelte konzeptionelle Rahmen ist die sogenannte „Verwundbarkeitsabschätzung“ (Parry et al. 2007). Die Verwundbarkeit ist bestimmt durch die Art, das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Änderung der Exposition bzw. des Klimasignals (s.u.), dem ein System ausgesetzt ist, sowie seiner Sensitivität und seiner Anpassungskapazität (übersetzt nach Parry et al. 2007).

Der oftmals verwendete Risikobegriff spielt dabei keine Rolle und sollte nur im Kontext der Risikoabschätzung für Entscheidungen unter Risiko (s. Kap. 2.4.3) angewendet werden, die auf die Bestimmung von Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenz bestimmter Ereignisse abzielen. Die Vulnerabilitätsanalyse dient demgegenüber in der Regel als Evidenzbasis für die Ableitung von Anpassungsstrategien. Dabei sind sowohl schleichende klimatische Veränderungen von Kenngrößen wie Temperatur und Niederschlag als auch klimabeeinflusste Wetterextreme von Bedeutung (z.B. Starkregen, Sturm, Hitze).

Exposition/ Klimasignal

Im Deutschen wird der Begriff „exposure“ häufig als „Exposition“ übersetzt. Exposition meint im Deutschen eher „Exponiertsein“, was im Englischen „exposed elements“ wären – ein wording aus der disaster risk community. Dieses Systemelement ist bei der Vulnerabilitätsabschätzung jedoch Bestandteil von Sensitivität. Besser ist daher, statt von „Exposition“ von dem „Klimasignal“ bzw. verändertem Klimasignal zu sprechen, gegenüber dem bzw. gegenüber dessen Veränderung verschiedene Raumfunktionen bzw. Raumnutzungen sensitiv sind.

Abb. 12: Systemkomponenten der Klimafolgenanalysen (eigene Darstellung nach IPCC 2007)



Methodische Probleme

Allerdings ergeben sich durchaus methodische Probleme, die eine klare Definition und Abgrenzung wie auch einen sinnvollen Einsatz der unterschiedlichen Systemkomponenten der Vulnerabilität erforderlich machen.

Ein zentrales methodisches Problem liegt im **Zeitbezug der einzelnen Systemkomponenten**: Während sich das Klimasignal bei Vulnerabilitätsanalysen in der Regel auf zukünftige Klimaänderungen bezieht, ist der Zeitbezug Sensitivität oftmals nicht eindeutig. In existierenden Studien wird insbesondere für Sensitivitätsindikatoren in der Regel der gegenwärtige Zustand als Referenz angeführt (Adger 2006; Füssel/Klein 2006; Greiving et al. 2011). Sie beziehen sich somit auf den Status quo des Systems und nicht auf zukünftige Änderungen, beispielsweise im Rahmen der Siedlungsentwicklung, des demographischen Wandels oder des Landnutzungswandels (Black et al. 2008). Das ist insofern kritisch zu sehen, da sich bestimmte Vulnerabilitäten erst aus einer Veränderung der Sensitivität ergeben. So lässt sich beispielsweise annehmen, dass das Risiko von

Schäden durch Extremwetterereignisse in Zukunft mit einer Zunahme von Siedlungsfläche in potenziell gefährdeten Bereichen deutlich steigt. Im Grunde genommen wird derzeit in Vulnerabilitätsstudien das System, so wie es sich aktuell darstellt, einem zukünftigen Klimawandel ausgesetzt – als würde der Klimawandel, wie er sich im Jahr 2050 zeigen wird, bereits morgen eintreten.

Die Bedeutung der bestehenden **Sensitivitäten eines Systems** wird im Kontext von Vulnerabilitätsanalysen oftmals unterschätzt. Aus der Erfahrung zahlreicher Studien hat sich gezeigt, dass der wesentliche Faktor für die Vulnerabilität eines Systems oft mehr die Sensitivität in ihrem aktuellen und möglichen zukünftigen Status ist, als der Klimawandel selbst (Greiving et al. 2011). Auch der Grad sowie die Sicherheit der Information, die man über die Sensitivität eines Systems erhalten kann, übersteigen den Grad und die Sicherheit an Information über den Klimawandel. Selbst die räumliche Variabilität der Sensitivität und die dadurch resultierenden räumlichen Unterschiede in der Betroffenheit sind oft höher als die räumliche Variabilität von Klimaänderungssignalen.

Die Betrachtung der **Anpassungskapazität** als Element einer Verwundbarkeitsabschätzung ist ebenfalls methodisch schwierig. Klima- und wettersensitive Systeme weisen in der Regel eine lange Geschichte von Anpassungsmaßnahmen an Klima- und Wetterextreme auf: angefangen von Deichen zum Hochwasser- und Küstenschutz über Wildbach- und Lawinenverbauung in den Alpen bis hin zu Frühwarnsystemen, Hagelversicherungen oder moderner Risikokommunikation. Im Rahmen von Vulnerabilitätsanalysen wird oftmals nicht klar, ob die Anpassung an Klima- und Wetterextreme zum Betrachtungszeitpunkt, also bereits realisierte und wirksame Maßnahmen, dem Faktor „Anpassungskapazität“ zuzuordnen sind oder sozusagen zum betrachteten System gehören bzw. ein Merkmal desselben sind (Adger/Arnell/Tompkins 2005). Zusätzliche Maßnahmen fallen dagegen eindeutig unter „Anpassungskapazität“. Unklar bleibt zudem, wie – neben territorialen Strategien und Maßnahmen – Aspekte wie „politischer Wille“ oder „Effizienz von Anpassungsmaßnahmen“ berücksichtigt werden sollten. Hinzu kommt, dass es gerade Aufgabe der Regionalplanung ist, im Rahmen der Abwägung darüber zu befinden, welchen Anpassungserfordernissen Rechnung getragen werden soll. Sie ist damit Teil der Anpassungskapazität einer Region. Gingen mögliche Anpassungsmaßnahmen bereits in die Analysen mit ein, würde quasi unterstellt, dass die Regionalplanung – wie auch andere Akteure etwa der Fachplanungen – ihre Handlungsoptionen nutzen (können) und dies auch im politischen Raum auf Akzeptanz stößt.

Aus diesen Überlegungen heraus ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- **Klimafolgenanalysen müssen die zeitlichen Bezüge der Einzelfaktoren und Indikatoren ausweisen und auf die Konsistenz der Zeitbezüge bei der Verknüpfung der Daten zu Klimasignal und Sensitivität achten (s. Tab. 3).**
- **Durch eine fundierte Bewertung der Sensitivität kann man den mit hoher Unsicherheit behafteten Aussagen über den Klimawandel entgegenreten und so schon wesentliche Faktoren einer Betroffenheit gegenüber dem Klimawandel aufdecken.**
- **Auf eine Integration des Faktors „Anpassungskapazität“ wird verzichtet und damit auf den Begriff der Vulnerabilität. Stattdessen wird von Klimafolgen- oder von Betroffenheitsanalysen gesprochen. Es wird deshalb vorgeschlagen, zukünftige Anpassungsmaßnahmen (und -potenziale) transparent in den planerischen Handlungsrahmen einzubetten.**

Tab. 3: Zeitbezug der Faktoren „Klimasignal“ und „Sensitivität“ (eigene Darstellung)

	Klimasignal	Sensitivität
Vergangenheit	Entwicklung zentraler Klimaparameter in den letzten Jahrzehnten (Referenzzeitraum)	Regionale Daten zur Entwicklung von Raumstruktur, Flächennutzungen und sozioökonomischen Faktoren in den letzten Jahrzehnten (Referenzzeitraum)
Status quo	Regionalisierte Klimamodellierungen zur Darstellung der aktuellen Situation	Rezente regionale Daten zu Raumstruktur, Flächennutzungen und sozioökonomischen Faktoren
Zukunft	Regionalisierte Klimamodellierungen zum Klimawandel: Klimaprojektionen	Prognosen bzw. Projektionen zu Raumstruktur, Flächennutzungen und sozioökonomischen Faktoren in der Region

Grundansatz der Klimafolgenanalyse

Der Ansatz fokussiert auf der Analyse der Klimasignale und der Sensitivitäten, wobei die Betrachtung der Sensitivität kontextbezogen in Relation zu den jeweiligen Wirkfolgen erfolgt. Die Betroffenheiten der einzelnen Raumfunktionen und -nutzungen ergeben sich aus der Verknüpfung von Indikatoren zu Klimasignal und Sensitivität (s. Abb. 13).

Der Ansatz unterscheidet den zeitlichen Bezug der Einzel-faktoren und macht dies im Endergebnis transparent – in einer Bewertung des Status quo und von Szenarien. Zentral sind zunächst rezente Klimadaten, um sowohl das Klimasignal als auch die Sensitivität der gegenwärtigen Raumnutzungen bzw. Raumfunktionen anhand von Indikatoren kohärent zu beschreiben, abwägungsfest beurteilen und regionalplanerische Handlungserfordernisse ableiten zu können. Nur so lässt sich das Delta zwischen der aktuellen und einer möglichen zukünftigen Situation verlässlich beschreiben. Klimawandelsignale lassen sich damit in ein planerisch relevantes Verhältnis zur aktuellen Situation in der Region setzen. Es geht also zunächst darum, die Frage nach aktuellen Betroffenheiten zu beantworten und dann zu sehen, ob sich mit dem Klimawandel bestehende Betroffenheiten verstärken oder neue geschaffen werden. Auf diese Weise kann in der regionalplanerischen Klimafolgenanalyse auch herausgearbeitet werden, welcher Veränderungsfaktor – also der Klimawandel oder der sozioökonomische Wandel – eigentlich der maßgebliche Treiber für eine sich in Zukunft verändernde Betroffenheit eines Raums gegenüber dem Klimawandel ist. Damit steht dann eine methodisch konsistente, nachvollziehbare und gerichtsfeste Grundlage für raumordnerische Anpassungsstrategien zur Verfügung.

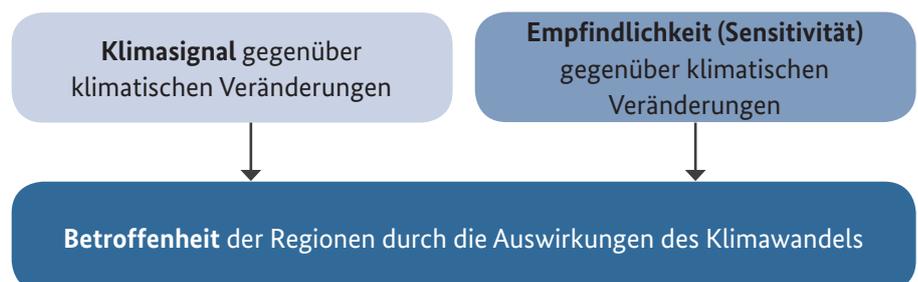
Zentrale Begriffe des Grundansatzes:

Klimasignal beschreibt den Reiz des heutigen Klimas (t_0) bzw. des Klimas zum Zeitpunkt t_1 . Das Delta zwischen t_0 und t_1 beschreibt die Klimaveränderungen, wie steigende Temperaturen, Veränderungen im Niederschlag, Veränderungen von Wetterextremen.

Sensitivität beschreibt, in welchem Maße ein bestehendes System (Sektor, Bevölkerungsgruppe, Region) bereits heute (t_0) auf einen definierten Reiz (Klimasignal t_0) reagiert. Die Sensitivität zum Zeitpunkt t_0 ist damit abhängig vom Status quo des Systems zum jetzigen Zeitpunkt, während die Sensitivität zum Zeitpunkt t_1 die Reaktion des zukünftigen Systems auf ein Klima in der Zukunft beschreibt. Das Delta aus der Sensitivität t_0 und t_1 beschreibt die Veränderung des Systems.

Betroffenheit beschreibt zum Zeitpunkt t_0 die Wirkung des heutigen Klimas auf das heutige System bzw. zum Zeitpunkt t_1 die Wirkung des zukünftigen Klimas auf ein zukünftiges System. Aus dem Delta aus der Betroffenheit t_0 und t_1 lässt sich die potenzielle Wirkung des Klimawandels, aber auch anderer Veränderungsprozesse ablesen.

Abb. 13: Systemkomponenten des Grundkonzeptes zur Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung (eigene Darstellung)



3.2 Flexibilität ermöglichen: ein dreistufiges Verfahren für die Regionalplanung

Der Klimawandel zeigt regional sehr unterschiedliche Auswirkungen. Dementsprechend erscheint es für die regionale Ebene nicht immer sinnvoll, alle potenziell planungsrelevanten Auswirkungen von Beginn an einer aufwändigen Analyse zu unterziehen. Vielmehr kann eine erste grobe Einschätzung helfen, den Untersuchungsaufwand auf in der Region prioritäre Handlungsfelder zu fokussieren. Gleichzeitig kann es aufgrund spezifischer Problemlagen erforderlich werden, Schwerpunkte für eine vertiefte Klimafolgenbewertung zu setzen, etwa in besonders betroffenen Teilräumen.

Das Methodenhandbuch bietet daher drei Bearbeitungstiefen an, um unterschiedlichen Einsatzbereichen, Anforderungen und Prozessphasen gerecht zu werden.

Geringe Bearbeitungstiefe = Screeningverfahren

Das Screeningverfahren dient zur Ersteinschätzung regionaler Klimafolgenbetroffenheit, um eine Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen zu erhalten. Es ermöglicht eine erste Selbsteinschätzung von Klimasignal und Sensitivität gegenüber spezifischen Wirkfolgen von Klimaparametern. Dadurch können die regionalplanerische Relevanz der Klima(wandel)folgen abgeschätzt und Prioritäten für den weiteren Prozess gesetzt werden. Operationalisiert wird das Verfahren über eine Checkliste mit Fragen zur Betroffenheit in den MKRO-Handlungsfeldern. Hierzu steht ein Webtool zur Verfügung, das die Transparenz im Planungsprozess unterstützt. So kann die „Er-

mittlung der Belange“ und eine begründete Abschtichtung nachvollziehbar dokumentiert werden.

Mittlere Bearbeitungstiefe = Referenzverfahren

Die Referenzverfahren können als Standard zur Abschätzung von Betroffenheiten und damit zur Klimafolgenbewertung auf Ebene der Regionalplanung gelten. Der wesentliche Einsatzbereich liegt in der formellen Planung; es geht um die „Einstellung der abwägungsbeachtlichen Belange“ in den Planungsprozess. Die Analyse erfolgt GIS-basiert und erlaubt räumlich und sachlich differenzierte Festsetzungen in der formellen Planungspraxis. Sie zielt damit auf eine abwägungsfeste Ausgestaltung der raumordnerischen Instrumente. Die Erörterung der grundsätzlichen methodischen Herangehensweisen wie auch detaillierte Hinweise zu methodischen Fragestellungen und Datenqualitäten, an deren Dokumentation zur Gewährleistung von Rechtssicherheit ja hohe Anforderungen bestehen (s. Kap. 2.4.3) sowie die Präsentation guter Beispiele für die Referenzverfahren schaffen mehr Sicherheit im Umgang mit Klimafolgenanalysen in der Regionalplanung. Das Methodenhandbuch soll damit als Orientierungs- und Argumentationshilfe für die Planungspraxis dienen.

Hohe Bearbeitungstiefe = Szenarioverfahren

Diese aufwändigeren Verfahren sind für detaillierte Analysen der Klimafolgen im Kontext zukünftiger regionaler Entwicklungen gedacht. Sie berücksichtigen insbesondere mögliche zukünftige Veränderungen des Klimasignals aufgrund von Emissionsszenarien und Modellläufen sowie der Sensitivität von Regionen aufgrund des gesellschaftlichen Wandels. Die Verfahren bieten die Möglichkeit einer vertieften Abschätzung der Klima(wandel)betroffenheit in besonders gefährdeten Regionen oder Teilräumen. Sie stellen zudem eine wichtige Grundlage für szenariobasierte Regionalentwicklungskonzepte oder Leitbilder dar, eignen sich jedoch nicht für die formelle Raumordnung (s. Kap. 2.4.3).

Unterscheidungskriterien zwischen den drei Intensitätsstufen sind zum einen der Umgang mit rezenten Daten bzw. mit Klimaprojektionen und zum anderen der räumliche Konkretisierungsgrad, also inwieweit explizite räumlich differenzierte Aussagen getroffen werden. Gleichwohl sollen alle drei Intensitätsstufen auf der gleichen Logik, d.h. auf den gleichen Zusammenhängen zwischen den Klimafolgen und der Sensitivität gegenüber diesen Klimafolgen, aufbauen.

Notwendige Voraussetzung für Klimafolgenanalysen ist eine allgemein akzeptable Beschreibung der Systemkomponenten und die Zuordnung von Indikatoren. Eine methodische Operationalisierung muss sich deshalb mit den Wirkfolgen und Wirkketten in den für die Regionalplanung relevanten Handlungsfeldern auseinandersetzen und damit die Anpassungsoptionen der Regionalplanung im Blick behalten. Daher werden vorab die grundlegenden Wirkzusammenhänge zwischen Klimasignal und Sensitivität vor dem Hintergrund der raumordnerischen Relevanz anhand von Wirkketten und Indikatorenkategorien dargestellt.

Die Vorteile eines mehrstufigen Verfahrens liegen auf der Hand: Unterschiedliche Intensitätsstufen ermöglichen eine den regionalen Rahmenbedingungen angemessene und praktikable Vorgehensweise. Die sequenzielle Anwendung der Intensitätsstufen befördert einen effektiven Einsatz personeller und finanzieller Ressourcen der Regionalplanung. Dies ist ein iterativer Prozess, der gewährleistet, dass Klimafolgenanalysen passgenau auf die räumliche Planung auf regionaler Ebene zugeschnitten sind. Nur dort, wo die Regionalplanung echte Steuerungsoptionen besitzt (MKRO 2013), sind aufwändige Klimafolgenanalysen zu rechtfertigen. So lässt sich das komplexe Thema ziel- und ergebnisorientiert fokussieren und auf eine in der Planungspraxis handhabbare Methodik ausrichten. Gleichzeitig bleiben das Subsidiaritätsprinzip und damit insbesondere die Arbeitsteilung zwischen Regional- und Bauleitplanung gewahrt. Das Methodenhandbuch stellt damit einen eindeutigen Bezug zum raumordnerischen Instrumentarium her und fokussiert auf für die Regionalplanung zentrale Aspekte des Klimawandels. Ziel ist, „Analysen nur so komplex wie unbedingt notwendig“ anzulegen“ (BMVBS 2011b: 49), um weder das Planungsinstrumentarium noch den Planungsprozess und die daran beteiligten Akteure zu überfordern.

Tab. 4: Übersicht zu den Verfahren (eigene Darstellung)

Verfahren	Ziel	Klimasignal	Sensitivität	Raumbezug
Screeningverfahren	Ersteinschätzung	Status quo (Projektion)	Status quo	Gesamt-/teilräumlich
Referenzverfahren	Formale Planung	Status quo (Projektion)	Status quo	Bereichsscharf
Szenarioverfahren	Vertiefung	Projektion	Projektionen/Prognosen	Bereichsscharf

3.3 Wie lassen sich Klimafolgenanalysen in den Planungsprozess einbetten?

Der Klimawandel betrifft fast alle Sektoren und Ebenen der räumlichen Planung. Daher müssen Anpassungsmaßnahmen sektoren- und ebenenübergreifend entwickelt und in einen strategischen wie dynamischen Ansatz integrierter Regionalentwicklung eingebettet werden. Dieser Ansatz umfasst Datenerfassung und -analysen ebenso wie planerische Handlungsoptionen und normative (policy-) Entscheidungen, die notwendig sind, um klimawandelgerechte Raumstrukturen zu schaffen. Klimafolgenanalysen integrieren sich somit in das Gesamtsystem der räumlichen Planung und stehen in engem Zusammenhang mit einem zunehmend intensiveren Transfer zwischen Politik und Öffentlichkeit, Raumplanung und Sektorpolitiken, Wissenschaft und Praxis.

Der Klimafolgenbewertung kommt eine spezifische Bedeutung zu. Sie ist als Evidenzgrundlage notwendig zum Verständnis der Wirkfolgen des Klimawandels und zur Einschätzung von Betroffenheiten für die Regionalentwicklung. Sie bereitet schließlich das Ausloten von Anpassungsoptionen in den Handlungsfeldern der Regionalplanung vor. Hier können Klimafolgenbewertungen auf unterschiedlichen Ebenen zum Einsatz kommen: vorbereitend – sozusagen „auf dem Weg“ zur formalen Planung – im Bereich der Raumanalysen und Entwicklungsszenarien, in Leitbildprozessen oder regionalen Entwicklungskonzepten, um den Rahmen für eine an langfristigen Zielen orientierte Regionalentwicklung zu setzen. Klimafolgenbewertungen ermöglichen überhaupt erst die objektive Gewichtung des Belangs Klimaanpassung in der Abwägung und sind deshalb Grundlage für die formalen Instrumente der Raumordnung wie auch für die Umweltprüfung. Gleichzeitig leisten sie einen Beitrag zum begleitenden Monitoring.

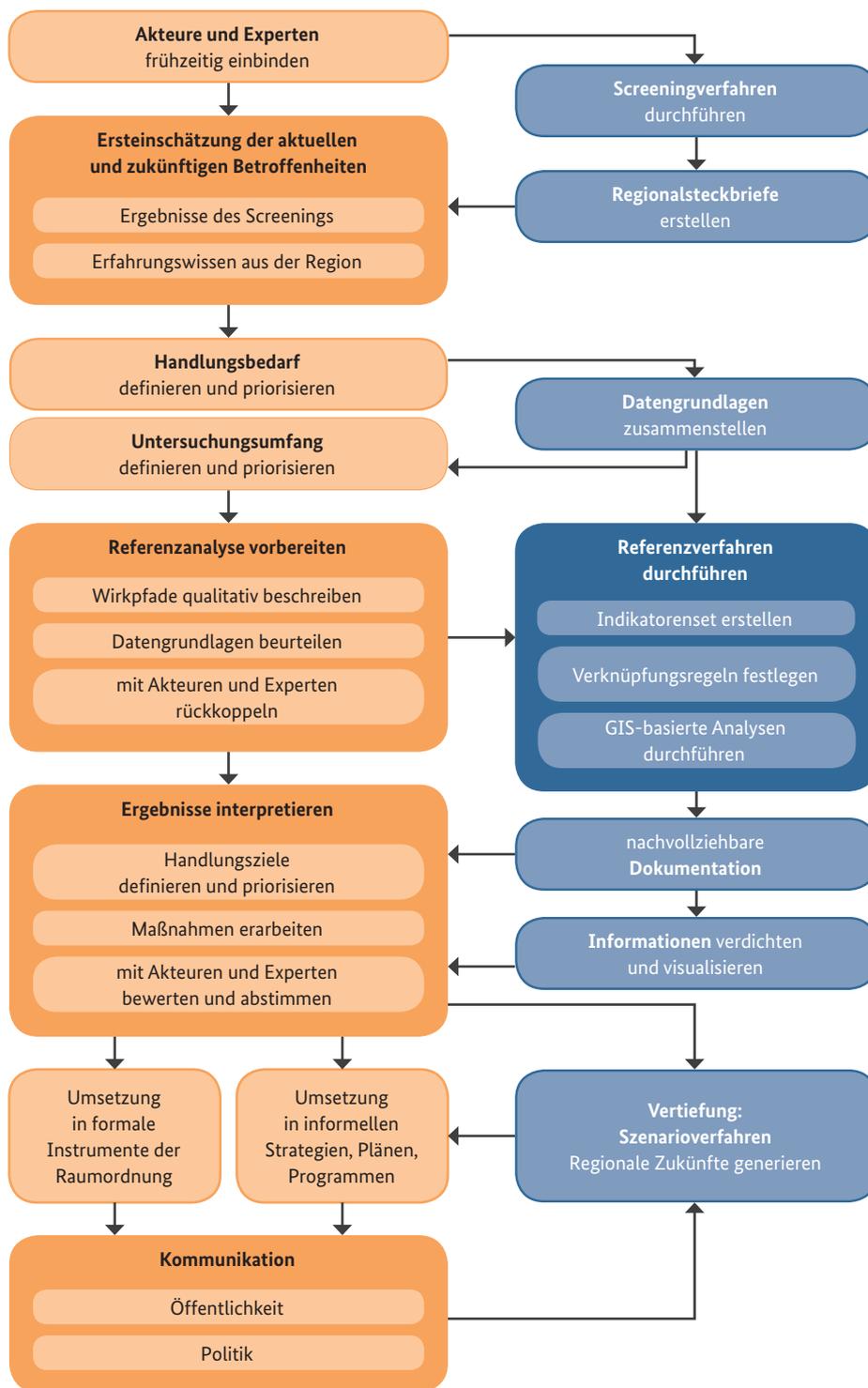
Darüber hinaus werden unter den Stichworten „Climate Proofing“ oder „Climate-Proof Planning“ neuere Ansätze diskutiert, die – aufbauend auf Klimafolgenbewertungen – „absichern, dass Pläne, Programme und Strategien sowie

damit verbundene Investitionen gegenüber den aktuellen und zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels resilient und anpassungsfähig gemacht werden, und die zudem auch darauf abzielen, dass die entsprechenden Pläne, Programme und Strategien dem Ziel des Klimaschutzes Rechnung tragen“ (Birkmann/Fleischhauer 2009: 118). Der Unterschied zur Umweltprüfung ergibt sich durch die unterschiedliche Perspektive: „Nicht die Wirkungen des Projektes oder Plans auf die Umwelt, sondern die möglichen, durch den Klimawandel veränderten Umweltbedingungen und Umweltauswirkungen auf das Projekt bzw. den Plan sind zu untersuchen“ (Birkmann/Fleischhauer 2009: 118). Gleichwohl lässt sich auch diese umgekehrte Perspektive in der Umweltprüfung über die erforderliche Ermittlung des Status quo-Zustands der Umwelt abbilden, der sich aufgrund des Klimawandels dynamisch verändert (Jacoby 2010, Greiving 2004).

Entscheidend ist, Klimafolgenanalysen und -bewertungen als Prozess zu betrachten und von Beginn an relevante Akteure einzubinden; so kann ein gemeinsames Verständnis für die Interpretation der raumwirksamen Folgen des Klimawandels entstehen (BMVBS 2011b: 42). Hierzu zählen die Fachplanungen, die wichtige Datengrundlagen und umfangreiches Erfahrungswissen vorhalten, aber auch Akteure eines regionalen „Anpassungsnetzwerkes“, die für die Umsetzung von Maßnahmen verantwortlich sind. Die Einbindung von Politik bzw. Öffentlichkeit ist gerade bei der Bestimmung von Anpassungszielen und der Aktivierung von Anpassungspotenzialen von großer Bedeutung, um aufgrund der mit den Klimafolgen verbundenen Unsicherheiten eine höhere Akzeptanz zu erzielen. Zudem enthält bereits die Analyse von Klimafolgen zahlreiche Elemente, denen normative Implikationen innewohnen und die somit bereits frühzeitig insbesondere mit den politischen Entscheidungsträgern rückgekoppelt werden sollten.

Das im Methodenhandbuch vorgestellte dreistufige Verfahren zur Klimafolgenbewertung lässt sich sehr gut in einen prozessualen Ablauf einbetten (s. Abb. 14). Hierdurch können die Voraussetzungen für einen systematischen Aufbau des erforderlichen Wissens, die notwendige Rückkopplung mit relevanten Akteuren und eine ausreichende Transparenz im Verfahren geschaffen werden.

Abb. 14: Klimafolgenbewertung als Planungsprozess verstehen
(eigene Darstellung auf der Basis von BMVBS 2011b)



4. Screeningverfahren

4.1 Wozu dient das Screeningverfahren?

Das Screeningverfahren dient zur Ersteinschätzung der aktuellen und zukünftigen Betroffenheit einer Region gegenüber den Wirkfolgen gegenwärtiger Klimaparameter (Temperatur, Niederschläge usw.) sowie veränderter Klimasignale im Zuge des Klimawandels auf der Basis eines bundesweit standardisierten Verfahrens. Ideen aus anderen Vorhaben (CLISP Checkliste für Klimawandel-Fitness in: Pütz/Kruse/Butterling 2011) werden damit aufgegriffen und weiterentwickelt. Mit den Ergebnissen des Screenings erhalten die regionalen Planungsakteure eine Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen. Mit anderen Worten: Im Zuge des Screenings können die regionalplanerische Relevanz der Klimafolgen – aktuelle Betroffenheiten wie auch eine „potenzielle Klimawandel-Anfälligkeit“ – abgeschätzt und Schwerpunkte für den weiteren Planungsprozess identifiziert werden.

Ziel des Ansatzes ist es also, eine Abschätzung für regionale Akteure zu ermöglichen, welche klima-bezogenen Themenkomplexe für ihre Region bereits heute relevant sind und ob bzw. in welchen MKRO-Handlungsfeldern zukünftig erhebliche Klimafolgen zu erwarten sind.

Bezugsebene ist die Gesamtregion, gegebenenfalls auch ein Teilraum, wenn erhebliche raumstrukturelle Unterschiede, beispielsweise zwischen verstädterten und ländlichen Bereichen oder zwischen Flachland und Berggebieten, vorliegen. Das bedeutet, es werden keine detaillierten raumbezogenen Aussagen gemacht, etwa wo innerhalb der Region welche konkreten Folgen auftreten könnten. Vielmehr sollen im Wege eines ersten Screenings die regionale Ausgangssituation (Status quo) sowie die zukünftig zu

erwartenden Änderungen ggf. zur Vorbereitung weitergehender Analysen im Sinne der Referenzverfahren identifiziert werden. Sie bilden somit eine Basis für nachgelagerte detailliertere, räumlich differenzierte Klimafolgenanalysen. Im Ergebnis wird dadurch auch bereits eine Ersteinschätzung von Handlungserfordernissen möglich.

Das Screeningverfahren ist insofern hypothesengenerierend und dient im Sinne des Abwägungsvorgangs der Ermittlung abwägungsbeachtlicher Belange bzw. derjenigen Handlungsfelder, die einer näheren Betrachtung bedürfen. Es kann jedoch keine validen Hinweise geben, wie groß der Handlungsbedarf tatsächlich ist, da weder Klimasignale noch Sensitivitätskriterien räumlich differenziert bewertet werden.

Das Screeningverfahren wird über ein Webtool, das als interaktive Website online zugänglich ist, für die Planungspraxis operationalisiert. Das Webtool ermöglicht dem Anwender, im Zuge des Screenings einen Regionalsteckbrief zu generieren (s. Abb. 19), in dem die raumbedeutsamen und für die Regionalplanung relevanten Klimasignale und Sensitivitätsmerkmale zu einem regionalen Klima(wandel) betroffenenprofil zusammengestellt werden. Mit Hilfe des Webtools sollen die regionalen Akteure in die Lage versetzt werden, eine Selbsteinschätzung der Betroffenheit durch das gegenwärtige und zukünftige Klima vorzunehmen und steckbriefartig abzubilden. Insofern bietet das Webtool einen niedrighschwelligem, verhältnismäßig einfachen Einstieg in die Klimafolgenbewertung.

Durch die standardisierte Auswertung unter Einbeziehung bundesweiter Datenquellen stellt es eine attraktive Option zur konsistenten Ersteinschätzung der Klima(wandel)folgen dar, die zudem auch noch im Wege des Steckbriefs einheitlich dokumentiert wird.

4.2 Wie funktioniert das Screeningverfahren?

Das Verfahren fußt auf einem Set von **Checklisten** mit Fragen zur Ausprägung von Klimasignalen und Sensitivitäten in den MKRO-Handlungsfeldern (vergleichbar der Vulnerabilitätsabschätzung im Stadtklimalotsen unter www.stadtklimalotse.de). Das Verfahren verfolgt dabei einen **zweistufigen Ansatz** (s. Abb. 15):

1. Die erste Phase des systematischen und Indikatoren-basierten Screenings beruht auf Status quo-Daten, die eine vergleichsweise gesicherte Einschätzung der gegenwärtigen klimabedingten Auswirkungen erlauben. Die Akteure in der Region wissen nach Durchführung der ersten Phase des Screeningverfahrens, ob und ggf. in welchen Sektoren bereits heute hohe Betroffenheiten bestehen. Das Webtool führt hierbei Informationen zum Klima (Klimasignal) sowie zur sozioökonomischen und ökologischen Anfälligkeit (Sensitivität) zusammen und generiert auf dieser Grundlage ein regionales Profil rezenter, d.h. gegenwärtiger Betroffenheit entlang der MKRO-Handlungsfelder. Die Bewertung der Faktoren

Klima und Sensitivität durch den Nutzer erfolgt dabei jeweils in drei Stufen (gering, mittel, hoch).

2. In einem weiteren Schritt werden die über das Webtool ermittelten Ergebnisse vor dem Hintergrund regionaler Klimamodelle interpretiert und es wird eingeschätzt, inwieweit Klimawandelsignale bestehende Auswirkungen zukünftig verschärfen bzw. neue generieren könnten. Innerhalb des Webtools ist eine Option vorgesehen, mit der Bereiche markiert werden können, in denen zukünftig eine Veränderung aufgrund des sich wandelnden Klimas bzw. veränderter Sensitivität zu erwarten ist.

Analog zum Betroffenheitsmodul im Stadtklimalotsen wurden im Screeningverfahren für die von der MKRO identifizierten Handlungsfelder Abschätzungskriterien entwickelt, die sich von sogenannten Wirkketten für die einzelnen Handlungsfelder ableiten. Die Wirkketten, die die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Klimasignal, Sensitivität und Betroffenheiten anschaulich darstellen, basieren auf den Ergebnissen des APA-/UBA-Projekts „Netzwerk Vulnerabilität“ (Schneiderbauer et al. 2012). Für den regionalen Kontext wurden diese Wirkketten unter Einbeziehung der Ausführungen zu den MKRO-Handlungsfeldern (MKRO 2013) angepasst.

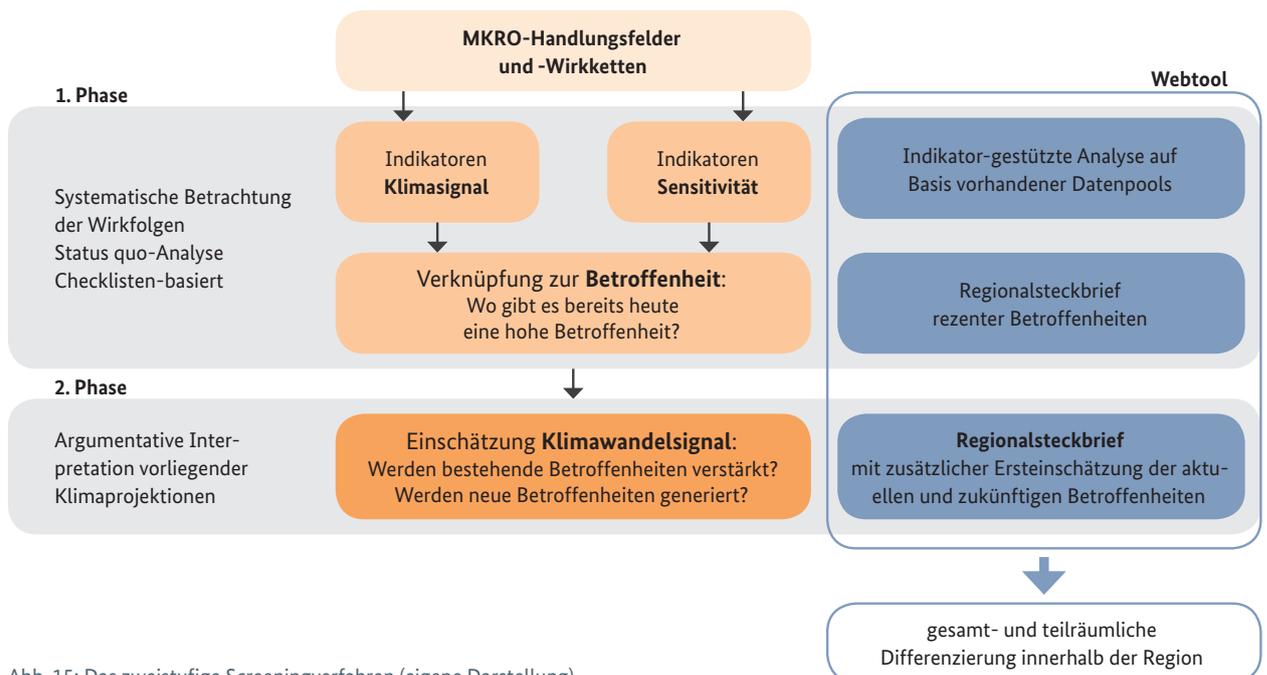


Abb. 15: Das zweistufige Screeningverfahren (eigene Darstellung)

Tab. 5: Für das Screeningverfahren angewendete Faktoren (eigene Zusammenstellung)

MKRO-Handlungsfeld	Teilbereich	Faktor Klimasignal/ Klimawirkungen (Status quo)	Faktor Sensitivität* (Status quo)
1. Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten	Frequenz und Magnitude von Flusshochwasser	raumrelevante Überschwemmungsgebiete	Größe gefährdeter Siedlungs- oder Verkehrsflächen Vorkommen kritischer Infrastrukturen
	Frequenz und Magnitude von Sturzfluten	Niederschlagsereignis	Größe der reliefbedingten Abflussbahnen Größe gefährdeter Siedlungs-/ Verkehrsflächen Vorkommen kritischer Infrastrukturen
2. Küstenschutz	Sturmflut	raumrelevante sturmflutgefährdete Bereiche Windzonen sturmflutgefährdete Marschflächen	Größe gefährdeter Siedlungs- oder Verkehrsflächen/ kritische Infrastrukturen im deichgeschützten natürlichen Überschwemmungsbereich Höhe des Küstenschutzdeiches
3. Schutz der Berggebiete (insbesondere Alpenraum)	Frequenz und Magnitude gravitativer Massenbewegungen	Niederschlagsereignis Lawinen- bzw. geologische Gefährdungen	Vorhandensein von intaktem Bergwald bzw. technischen Schutzmaßnahmen oberhalb von Siedlungsflächen Lage in Gefahrenzone: Einzelhöfe/ einzelne Infrastrukturen/ (geschlossene) Siedlungsflächen/ (kritische) Infrastrukturen
4. Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen (bioklimatische Belastungsgebiete)	Hitzeinseleffekt in Städten	Anzahl von Sommertagen	Raumtyp: ländlicher Raum/ verstädterter Raum/ Agglomeration bioklimatische Rahmenbedingungen (Durchlüftung)
5. Regionale Wasserknappheiten	niedriges Wasserdargebot bei hohem Wasserbedarf im Sommer	durchschnittliche Niederschlagsmengen durchschnittliche Zahl an Hitzetagen	Wasserverbrauchsindex Art der Trinkwassergewinnung Wasserspeicherkapazität nach Bodenart
6. Veränderungen im Tourismusverhalten	Übernachtungszahlen im Sommertourismus	Tourismus-Klima-Index	Index der touristischen und landschaftlichen Attraktivität alternativ: Tourismusintensität
	Nutzbarkeit von Wintersportinfrastruktur	Anzahl der Tage mit Schneefall-/bedeckung Eistage pro Jahr	Umfang der Infrastruktur für Wintersport
7. Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen	steigende Temperaturen und sinkendes Wasserdargebot	Temperaturzunahme Wasserdargebot	naturschutzfachlicher Wert der Landschaft potenziell störungsarme Freiflächen

* Oftmals können Sensitivitäten nicht unmittelbar durch geeignete Indikatoren abgebildet werden. Daher werden häufig sog. Proxy-Indikatoren verwendet, die den Sachverhalt zwar nur annähernd beschreiben, aber unmittelbar mit Daten belegt werden können.

Tab. 6: Datenressourcen im Screening-Prozess (eigene Zusammenstellung)

MKRO-Handlungsfeld	Faktor	Anbieter	Webadressen*
1. Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten	Klimasignal	LISFLOOD-Modell des Joint Research Center (JRC)	http://floods.jrc.ec.europa.eu/lisflood-model
	Klimasignal	DWD (KOSTRA – Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung)	www.dwd.de
	Sensitivität	KlimaMORO-Projekt klamis – Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen	www.moro-klamis.de
2. Küstenschutz	Klimasignal	KRIM-Projekt: Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste	www.krim.uni-bremen.de
3. Schutz der Berggebiete (insbesondere Alpenraum)	Klimasignal	Bayerische Plattform Naturgefahren: Web-GIS-Portal zu Naturgefahren in den bayerischen Berggebieten	www.naturgefahren.bayern.de
4. Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen	Klimasignal	Deutscher Klimatlas: Klimaatlas des Deutschen Wetterdienstes zu den wichtigsten Klimaparametern	http://deutscher-klimaatlas.de
5. Regionale Wasserknappheiten	Klimasignal	Europäische Umweltagentur (EEA), (Water exploitation index); Wasser-Nutzungsindex	www.eea.europa.eu
		Umweltbundesamt (Karten zur klimatischen Wasserbilanz 2010: 32ff)	www.umweltbundesamt.de
6. Veränderungen im Tourismusverhalten	Klimasignal	JRC (PESETA-Projekt: Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis)	http://ftp.jrc.es
	Sensitivität	Deutscher Tourismusverband (DTV): Medientdatenbank	www.deutschertourismusverband.de
7. Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen	Sensitivität	Veröffentlichung des BfN „Biologische Vielfalt und Klimawandel“	www.bfn.de

Die genannten Datenressourcen werden durch das Webtool an den relevanten Stellen direkt verlinkt. Über einen Aufruf der Hilfe-Funktion kann der Anwender Infoboxen öffnen, in denen neben kontext-bezogenen Information auch die etwaigen Links zur Verfügung gestellt werden.

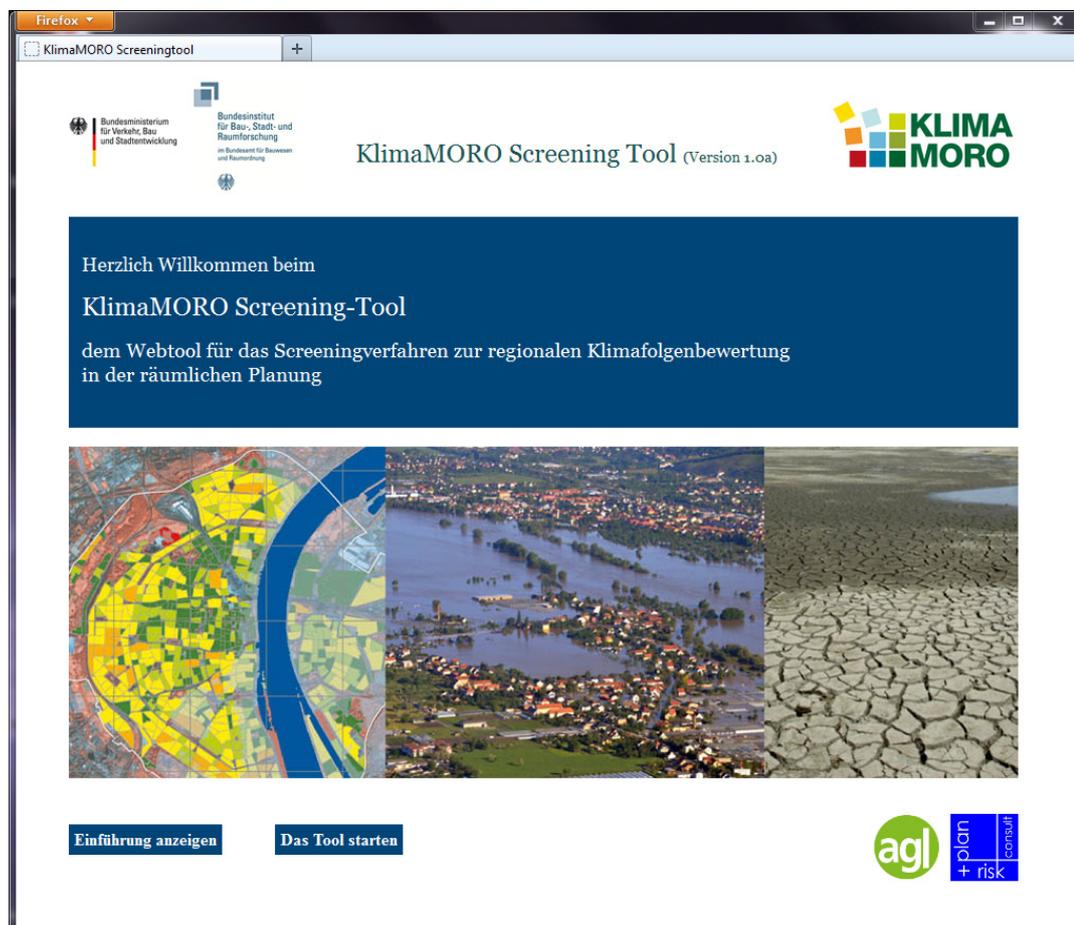
* im pdf hinterlegt; ausführlich nachzuschlagen in Kap. 8 Quellen und weitergehende Links

Entsprechend dem Vorgehen im Betroffenheitsmodul des Stadtklimalotsen wurden für jedes Handlungsfeld 1 bis 3 Teilbereiche für die Bewertung ausgewählt. Jeder Faktor wird dabei in einer dreistufigen Skala (0 für gering bzw. nicht vorhanden, 1 für mittlere Ausprägung, 2 für starke Ausprägung) abgebildet und zwar in Form kurzer, erläuternder Textpassagen in den Spalten „Ausprägung des Klimasignals“ bzw. „Ausprägung der Sensitivität“. Verknüpft werden die Ausprägungen des Klimasignals und der Sensitivität über eine Multiplikation der Zahlenwerte für die dreistufige Skala, wodurch sich Betroffenheitswerte zwischen 0 und 4 ergeben können.

Tab. 7: Bewertungsmatrix im Screeningverfahren (Beispiel) (eigene Darstellung)

Handlungs- feld A	Faktoren		Betroffen- heit Hand- lungsfeld A
	Klimasignal (Status quo)	Sensitivität (Status quo)	
Teil- bereich 1	0	0	4
	1	1	
	2	2	
Teil- bereich 2	0	0	0
	1	1	
	2	2	
Teil- bereich 3	0	0	1
	1	1	
	2	2	

Abb. 16: Startseite des Webtools für das Screeningverfahren (www.klimastadtraum.de)



4.3 Wie funktioniert das Webtool?

Beim Erstaufwurf des Webtools erscheint zunächst die Startseite, die einführende Informationen bereitstellt und dem Anwender das Screeningverfahren und die Arbeitsweise des Webtools kurz erläutert. Des Weiteren kann der Anwender bereits hier erste Eingaben vornehmen, die jedoch nicht obligatorisch sind (Region/Teilraum, Name, Institution/Abteilung, zu betrachtende Handlungsfelder). Die Auswahl der zu betrachtenden Handlungsfelder ermöglicht dabei die Beschränkung auf diejenigen Aspekte, die in der betreffenden Region tatsächlich relevant sind bzw. im Zuge des Screenings betrachtet werden sollen.

Sind die Ersteingaben gemacht, beginnt der Screeningprozess. Dabei wird zunächst über einen Online-Fragebogen jeweils die Ausprägung der Faktoren Klima und der Sensitivität zu den verschiedenen Teilaspekten in Anlehnung

an die MKRO-Handlungsfelder abgefragt. Zudem kann der Anwender markieren, an welchen Stellen zukünftig mit einer Veränderung zu rechnen ist. Die Benutzeroberfläche des Screening-Tools orientiert sich dabei an dem im Rahmen des Stadtklimalotsen bewährten Schemas des tabellarischen Online-Fragebogens und stellt jeweils Klimasignale und zugehörige Sensitivitätsfaktoren zur Bewertung durch den Nutzer nebeneinander. Der Benutzer kann mit Hilfe von Checkboxes seine Eingaben vornehmen.

Abb. 17: Online-Fragebogen und Infoboxen des Screening-Tools (www.klimastadtraum.de)



KlimaMORO Screening Tool (Version 1.0a)

MKRO-Handlungsfeld: Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten

Faktor	Ausprägung des Klimasignals (Status Quo)	Ausprägung der Sensitivität (Status Quo)
Frequenz und Magnitude von Flusshochwasser ⓘ	<input type="radio"/> keine oder keine raumrelevanten Überschwemmungsgebiete bzw. künftig nicht in Gefahrenkarten festgesetzt (unter 5 ha pro Gebiet) ⓘ <input checked="" type="radio"/> Überschwemmungsgebiete bis 50 ha festgesetzt bzw. künftig Gegenstand einer Gefahrenkarte (bis 5%) <input type="radio"/> Überschwemmungsgebiete über 50 ha festgesetzt bzw. Gegenstand von Gefahrenkarten, die zudem in der Regel auch Hochwasser hoher Wahrscheinlichkeit enthalten (über 5%)	<input type="radio"/> keine oder keine raumordnerisch relevante Größe von Siedlungs- oder Verkehrsflächen gefährdet (unter 5 ha); keine kritischen Infrastrukturen vorhanden <input type="radio"/> raumordnerisch relevante Größe an Siedlungs- oder Verkehrsflächen gefährdet (5-50 ha); kritische Infrastrukturen vorhanden <input type="radio"/> hoher Anteil gefährdeter Siedlungs- oder Verkehrsflächen (über 50 ha); kritische Infrastrukturen vorhanden
Frequenz und Magnitude von Sturzfluten ⓘ	<input type="radio"/> unter 60 mm Niederschlag für D = 24 h (1 Tag) und die Jährlichkeit T = 100 a ⓘ <input type="radio"/> 60 bis unter 100 mm Niederschlag für D = 24 h (1 Tag) und die Jährlichkeit T = 100 a <input type="radio"/> über 100 mm Niederschlag für D = 24 h (1 Tag) und die Jährlichkeit T = 100 a	<input checked="" type="radio"/> Größe der reliefbedingten Abflussbahnen unter 5 ha ⓘ <input type="radio"/> keine Siedlungsfläche unter 5 ha / Infrastruktur betroffen <input type="radio"/> Größe der reliefbedingten Abflussbahnen 5-20 ha <input type="radio"/> Siedlungsflächen über 5 ha betroffen <input type="radio"/> Größe der reliefbedingten Abflussbahnen über 20 ha <input type="radio"/> Siedlungsflächen über 5 ha und kritische Infrastruktur betroffen

Einschätzung und Interpretation des Klimawandelsignals für das Handlungsfeld

Es ist zukünftig eine Verstärkung der Betroffenheiten zu erwarten bzw. es werden neue Betroffenheiten generiert.

<< zurück Fortschritt: Start 1 2 3 4 5 6 7 Ergebnis

Im Bewertungsprozess wird der Anwender über entsprechende Hyperlinks mit Hilfestellungen unterstützt, die in Form von Infoboxen und Quellenangaben die ggf. erforderliche Informationsrecherche erleichtern sollen. V.a. die Dienste des DWD (z.B. WESTE und Deutscher Klimaatlas) bieten sich zur schnellen Recherche der Klimaparameter an.

Nach Abschluss des Screeningvorgangs wird der „Steckbrief regionale Klimabetroffenheit“ generiert. Dies erfolgt auf Basis der vorgenommenen Eingaben und auf Grundlage

der definierten Verknüpfungsregeln. Der Regionalsteckbrief stellt die Eingaben des Benutzers in den verschiedenen Handlungsfeldern und das daraus resultierende regionale Betroffenheitsprofil in grafischer Form übersichtlich dar. Der Anwender kann auf dieser Grundlage einschätzen, welche Handlungsfelder bzw. welche „ermittelten Belange“ in der Planungsregion relevant sind. Für diese Handlungsfelder ist dann im Rahmen des Referenzverfahrens eine detaillierte, räumlich differenzierte Bewertung vorzunehmen.

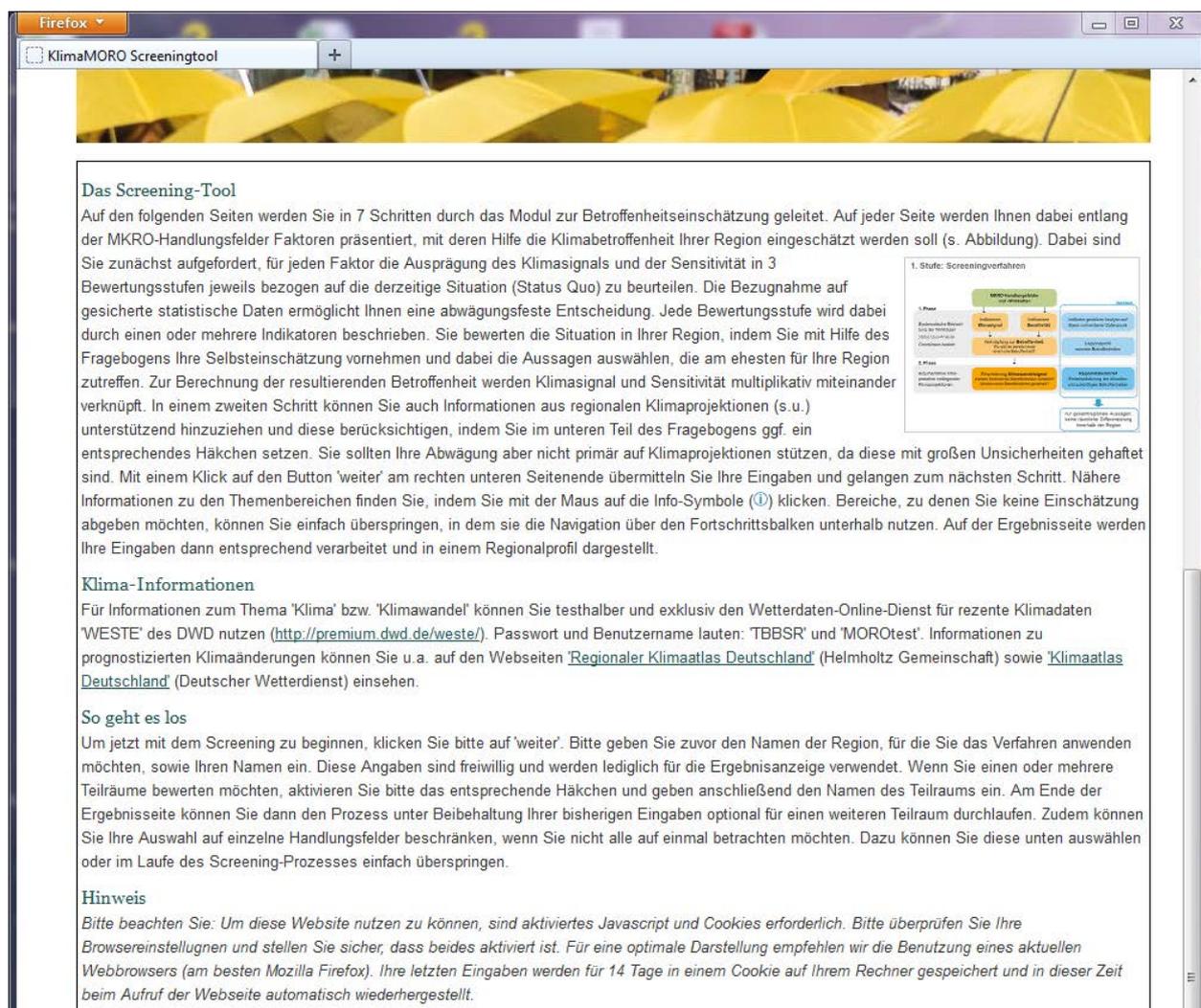


Abb. 18: Auf der Startseite des Webtools wird der Benutzer ausführlich in die Benutzung und Funktionsweise der Anwendung eingewiesen. Hier werden zudem Region (ggf. Teilraum) und Name sowie Handlungsfelder abgefragt. (www.klimastadtraum.de)

Praxistest des Webtools

Das Tool wurde in der Entwicklungsphase einem Praxistest durch drei Modellregionen (Düsseldorf, Emsland und Magdeburg) unterzogen. Diese waren aufgefordert, das Screeningtool prototypisch für ihre Region anzuwenden. Das Feedback aus dem Praxistest wurde im Rahmen eines Workshops weitergegeben: Hier hatten die regionalen Testanwender Gelegenheit, ihre Verbesserungsvorschläge vorzubringen. Die Rückmeldungen dienten der Weiterentwicklung des Tools.

Das Webtool im Internet

www.plan-risk-consult.de/KlimaMORO/

www.klimastadtraum.de

www.klimamoro.de

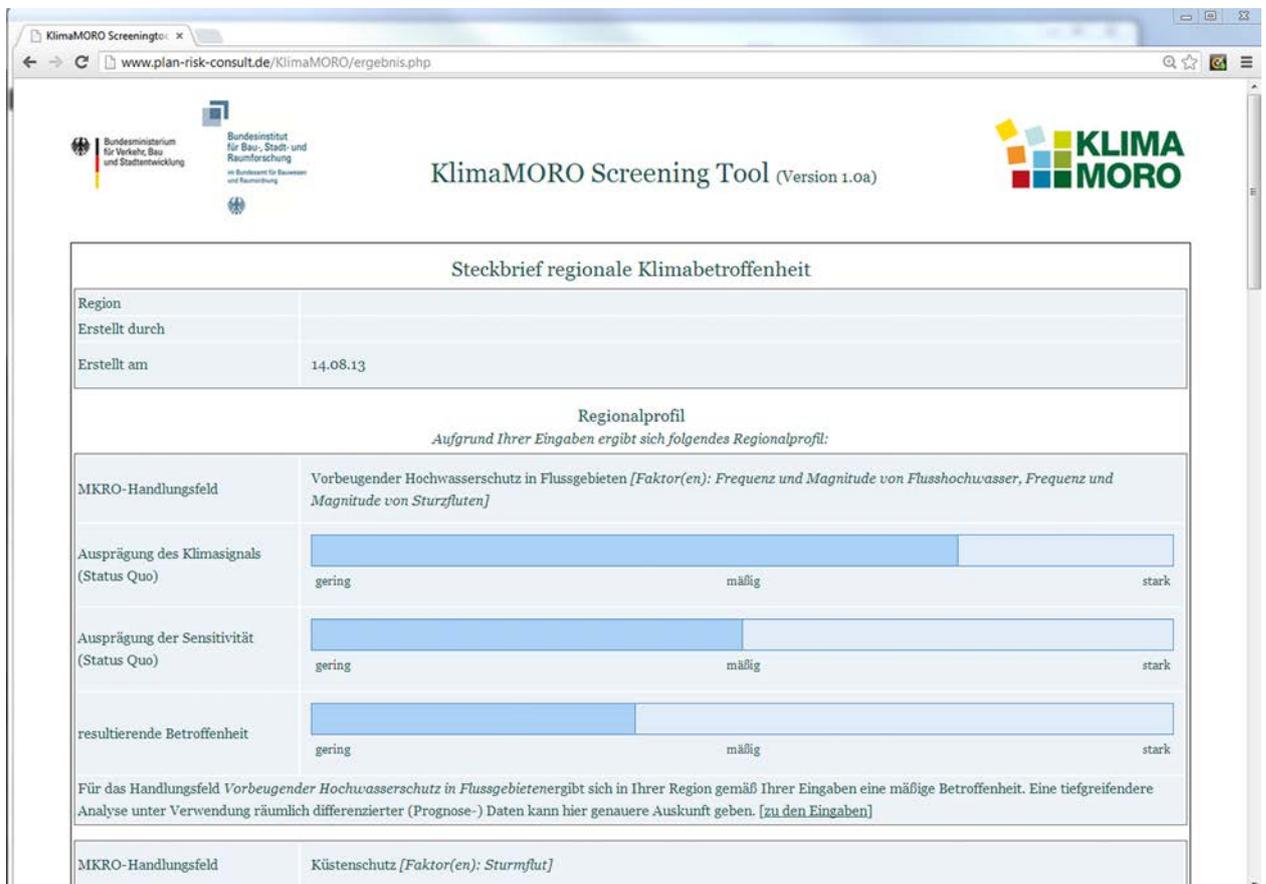


Abb. 19: Steckbrief regionale Klima(wandel)betroffenheit (www.klimastadtraum.de)

5. Referenzverfahren

5.1 Was sollen die Referenzverfahren leisten?

Die Referenzverfahren zielen darauf ab, die Klimafolgen in der Region für die Handlungsfelder der Regionalplanung räumlich und sachlich differenziert darzustellen. Wie im Screeningverfahren geht es darum, aktuelle Betroffenheiten aufzuzeigen und über eine Interpretation der Klimawandelsignale zu klären, inwieweit sich die Betroffenheiten verstärken bzw. neue Betroffenheiten auftreten können.

Da diese Verfahren zur Abschätzung von Betroffenheiten und Klimawandelfolgen auf der Ebene der formalen Regionalplanung dienen sollen, wird auch hier, vergleichbar dem Screeningverfahren, ein zweistufiger Ansatz vorgeschlagen. In einer ersten Phase erfolgt eine systematische und GIS-basierte Analyse aktueller Betroffenheiten. Grundlage sind in diesem Ansatz Daten zur Abschätzung des gegenwärtigen Klimasignals sowie Daten zur aktuellen Sensitivität innerhalb der Region. Damit wird eine Basis für die

abwägungsfeste Ausgestaltung der raumordnerischen Instrumente geschaffen. Im Anschluss daran gehen regionale Klimaprojektionen mit ihrer allgemeinen Trendaussage in Begründung und Abwägung, nicht jedoch in die kleinräumig differenzierte Betroffenheitsanalyse ein.

Eine spezifisch regionalplanerische Auseinandersetzung mit Klima(wandel)betroffenheit sollte vor allem das profunde Wissen über die Raum- und Siedlungsstrukturen der Region in den Vordergrund der Betrachtung stellen, um auf dieser Grundlage abwägungssichere Festlegungen treffen zu können. Insbesondere wenn diese Festlegungen auf Status quo-Analysen und No-Regret-Ansätzen basieren, kommt der Unsicherheit in den Modellen keine Bedeutung mehr zu, da diese Festlegungen bereits unter heutigen klimatischen Bedingungen sinnvoll sind (z.B. Freihaltung von Luftleitbahnen). Dabei sollten ausdrücklich Erfahrungen aus der Vergangenheit (Hitzewelle 2003, lokale Starkregenereignisse) zusammen mit regionalklimatischen Beobachtungsdaten mit einbezogen werden, um Betroffenheitsräume abzugrenzen.



5.2 Wie lässt sich das Referenzverfahren operationalisieren?

Die in diesem Kapitel zu den verschiedenen MKRO-Handlungsfeldern vorgestellten Referenzverfahren folgen grundsätzlich der gleichen Logik wie das Screeningverfahren und somit einem zweistufigen Ansatz:

Die **erste Phase** beruht im Kern auf einem GIS-gestützten Verfahren zur räumlich und sachlich differenzierten Darstellung rezenter Betroffenheiten. Im Ergebnis dieser ersten Phase können **rechtssichere Gebietsabgrenzungen** als Grundlage für regionalplanerische Darstellungen abgeleitet werden, da diese bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt einen Handlungsbedarf darstellen. Zentraler Analyseschritt ist die Verknüpfung von Klimasignal- und Sensitivitätsdaten zur Ermittlung betroffener Bereiche innerhalb einer Region:

- **Klimasignal:** Zur Beurteilung der Exposition werden rezente (d.h. in der Vergangenheit gemessene) Klimadaten benötigt, die einerseits durch den DWD bereitgestellt, aber auch über eigene regionale Beobachtungsreihen ergänzt werden können.
- **Sensitivität:** Für die sieben MKRO-Handlungsfelder werden zunächst die Zusammenhänge zwischen Klimasignal, Sensitivität und den Auswirkungen bzw. Betroffenheiten in Form von Wirkketten dargestellt, um zu verdeutlichen, worin die wesentlichen Zusammenhänge bestehen und wie diese (über geeignete Indikatoren) abgebildet werden können. Ursache-Wirkzusammenhänge und Sensitivitäten werden somit spezifisch für eine Region und ein Handlungsfeld dargestellt. Benötigt werden in erster Linie regionale Status quo-Daten zu Raumstruktur, Flächennutzungen und sozioökonomischen Faktoren.
- **Betroffenheit:** Die Aussagen zu den Betroffenheiten lassen sich – entsprechend dem Vorgehen beim Screeningverfahren – aus einer Verknüpfung der Klima-

signal- bzw. Sensitivitätswerte. Dies kann Schritt für Schritt über GIS-Analysen bzw. unmittelbar über die Einspeisung von Klimasignal- und Sensitivitätsdaten in Wirkmodelle ableiten. **Dabei ergeben sich aus der Ermittlung betroffener Bereiche innerhalb einer Region nicht zwangsläufig die für die regionalplanerische Steuerung relevanten Gebiete. Vielmehr besteht die Funktion der Ermittlung betroffener Gebiete darin, den Begründungszusammenhang für die relevanten regionalplanerischen Darstellungen herzustellen.** So lässt sich beispielsweise alleine aus der Ermittlung der von sommerlicher Hitze besonders betroffenen Bereiche noch keine regionalplanerische Festlegung zu klimatischen Ausgleichsräumen ableiten. Hier bedarf es zunächst der Bestimmung der Klimarelevanz der Freiräume und des funktionalen Zusammenspiels der Freiraumfunktionen mit dem durch Hitzebelastung betroffenen Raum. Über die Betroffenheitsanalyse der Klimafolgenbewertung hinaus sind also weitere Planungsschritte erforderlich, um zu einer Flächenkulisse für die regionalplanerische Steuerung zu gelangen.

In der **zweiten Phase** werden ergänzend allgemeine Klimawandelsignale (u.a. Klimaprojektionsdaten des DWD für zukünftige Perioden) in die Bewertung einbezogen, als Argumentationshilfe zur Begründung raumordnerischer Festlegungen im Sinne von No-Regret- oder Safety-Margin-Strategien. Um etwa dem Belang „Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen“ in der Abwägung ein erhöhtes Gewicht zu verleihen, ist es nicht erforderlich, die Zunahme der Anzahl der Tropennächte präzise, d.h. nicht nur in Bandbreiten, beziffern zu können (was die Klimamodelle ohnehin nicht zulassen), sondern es reicht die Aussage aus, dass mit sehr großer Wahrscheinlichkeit eine Zunahme zu erwarten ist, um dann auf Grundlage der rezenten Daten raumordnerische Festlegungen treffen zu können. Die Ergebnisse der zweiten Phase sind jedoch nicht dazu geeignet, die Rechtssicherheit von regionalplanerischen Darstellungen zu erhöhen. Sie können jedoch sehr wohl dazu dienen, Entscheidungen, die einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel leisten, **besser zu begründen und ihnen in der Abwägung einen höheren Stellenwert einzuräumen.**

Im Rahmen des Referenzverfahrens werden im Gegensatz zum Screeningverfahren keine konkreten Vorgaben für Indikatoren gemacht oder ein den Regionalsteckbriefen vergleichbares Tool entwickelt, da die räumliche Spezifizierung den Einsatz eines GIS bzw. von Wirkmodellen erfordert und nur von den Akteuren in der Region geleistet werden kann. Zudem führen spezifische regionale Betroffenheiten dazu, die im Screeningverfahren verwendeten Wirkketten zu differenzieren oder zu komplettieren. Dabei wird auch – in Abhängigkeit vom Handlungsfeld und der regionalen Verfügbarkeit – auf unterschiedliche Datenpools zurückgegriffen. Ein standardisiertes, bundesweit gültiges Verfahren ist deshalb weder machbar noch sinnvoll. Gleichwohl werden für die Referenzverfahren Mindeststandards bzw. Mindestanforderungen in methodischer und datenbezogener Hinsicht formuliert.

Von entscheidender Bedeutung sind für die Akteure der Regionalplanung daher folgende Informationen für die jeweiligen MKRO-Handlungsfelder:

- **Regelungsbedarf der Regionalplanung:** Vonseiten der MKRO sind die wesentlichen Handlungsfelder der Regionalplanung bei der Anpassung an den Klimawandel formuliert worden. In diesen Handlungsfeldern stehen der Regionalplanung sehr unterschiedliche Regelungsmöglichkeiten zur Verfügung. Zum Teil wirken die Instrumente der Regionalplanung direkt auf die Handlungsfelder (z.B. Begrenzung der Siedlungsentwicklung in thermisch ungünstigen Bereichen), zum Teil ist dies jedoch indirekter Natur (z.B. Schutz von Freiflächen zur Erhaltung der Klimafunktionen).
- **Zusammenarbeit mit anderen Planungen** (Bauleitplanung und Fachplanungen): Neben der Abstimmung mit der Bauleitplanung besteht bei den Handlungsfeldern die Notwendigkeit, sich seitens der Regionalplanung mit anderen Fachplanungen abzustimmen. Dies betrifft einerseits die instrumentelle Ebene, andererseits aber auch die Frage nach geeigneten Daten. Da gerade die Datengenerierung ein zentrales Problem darstellt, kommt hier der Zuarbeit anderer Fachressorts eine entscheidende Bedeutung zu. Aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweisen der Fachplanungen kann bzw. muss die Regionalplanung teilweise auf Datensätze zurückgreifen, die bereits aggregierte Aussagen und Bewertungen zu spezifischen Aspekten vornehmen. Dies sind in aller Regel Modellierungen, beispielsweise der Wasserwirtschaft.
- **Methodischer Grundansatz und erforderliche Daten:** Im Mittelpunkt stehen die Darstellung des methodischen Grundansatzes der Klimafolgenbewertung im jeweiligen Handlungsfeld sowie die Einordnung der Ergebnisse in den regionalplanerischen Handlungsrahmen. Im Kern geht es um die Frage, welche Flächenkulissen die Klimafolgenbewertungen liefern und wie diese im Rahmen der Regionalplanung zur Ausgestaltung der Instrumente herangezogen werden können. Hierzu schließen sich oftmals weitere Bearbeitungsschritte an. Aufgrund der Vielfalt und Komplexität der räumlichen Auswirkungen des Klimawandels ist zudem eine strikte Fokussierung auf die regionalplanerischen Bedarfe unabdingbar. Selbst unter dieser Prämisse ist eine erschöpfende Behandlung der vielfältigen Aspekte kaum möglich. Darüber hinaus wird formuliert, welche Mindestanforderungen an die zu verwendenden Daten bestehen, um belastbare Aussagen für die formale Regionalplanung treffen zu können. In erster Linie sind dies rezente Klimasignal- und Sensitivitätsdaten, da sich diese auf bereits beobachtete und gemessene Zusammenhänge zwischen dem Klima und dessen Auswirkungen beziehen. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse aus Klimamodellrechnungen, die sich auf Annahmen (Szenarien, mögliche Zukünfte) stützen. Es wird versucht, für jedes Handlungsfeld Kernindikatoren zu bestimmen, die die rezenten Wirkzusammenhänge auf regionaler Ebene angemessen abbilden.
- **Gute Praxisbeispiele:** Für die Handlungsfelder werden gute, hauptsächlich in früheren Modellvorhaben (z.B. KlimaMORO) entwickelte und erprobte Beispiele ausgewählt und in ihren wesentlichen Analyseschritten skizziert. Dabei geht es in erster Linie darum, die Ergebnisse dieser Ansätze darzustellen, um einen Überblick über die Bandbreite der Produkte derartiger Analysen zu erhalten. Dies soll die Wahl geeigneter Verfahren in der Planungspraxis und einen Einstieg in die Umsetzung erleichtern.

Grundsätzliche methodische Hinweise

1. Hinweise zur Operationalisierung auf der Basis numerischer Modelle bzw. GIS-basierter Analysen

Klimafolgenbewertungen werden in den unterschiedlichen Handlungsfeldern mit einer Vielzahl von Methoden durchgeführt. Häufig werden numerische Modelle und GIS-Analysen für die Analyse der Betroffenheit verwendet. Daher werden an dieser Stelle einige grundsätzliche Hinweise zur Anwendung methodischer Bausteine gegeben, die über alle Handlungsfelder der Klimafolgenbewertung in der Regionalplanung hinaus Bedeutung besitzen und bei der Entscheidung für die eigene Operationalisierung der Klimafolgenbewertung helfen sollen.

Numerische Modelle bilden Repräsentationen von funktionalen Zusammenhängen und Prozessen über Algorithmen ab, die auch räumlich verortet werden können. So berechnen beispielsweise Wasserhaushaltsmodelle die Grundwasserneubildung für ein bestimmtes Planungsgebiet, u.a. abhängig von der Ausprägung des Raums und den klimatischen, bodenkundlichen und geologischen Randbedingungen. Der Raum wird dabei als dreidimensionales Gitter mit einzelnen Gitterzellen dargestellt, die als Rechengitter numerische Berechnungen von (physikalischen) Prozessen wie z.B. Grundwasserneubildung aus Niederschlags- und Abflussdaten erlauben. Ähnliches gilt für die hydrologischen Modelle zur Bestimmung des Oberflächenabflusses bzw. für hydraulische Modelle zur Berechnung von Überschwemmungen. Die Berücksichtigung der räumlichen und der zeitlichen Dimension bei der Prozessbildung ermöglicht eine dynamische Betrachtung der Zusammenhänge. Die Güte und die Genauigkeit des Modells sind neben dem Algorithmus davon abhängig, wie die Raumaufteilung in Gitternetzelemente (Diskretisierung) erfolgt (Neuß/Dörhöfer 2009: 4; Eckl/Raissi 2009; s. Abb. 20, 21).

Die Validität des Modells, d.h. die inhaltliche Gültigkeit, muss gegeben sein und aus den Messdaten vor Ort abgeleitet werden können. Zu beachten ist dabei, dass die Simulationsmodelle immer auf die Planungsräume angepasst (kalibriert) werden müssen. Daher eignen sich oftmals die von den zuständigen regionalen Fachplanungen verwendeten Modelle am besten, die regionalen Verhältnisse abzubilden. In jedem Falle sollte die Fachplanung bei einer potenziellen Auftragsvergabe eingebunden werden, um die Qualität der Modellergebnisse zu gewährleisten.

Viele numerische Modelle, insbesondere aus dem Bereich der Hydrologie, sind zudem GIS-gestützt, um die über die Gitternetze berechneten physikalischen Prozesse in Rauminformationen zu überführen.

Die Repräsentation räumlicher Daten in **Geographischen Informationssystemen** basiert auf der Verknüpfung von Raumeinheiten mit bestimmten Merkmalen (Rauminformationen). Dies können einfache

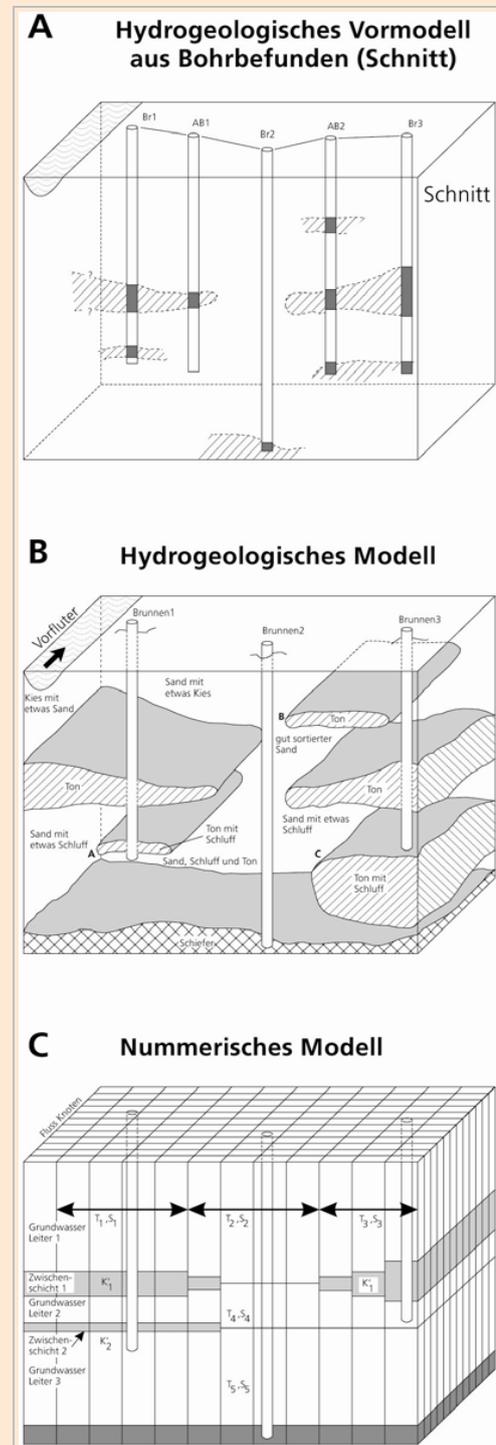


Abb. 20: Modelldiskretisierung am Beispiel eines hydrogeologischen Modells (Neuß/Dörhöfer 2009: 4, ergänzt nach Anderson/Woessner 1992; © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)

Informationsüberlagerungen, multikriterielle Verknüpfungen oder mathematisch-logische Operationen sein. Numerische Simulationen von physikalischen Prozessen können jedoch nicht durchgeführt werden. Daher können dynamische Aspekte nur unzureichend mit Hilfe von GIS-Analysen simuliert werden. Gleichwohl können jedoch Ergebnisse aus numerischen Modellen in GIS-Systeme eingespeist und weiterverarbeitet werden. Die weite Verbreitung Geographischer Informationssysteme für räumliche Analysen großer Datenpools sprechen für den Einsatz von GIS-Systemen bei der Klimafolgenanalyse und -bewertung in der räumlichen Planung. Allerdings ist es oftmals eine Frage der Datenqualität und -verfügbarkeit, ob sich die Modellergebnisse zur Ermittlung der Klimafolgenbetroffenheit eignen: Wie gut wird eine Gebietseinheit durch einzelne Messdaten abgebildet? In Kap. 5.3.5 wird an zwei Beispielen aufgezeigt, wie auf der Grundlage von Wirkmodellen zu Grundwasser- und Bodenwasserhaushaltsmodellen bzw. in GIS-basierten Ansätzen die Zuordnung von Raummerkmalen (z.B. Niederschlagswerte einzelner Klimastationen) und Raumeinheiten über Kategorisierung (interpretatorische Zuweisung von Gebietseinheiten zu Einzelmesswerten) bzw. über aufwändige Interpolationsverfahren gelingt.

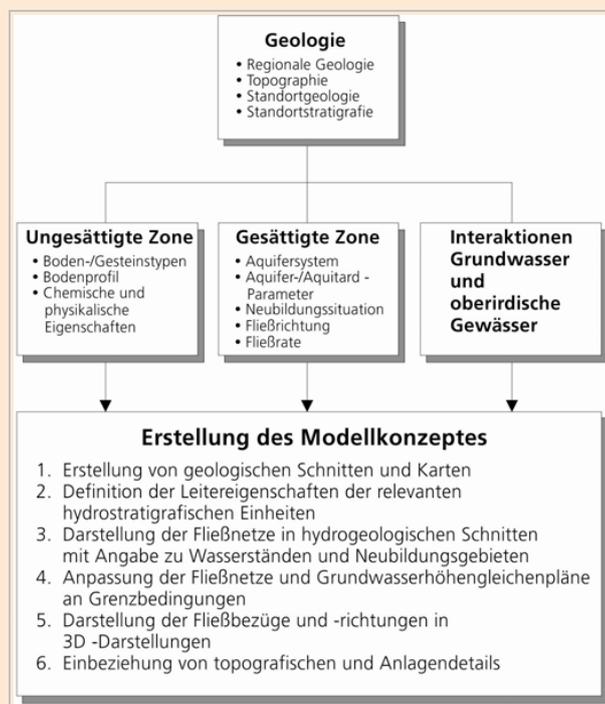


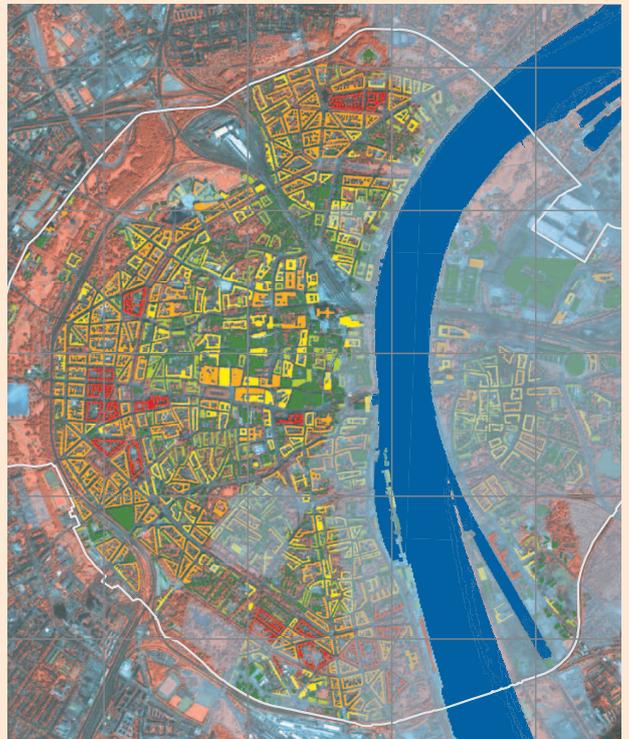
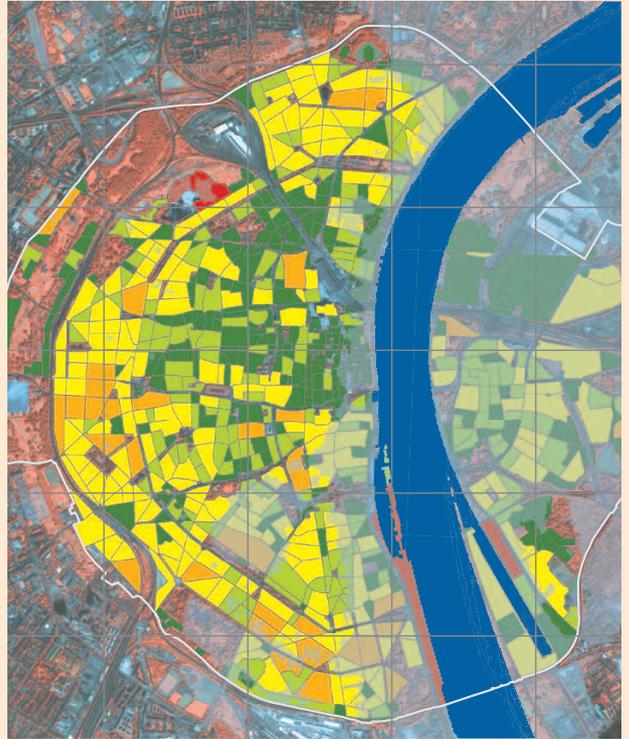
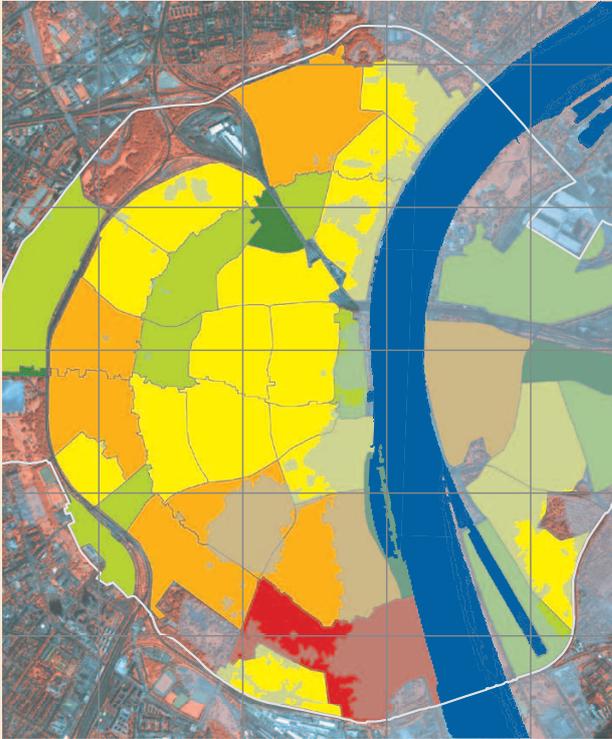
Abb. 21: Prozess der Entwicklung des hydrogeologischen Modells (Neuß/Dörhöfer 2009: 2, umgezeichnet nach Sara 1993; © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)

2. Problem und Ansatz zur Datenaggregation

Die Aussagefähigkeit und Lesbarkeit von Klimafolgenanalysen ist stark vom Grad der Datenaggregation (Verringerung der räumlichen Auflösung von spezifischen Daten durch Zusammenführung) bzw. Disaggregation (Verbesserung der räumlichen Auflösung von generalisierten Daten) abhängig. Die Effekte unterschiedlicher räumlicher Betroffenheit zeigt die Darstellung der Hochwasserbetroffenheit der Bevölkerung in Köln in Abhängigkeit der Detaillierung räumlicher Bezüge (Stadtviertel, ATKIS-Blöcke, Hausebene), wodurch sich bei gleicher Datenausgangslage unterschiedliche Betroffenheitsmuster ergeben. (s. Abb. 22)

Ein weiteres grundsätzliches Problem besteht in der Verknüpfung (Aggregation) von Einzelaussagen, mit dem Ziel, zusammenfassende Gesamtaussagen treffen zu können. Dies lässt sich beispielhaft für den Bereich Gesundheit in der Vulnerabilitätsanalyse für Stuttgart zeigen (Weis/Siedentop/Minnich 2011). Dort widmet Minnich (2010) der Auswahl und Begründbarkeit der eingesetzten Aggregationsalgorithmen, mit denen die zahlreichen Einzelindikatoren zu einer zusammenfassenden Vulnerabilitätsbewertung zusammengefasst wurden, große Aufmerksamkeit.

Eine übliche Form der Zusammenführung verschiedener Indikatoren im Rahmen von Vulnerabilitätsanalysen ist deren additive Verknüpfung, bei der oft nicht begründete Gewichtungen einzelner Indikatoren vorgenommen werden – und selbst die Gleichgewichtung ist letztlich eine ebensolche in der Regel nicht zu begründende Form der Gewichtung. Nach Weis/Siedentop/Minnich (2011: 92) besteht eine Schwäche dieser Vorgehensweise darin, dass sie eine Substitutivität von Systemmerkmalen voraussetzt oder zumindest aus pragmatischen Gründen in Kauf nimmt. Dies hat zur Folge, dass es zu einer „Verrechnung“ von Eigenschaften kommen kann, wodurch die realen Zusammenhänge in einem klimasensitiven System nur unzureichend abgebildet werden. Ein Nachteil dieses Ansatzes liegt somit im grundsätzlichen Zweifel an der Validität der Ergebnisse. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass sie den Charakter einer „black box“ mit nur einem Endergebnis haben und somit für Entscheidungsträger, die Öffentlichkeit usw. auf regionaler und kommunaler Ebene kaum nachvollziehbar sind (Weis/Siedentop/Minnich 2011: 92). Um die realen Zusammenhänge eines klimasensitiven Systems adäquat im Bewertungsmodell abzubilden, lassen Weis/Siedentop/Minnich (2011: 92) in ihrem Ansatz – je nach den jeweils abzubildenden Interaktionen – verschiedene Methoden der multikriteriellen Bewertung und räumlichen Analyse zum Einsatz kommen: Das Spektrum reicht von logischen Verknüpfungen und Bewertungsmatrizen bis hin zu Pareto-Rankings und dem Einsatz komplexer Algorithmen der räumlichen Modellierung. Das Verfahren liefert somit, neben einer Gesamteinschätzung der Verwundbarkeit gegenüber Wärmebelastung, zusätzliche Ergebnisse zu speziellen Teilaspekten, die für die Regionalplanung von Bedeutung sind, da die Ergebnisse von Teilmodellen wie der Darstellung der zukünftigen Wärmebelastung oder der Grünflächenreichbarkeit jederzeit verwendet werden können.



- Innenstadt
- Rhein
- extremes Hochwasser

- Bevölkerung Stadtviertel
- mehr als 10000
 - 5000 bis 10000
 - 2000 bis unter 5000
 - 1000 bis unter 2000
 - weniger als 1000

Abb. 22: Hochwasserbetroffenheit der Bevölkerung in Köln in Abhängigkeit der räumlichen Auflösung (BBK 2011: 562, 558, 554, verändert)

3. Regionale Klimamodelle und Regionalisierung von Daten

Regionale Klimamodelle dienen dazu, die Ergebnisse globaler Klimamodelle mit einer räumlichen Auflösung von ca. 100 x 200 km auf ein kleineres Rechengitter und damit einer verbesserten räumlichen Auflösung neu zu berechnen. Regionale Klimaeinflüsse können so in die Modellierung integriert und differenziertere Ergebnisse berechnet werden (Website Climate Service Center).

Statistische Regionalmodelle wie WETTREG 2010 basieren auf gemessenen Klimastationsdaten als Ausdruck des großräumigen sowie des lokalen Klima- und Wettergeschehens. Aktuelle Daten und Daten aus der Vergangenheit werden genutzt, um ein flächendeckendes Bild des aktuellen Klimageschehens abzubilden. Unter der Annahme gleichbleibender physikalischer und statistischer Zusammenhänge werden Klimaprojektionen als Szenarien für die zukünftige Entwicklung im regionalen Maßstab berechnet (Website Climate Service Center).

Dynamische Klimamodelle sind numerische Modelle mit einer deutlich kleinräumigeren Gitterauflösung als globale Modelle. Das in Deutschland häufig genutzte CLM-Modell besitzt eine Auflösung von 16 x 18 km Maschenweite. Mit dynamischen Modellen werden unter vorgegebenen Randbedingungen physikalische Prozesse berechnet, so u.a. für Temperatur, Niederschlag, Strahlung und Wind. Die Randbedingungen sind dabei u.a. durch regionale Parameter wie Land-See-Verteilung, Höhe, Boden oder Vegetation in Form von „Bodenbibliotheken“ geprägt. Mit dynamischen Modellen können so im Gegensatz zu statistischen Modellen auch Veränderungen in den Zusammenhängen physikalischer Prozesse variiert werden (Website Climate Service Center).

Statistische Modelle wie WETTREG 2010 oder STAR 2 zeigen somit eher Trends der Klimaentwicklung auf: Wie wird sich das Klima voraussichtlich unter gleichbleibenden Randbedingungen entwickeln? Dynamische Modelle bieten mehr Spielraum für Szenarien: Wie könnte sich das Klima unter veränderten Randbedingungen entwickeln?

Um die Bandbreiten möglicher Klimaänderungen darzulegen, werden auf allen Ebenen der Klimamodellierungen unterschiedliche Modelle eingesetzt, die wiederum mit verschiedenen Randbedingungen mehrere Szenarien der möglichen Entwicklung beschreiben. **Multimodell-Ensembles** beschreiben dabei die Bandbreite der Ergebnisse vieler Klimamodelldurchläufe mehrerer Klimamodelle. Die Ergebnisse

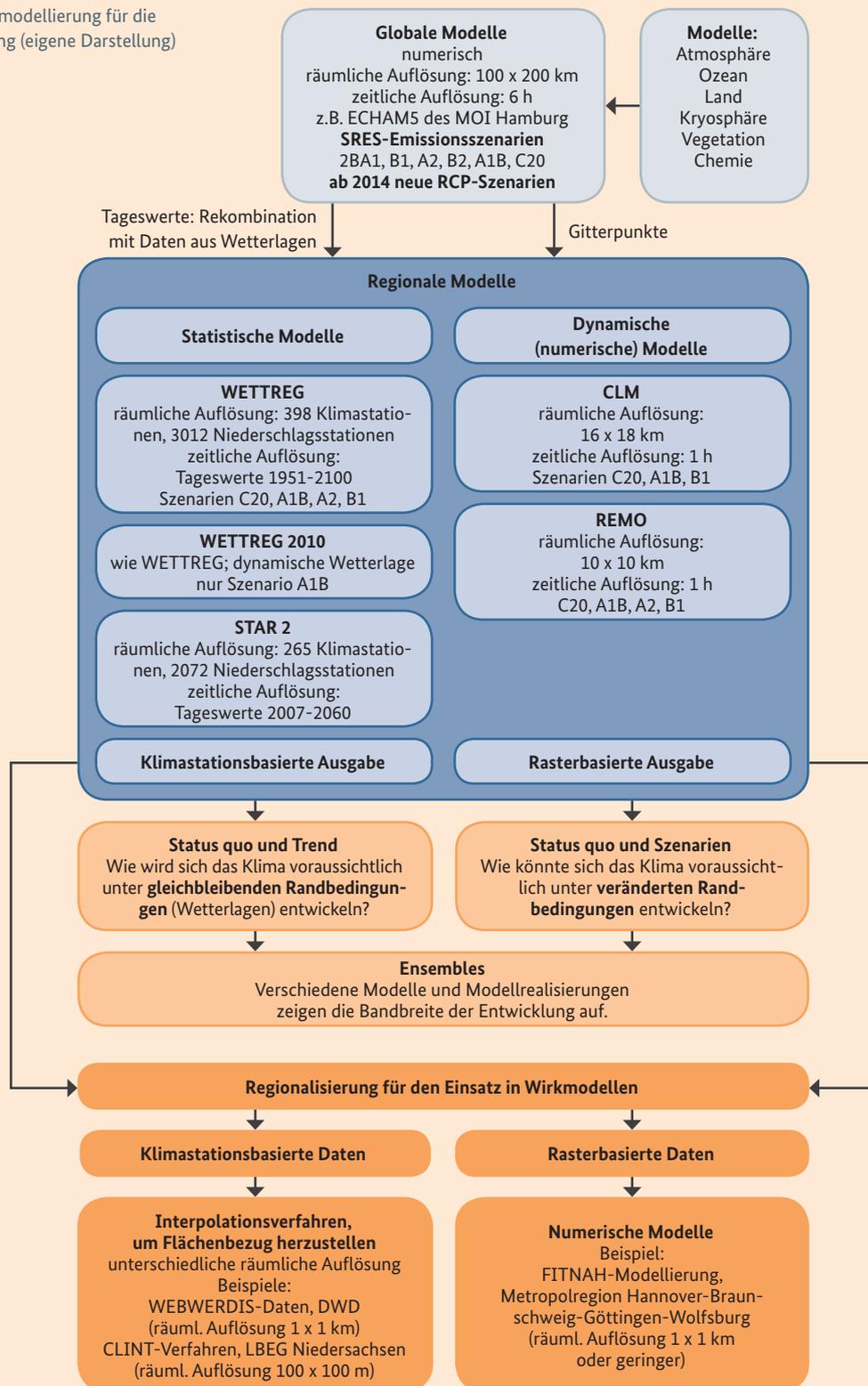
werden wie beim Deutschen Klimaatlas des DWD dann meist als Perzentilwerte angegeben. So beschreibt der 15%-Perzentil für die Temperaturveränderung von 2°C, dass nur 15% aller Modellergebnisse einen Wert niedriger als 2°C und 85% aller Modellläufe einen höheren Wert berechnet haben (Website DWD).

Die räumliche Auflösung der Regionalmodelle ist jedoch immer noch so grob, dass eine weitere **Regionalisierung** erforderlich ist, um auf der Ebene der Regionalplanung zu differenzierten räumlichen Aussagen zu kommen. Ein entscheidender Faktor für die Genauigkeit der Analysen in der Klimafolgenbewertung ist deshalb die Regionalisierung von Daten. Das gilt für die Klimaparameter, aber auch für Informationen zur Sensitivität. (s. Abb. 23)

Für die Klimaparameter wird dies an zwei Beispielen aus Niedersachsen verdeutlicht: Für die Verarbeitung von Klimaparametern in einem Bodenwasserhaushaltsmodell zur Bestimmung der Austrocknungsgefährdung landwirtschaftlicher Böden wurden die relevanten Klimaparameter aus den Klimastationen des DWD abgeleitet (s. Kap. 5.3.5). Die ermittelten Messdaten der Klimastationen sind punktuell erhoben und gelten zunächst nur für die Bereiche um die Klimastation mit gleichen Randbedingungen wie Höhenlage oder Exposition. Je nach räumlicher Dichte der Klimastationen ist zu hinterfragen, ob die Dichte und Verteilung der Messdaten den zu beschreibenden Raum auch wirklich repräsentieren. Um die erforderlichen Kriterien der Homogenität, der Verteilung der Messstationen und ihrer Anzahl gerecht zu werden, ist zunächst eine Plausibilitätsprüfung notwendig, bei der repräsentative Gebietseinheiten abgegrenzt werden müssen. Um den Raum zwischen den Messstationen mit Daten zu füllen, sind weitergehende Interpolationen notwendig, um ein flächendeckendes Bild der Klimaparameter zu generieren. Hierzu stehen unterschiedliche Verfahren (z.B. Nearest neighbour-Verfahren, Triangulation und anschließende lineare Interpolation, polynomische Verfahren, Kriging) zur Verfügung, die jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen (Musall 2011: 68ff). Abgesehen von der Methode der Interpolation verbessert selbstverständlich die Anzahl der Messdaten das Ergebnis.

Grundsätzlich hält der DWD Klimastationsdaten aus den Jahren 1961 bis 2012 vor. Die Punktdaten der Klimastationen für täglich ermittelte Klimaparameter werden zudem interpoliert und als Flächenraster von 1 x 1 km flächendeckend ausgegeben. Ein Vergleich dieser Status quo-Daten mit den Klimaprojektionsdaten von WETTREG 2010 für 2050/2100 ist daher punktuell für Klimastationen, aber auch flächendeckend in einer Rastergröße von 1 x 1 km möglich.

Abb. 23: Klimamodellierung für die Regionalplanung (eigene Darstellung)



Status quo-Daten basierend auf dynamischen Modellsimulationen wie CLM (und REMO) werden dagegen rasterbasiert ausgegeben. Daher stehen hier Daten nur für grobe Raster von 10 x 10 km (REMO) bzw. 16 x 18 km (CLM) zur Verfügung. Für die weitere Regionalisierung von rasterbasierten Klimadaten eignen sich z.B. mesoskalige numerische Klimamodelle wie FITNAH (Groß 1992) oder METRAS (Schlünzen 1990). Dabei wird die Reallandschaft mit Relief, Topographie, Flächennutzung und meteorologischen Eingangsgrößen numerisch simuliert, so dass differenziert Raumeinheiten und ihre Klimaparameter für weitere Untersuchungen der Klimafolgenbewertung genutzt werden können. So wurden in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg (Krause/Gross 2011) die Klimadaten des Regionalmodells CLM, die in einer räumlichen Auflösung von 16 x 18 km (zeitliche Auflösung: stündlich) vorliegen, mit Hilfe des numerischen Klimamodells FITNAH auf ein deutlich höher aufgelöstes Raster von 1 x 1 km umgerechnet. (s. Abb. 24)

Für den Einsatz in Wirkmodellen, z.B. Wasserhaushaltsmodellen für die Bilanzierung des Grundwasservorkommens, sind dagegen meist räumlich höher aufgelöste Daten notwendig. Mit Hilfe des Interpolationsmodells CLINT wurden im Kontext der Bodenwasserhaushalts-simulation für das Land Niedersachsen die Klimadaten aus WETTREG 2010 regionalisiert und auf die hohe räumliche Auflösung von 100 x 100 m und die zeitliche Auflösung von 10 Tagen für das mGROWA-BOWAB-Modell verarbeitet. In Müller et al. (2012) sind das Vorgehen und die Problematik ausführlich beschrieben. Ohne die Regionalisierung werden die Eingangsdaten für die Modelle ungenauer, wodurch sich die Unsicherheit der Modellergebnisse erheblich erhöht.

Können aufwändige Berechnungen zur Regionalisierung nicht durchgeführt werden, bieten sich folgende Verfahrensvereinfachungen an, wie sie Wixwat (2009) für die Simulation der Grundwasserneubildung

mit dem Modell GROWA06V2 in Niedersachsen vorgenommen hat: Zunächst wurde eine interpretatorische Zuordnung von Flächen zu Klimastationen vorgenommen und die Auswahl auf Plausibilität geprüft. Insbesondere für die im Vergleich zu Temperaturdaten meist kleinräumig stark schwankenden Niederschlagsgrößen war es wichtig, repräsentative Gebietseinheiten abzugrenzen. Innerhalb des der Klimastation zugehörigen Gebiets wurden dann dieselben Klimaparameter als Eingangsgröße verwendet. Je weniger Klimastationen sich im Untersuchungsgebiet befinden, desto größer wird die Bandbreite der tatsächlichen Unterschiede im Gebiet im Vergleich zu den Werten der Klimastation. Bei Klimastationen anderer Betreiber, die beispielsweise nur Niederschlagsdaten bereitstellen, wurden die Daten ergänzt (Wixwat 2009: 4, 19).

Konkret werden für die Bestimmung des Klimasignals an den Klimastationen folgende Parameter bestimmt: (1) Niederschlagssumme pro Tag, (2) Tagesmaximumtemperatur, (3) Tagesmitteltemperatur, (4) Tagesminimumtemperatur, (5) Tagesmittel der relativen Feuchte, (6) Tagesmittel des Luftdrucks, (7) Tagesmittel des Dampfdrucks, (8) Sonnenscheindauer, (9) Tagesmittel der Bedeckung und (10) Tagesmittel der Windgeschwindigkeit.

Über die Berechnung der Klimaparameter im Status quo hinaus konnte der Einfluss des Klimawandels mit Hilfe der verfügbaren WETTREG 2006-Daten simuliert werden. Dies gelang, da die beschriebenen Klimaparameter analog den Outputgrößen des Programms IDP2006 gewählt wurden – dem Programm, mit dem die Klimastationen für die (statistische) WETTREG 2006-Modellierung ausgewertet werden. Daher liegen für die ausgewerteten Klimastationen die oben genannten Klimaparameter auch für den Zeitraum 2071 bis 2100 vor. Damit können die Status quo-Daten unmittelbar mit Prognosedaten verglichen und für die Einspeisung in das Grundwassermodell verwendet werden.

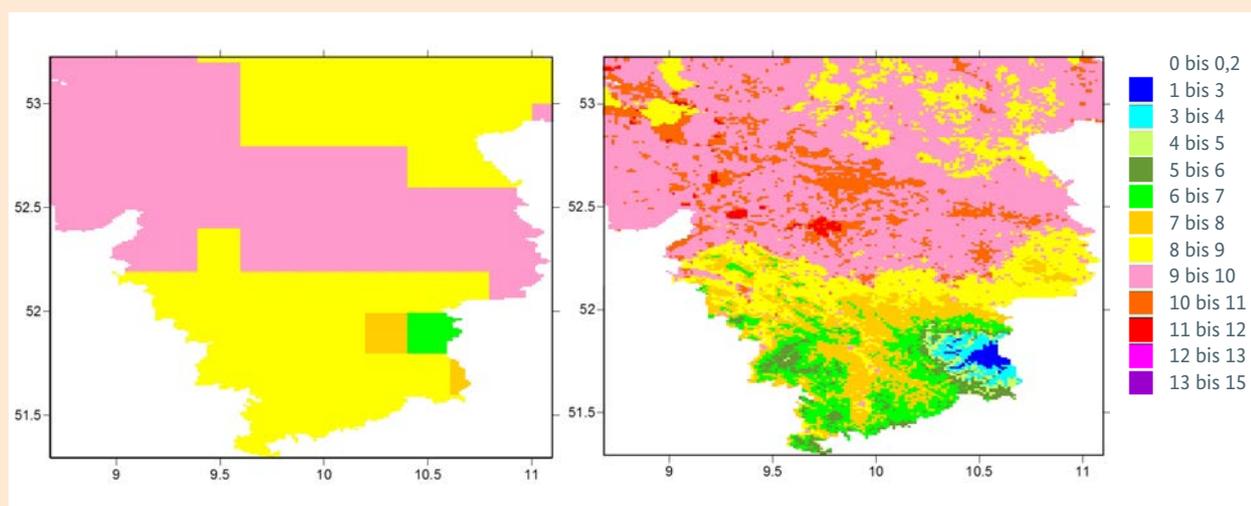


Abb. 24: Regionalisierung der Klimadaten mit dem FITNAH-Modell (Günter Gross, in: LBEG 2011: 9)

Berechnung der regionalen Klimaparameter mit FITNAH: Während das CLM die grobe Verteilung der Temperatur beschreibt, ist FITNAH in der Lage, eine deutlich verbesserte räumliche Struktur, die von Orographie und Landnutzung geprägt ist, zu berechnen.

4. Zuordnung von Indikatoren und Daten

Die Zuordnung von Indikatoren und Daten zu den beiden zentralen Systemkomponenten der Klimafolgenbewertung Klimasignal und Sensitivität ist nicht immer eindeutig. Hier bestehen Übergangsbereiche, insbesondere bei den indirekten Klimawirkungen. Diese lassen sich nicht immer trennscharf dem Klimasignal zuordnen und stehen in manchen Fällen in engem Zusammenhang mit der Sensitivität. Ein Beispiel ist die Baudichte als Faktor bei der Abschätzung der thermischen Belastung, optional aber auch als Indikator der Sensitivität des Raums gegenüber thermischer Belastung (s. Kap. 5.4.3).

Darüber hinaus integriert die gegenwärtige Sensitivität des Raums gegenüber spezifischen Klimaparametern auch bestehende, die Sensitivität verringernde Faktoren, die letztlich bereits umgesetzte Anpassungsmaßnahmen bzw. genutzte Anpassungspotenziale darstellen (z.B. bereits bestehende Grünflächen). Für die Abschätzung der zukünftigen Situation werden neu geschaffene Anpassungsmaßnahmen hingegen der Anpassungskapazität und nicht der Sensitivität zugeordnet.

In der praktischen Anwendung der Abschätzungsmodelle und -ansätze treten diese Unschärfen in der Regel jedoch nicht auf, da die einzelnen Indikatoren bereits in die Modelle integriert sind und nicht immer streng zwischen Klimasignal, Sensitivität und Anpassungskapazität getrennt wird.



5.3 Klimafolgenbewertung für die Handlungsfelder der MKRO

5.3.1 Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten

Ausgangslage

Zunächst gilt es, die häufig als Synonyme verwendeten Begriffe „Hochwasser“ und „Überschwemmung“ klar zu definieren und voneinander zu trennen:

- Unter Überschwemmung ist die zeitweilige Wasserbedeckung von Landflächen aufgrund der Ausuferung von oberirdischen (stehenden oder fließenden) Gewässern oder als Folge von Starkniederschlägen zu verstehen.
- Hochwasser ist dagegen ein Zustand in einem (Fließ-) Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten Schwellenwert erreicht oder überschritten hat.

Der Begriff „Überschwemmung“ bezieht sich mithin auf die Folge eines Ereignisses (Ausuferung), während „Hochwasser“ an der Ursache (erhöhte Wasserführung) ansetzt. Erst mit der Überschwemmung und dem Übertritt des Wassers aus dem Flussbett verbinden sich in der Regel raumplanerisch relevante Gefahren. Neben Überschwemmungen treten, insbesondere bei hoher Fließgeschwindigkeit und großem Gefälle, als Hochwasserfolgen zudem Ufererosionen und Übermürungen auf.

Aus raumplanerischer Sicht kann es nicht nur darum gehen, Überschwemmungen zu vermeiden, sondern eine umfassende Konzeption zu entwickeln, wie anthropogene Ansprüche an den Raum mit dem ursächlichen Naturphänomen „Hochwasser“ in Einklang gebracht werden können (Greiving 2002). Deshalb wird im Folgenden der Fokus der Betrachtungen auf Hochwasser gelegt.

Da der Schwellenwert, ab dem man von einem Hochwasser spricht, normativ festgelegt wird, beinhaltet der Begriff im Gegensatz zu dem Terminus „Überschwemmung“ als reiner Beschreibung eines physikalischen Zustandes auch ein wertendes Element. Auch deshalb eignet sich dieser Begriff besser für die Raumplanung, weil normativ festgelegten Größen (z.B. das 100-jährliche Hochwasser) ein bestimmter Wasserstand und damit ein bestimmtes Schadenspotenzial zugeordnet werden kann. Ob es dabei überhaupt zu Überschwemmungen kommt und diese Schäden verursacht werden, hängt unter anderem von den ergriffenen Schutzmaßnahmen ab. Folgende Charakteristika sind mit Hochwassern verbunden (Greiving 2002):

- Sie sind relativ standortgebunden, können also nicht überall im Raum, sondern nur in bandförmigen Bereichen der Talauen der Flüsse bzw. entlang eines schmalen Gebietsstreifens entlang von Küsten und Flußmündungen auftreten.
- Sie sind relativ zeitgebunden, treten also nicht zu jeder Jahreszeit mit der gleichen Wahrscheinlichkeit auf, sondern haben klare jahreszeitliche Spitzen.
- Sie treten relativ spontan auf, wobei aber in der Regel eine ausreichende Vorwarnzeit für Maßnahmen des Katastrophenschutzes gegeben ist.
- Ihr Wirkungsbereich ist klar abgrenzbar und bewegt sich innerhalb eines überschwemmten Bereiches.
- Sie sind (raumplanerisch) beeinflussbar, sowohl hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit als auch des Schadensausmaßes. Dabei ist es insbesondere die Beeinflussbarkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit, die Flusshochwasser von fast allen anderen Naturgefahren wie Erdbeben, Vulkanausbrüchen, Stürmen usw. unterscheidet.

Der Klimawandel beeinträchtigt das Abflussgeschehen unmittelbar durch sich verändernde Niederschlagsparameter, wobei hierbei auch der Flüssigwassergehalt von Eis und Schnee berücksichtigt ist. Während die Änderungen der jährlichen mittleren Niederschlagsmengen bis 2100 in den

regionalen Modellen REMO, CLM und WETTREG leichte Veränderungen, vor allem an den Mittelgebirgen und Küsten, vorhersagen, steigen die winterlichen Niederschläge in ganz Deutschland stark an: In den Modellen REMO und CLM um bis zu 25% zwischen 2071 und 2100 gegenüber der Periode 1971 bis 2000, nach WETTREG sogar bis zu 70% (Website DWD – Klimaservices). Zusammen mit Veränderungen in der Intensität und Häufigkeit von Starkregen wird dies zu einer Veränderung der Hochwasserwahrscheinlichkeit – auch in kleinen Fließgewässereinzugsgebieten – führen. Nur ist diese einzugsgebietspezifisch und kann nicht pauschal für alle Flussgebiete bestimmt werden. So kann in einigen Einzugsgebieten mit einer Zunahme von Frequenz und Magnitude von Hochwassern gerechnet werden, während in anderen Bereichen eher von einer Abnahme auszugehen ist (BMVBS 2011a).

Regelungsbedarf der Regionalplanung

Der vorbeugende Hochwasserschutz in Flussgebieten ist als Regelungsbedarf in der Raumordnung etabliert. Die MKRO verabschiedete bereits am 14.06.2000 Handlungsempfehlungen zum vorbeugenden Hochwasserschutz, die auch weitergehend in die Handlungsanleitung der ARGEBAU 2003 (letzte Fassung vom 06.03.2008) eingeflossen sind. Ziel ist die Reduktion der von Hochwasserereignissen ausgehenden Gefahren.

Die MKRO (2013) sieht folgende Handlungsschwerpunkte des vorbeugenden Hochwasserschutzes:

1. Sicherung vorhandener Überschwemmungsbereiche als Retentionsraum
2. Rückgewinnung von Überschwemmungsbereichen als Retentionsraum
3. Risikovorsorge in potenziellen Überflutungsbereichen
4. Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Fläche der Einzugsgebiete der Flüsse
5. Sicherung potenzieller Standorte für Hochwasserschutzmaßnahmen

Dabei bezieht sich der vorbeugende Hochwasserschutz auf Flusseinzugsgebiete, so dass auch regionalplanerisch übergreifende Konzepte und Koordinierungen notwendig

werden. Mit diesen Handlungsfeldern werden vor dem Hintergrund des Klimawandels die wichtigsten Ziele der Regionalplanung beim vorbeugenden Hochwasserschutz umrissen: der Rückhalt von Niederschlag in der Fläche, um den Abfluss zu verhindern bzw. zu verzögern, die Sicherung und Erweiterung von Retentionsflächen, die zeitweise das Wasser in den Fließgewässern zurückhalten und somit den Wasserspiegel senken, die Minimierung des Schadenspotenzials in Überflutungsbereichen und die planerische Sicherung von Maßnahmen für den technischen Hochwasserschutz. (Zimmermann 2011)

Die sich über diese Zielstellungen ergebenden Aufgaben sind als Aufträge an die Regionalplanung in der Fortschreibung/Neuaufstellung der Landesraumordnungspläne und -programme festgelegt (MKRO 2013). Als Instrumente sind vor allem Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die einzelnen Handlungsschwerpunkte vorgesehen:

Im Zusammenhang mit der **Sicherung vorhandener Überschwemmungsbereiche als Retentionsraum** sind Vorranggebiete i.d.R. für die bei einem Bemessungshochwasser HQ 100 überschwemmten Bereiche vorgesehen, insbesondere zur vorsorglichen Sicherung von noch nicht wasserrechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten und zum Ausschluss funktionswidriger Nutzungen. Vorbehaltsgebiete dagegen dienen i.d.R. zur Sicherung von Überschwemmungsflächen im Umgriff bis zu einem HQ extrem. (MKRO 2013: 14)

Bei der **Rückgewinnung von Überschwemmungsbereichen als Retentionsraum** dienen die Instrumente der vorsorglichen Sicherung, sofern eine landesplanerische Letztentscheidung nicht vorgenommen werden kann.

Im Kontext der **Risikovorsorge in potenziellen Überflutungsbereichen** können infolge des Versagens oder Überströmens von Schutzeinrichtungen überflutete Bereiche als Vorbehaltsgebiet (Regelfall), bei hoher Gefahr für Leben und Sachgüter im Katastrophenfall auch als Vorranggebiet, ausgewiesen werden. Dies gilt für Siedlungsbereiche ebenso wie für besonders empfindliche Raumnutzungen oder Raumnutzungen, von denen Gefährdungen ausgehen können (MKRO 2013: 15).

Für die **Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Fläche der Einzugsgebiete der Flüsse** dienen die Instrumente der Sicherung und Entwicklung von Freiräumen sowie zur Festlegung der Flächennutzung (MKRO 2013: 15).

Der Einsatz der Instrumente zur **Sicherung potenzieller Standorte für Hochwasserschutzmaßnahmen** zielt insbesondere auf Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes, wie Talsperren oder Hochwasserrückhaltebecken, ab (MKRO 2013: 16).

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 01.03.2010 regelt daneben für die wasserwirtschaftliche Fachplanung den Umgang mit Hochwasserrisiken, da mit Inkrafttreten auch die EG-Richtlinie über die „Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken“ vom 23.10.2007 (EG-HWRM-RL) in nationales Recht gebettet wurde. Die fachplanerischen Schutzstrategien zu Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge besitzen u.a. durch das neue WHG eine gute Grundlage und werden unter dem Begriff des Hochwasserrisikomanagements zusammengefasst. Vor allem die länderspezifische Ausweisung festgesetzter Überschwemmungsgebiete per Gesetz oder Rechtsverordnung regelt die Möglichkeiten zur Errichtung von Baugebieten und baulichen Anlagen (BMVBS 2010a).

Die Regelungskompetenzen und Regelungsmöglichkeiten von Gesamt- und Fachplanungen haben Schnittmengen; in vielen Fällen ergänzen sich die Bereiche jedoch. Von daher bedarf es einer intensiven Abstimmung der zuständigen Institutionen.

Grundsätzlicher methodischer Ansatz der Klimafolgenbewertung

Grundlage für den Einsatz vieler Instrumente für den vorbeugenden Hochwasserschutz ist die Bestimmung des Hochwasserrisikos, das sich auch aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwasserereignisses und den potenziell nachteiligen Folgen ergibt (MKRO 2013: 16).

Die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat am 25./26.03.2010 Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten

beschlossen, die den gesetzlichen Anforderungen entsprechen und die die Methodik des Risikoansatzes bei der Erstellung von Gefahren- und Risikokarten propagiert.

Hochwassergefahren geben dabei für unterschiedliche Szenarien der Eintrittswahrscheinlichkeit den Flächenumfang der Überflutung, die Wassertiefe bzw. den Wasserstand in den Überflutungsgebieten sowie gegebenenfalls die Fließgeschwindigkeit bzw. den relevanten Wasserabfluss an (LAWA 2010: 9f). Es wird für das Binnenland empfohlen, Szenarien für das 10-jährliche Hochwasser (HQ 10), das 100-jährliche Hochwasser (HQ 100), das auch als Bemessungshochwasser für die Ausweisung festgesetzter Überschwemmungsgebiete verwendet wird, sowie für ein Extremereignis (HQ extrem) heranzuziehen. Aufgrund länderspezifischer Regelungen wird das HQ extrem mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten (HQ 200 bis HQ 1.000) berechnet. Beim Extremszenario können auch die Kombination von Ereignissen, z.B. von Sturmflut- und Hochwasserereignissen im Bereich der Küste, und das Versagen wasserbaulicher Einrichtungen, z.B. die Überströmung von Deichen oder besondere Abflussbeeinträchtigungen, berücksichtigt werden (MKRO 2013: 16).

Hochwasserrisikokarten bilden auf Basis der Hochwasserkarten die hochwasserbedingten nachteiligen Auswirkungen ab. Hierzu zählen die Anzahl der betroffenen Einwohner, die wirtschaftliche Tätigkeit in Form der Nutzungsart, IVU-Anlagen nach der Richtlinie 96/61/EG zur integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, die potenziell betroffenen Schutzgebiete und die relevanten Kulturgüter (BMVBS 2010a).

Klimaänderungen sind bei dem Ansatz insofern berücksichtigt, als dass aktuelle Statistiken den bis heute wirkenden Einfluss des Klimas mitbetrachten. Szenarien zum zukünftigen Klimawandel sind dagegen nicht vorgesehen. Eine Fortschreibung der Empfehlungen der LAWA zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten ist für 2015 geplant. (LAWA 2010: 13)

Das daraus resultierende Dilemma besteht darin, dass der Regionalplanungsträger nicht mit Sicherheit davon ausgehen kann, dass die seiner Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten zugrunde liegenden fachplanerischen

Analysen in der Zukunft unter veränderten klimatischen Bedingungen noch zutreffen werden bzw. die beim HQ 100 überschwemmte Fläche tatsächlich der zukünftig betroffenen Fläche entspricht (zur Thematik „Ungewissheit“ und mögliche Strategien siehe auch Kap. 2.4).

Im Ansatz des Methodenhandbuchs wird der beschriebenen Grundlogik, Bemessungshochwasser für die Ermittlung von Gefahrenkarten festzulegen, gefolgt. Im Gegensatz zu dem beschriebenen gegenwärtig gültigen Ansatz der Wasserwirtschaft, das HQ 100 für die Ausweisung festgesetzter Überschwemmungsgebiete zu nutzen, wird jedoch vorgeschlagen, sich am größten wahrscheinlichen Hochwasser (probable maximum flood, PMF) und – sofern dies noch nicht verfügbar ist – am HQ extrem zu orientieren, um der o.g. Ungewissheit Rechnung zu tragen. Das größte wahrscheinliche Hochwasser wird im Rahmen des technischen Hochwasserschutzes, z.B. bei Stauanlagen oder Talsperren, verwendet und basiert am Beispiel der Talsperre auf dem maximal möglichen Niederschlag im Einzugsgebiet.

Das PMF als Bemessungsgröße bietet die Möglichkeit, die Festlegung von raumplanerischen Instrumenten zum vorsorgenden Hochwasserschutz nicht mehr allein an den historisch ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Bemessungshochwasser zu orientieren und den im Zuge des Klimawandels größtmöglichen Gefahrenbereich zu bestimmen. Unsicherheiten, die sich aus der Bestimmung eines definierten HQ, z.B. des HQ 100, ergeben, können so reduziert werden. Ebenso kann auf diese Weise eine andauernde Aktualisierungsnotwendigkeit der Datenbasis reduziert werden, da Einzelereignisse der Stichprobe zur Erstellung des Datenkollektives (etwa für das 100-jährliche Hochwasser) nur eine geringe Rolle spielen. Auch beeinflussen wichtige wasserbauliche Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes den Flächenumfang auf Basis des PMF nicht so stark wie den Flächenumfang auf Basis eines HQ geringerer Jährlichkeit. Zudem wird auf diese Weise eine weitere Vorsorge gegen die weitere Akkumulation von Schadenspotenzialen in (lediglich) bei Extremereignissen gefährdeten Bereichen ermöglicht, für die bei einer reinen Orientierung am HQ 100 keine Handhabe besteht.

Der tatsächlich mögliche Überschwemmungsbereich (im Sinne eines Überschwemmungsgefährdeten Gebietes nach

§ 31c Abs. 1 WHG) kann so besser identifiziert werden.

Dieser stellt gleichsam ein Maß für das Klimasignal dar.

Wasserwirtschaftliche Festlegungen zum festgesetzten Überschwemmungsbiet (§ 31b Abs. 1 WHG) bleiben hiervon unberührt.

Können aus ressourcentechnischen Gründen keine Gefahrenkarten auf der Grundlage des PMF bereitgestellt werden, sollte das HQ extrem als Bemessungsgrundlage genutzt werden. Solche Karten stellt die Wasserwirtschaft seit 2013 nach WHG bereit. Ein größtmögliches HQ (in vielen Bundesländern ist HQ 500 Standard, in den Niederlanden HQ 1.250) führt dabei zu besseren Ergebnissen für die Raumplanung.

Die **Sensitivität** wird durch die Art der Nutzung bestimmt. Hierbei können Schadenspotenziale (Gefahr für Leib und Leben, Sachschäden etc.) als differenzierende Kriterien herangezogen werden. Hochwasserrisikokarten bieten einen guten Grundansatz zur Bestimmung der Betroffenheit. Diese ergibt sich unmittelbar aus der Überlagerung der betroffenen sensitiven Nutzungen und der Hochwassergefahrenkarte, d.h. der Lage der Nutzungen innerhalb oder außerhalb des Überschwemmungsbereiches nach § 31c Abs. 1 WHG bzw. überschwemmter Bereiche beim HQ extrem (s.u.).

Die **Schritte zur Erstellung von Gefahren- und Betroffenheitskarten** – unabhängig von der Wahl des Bemessungshochwassers – werden nachfolgend beschrieben (s. Abb. 25):

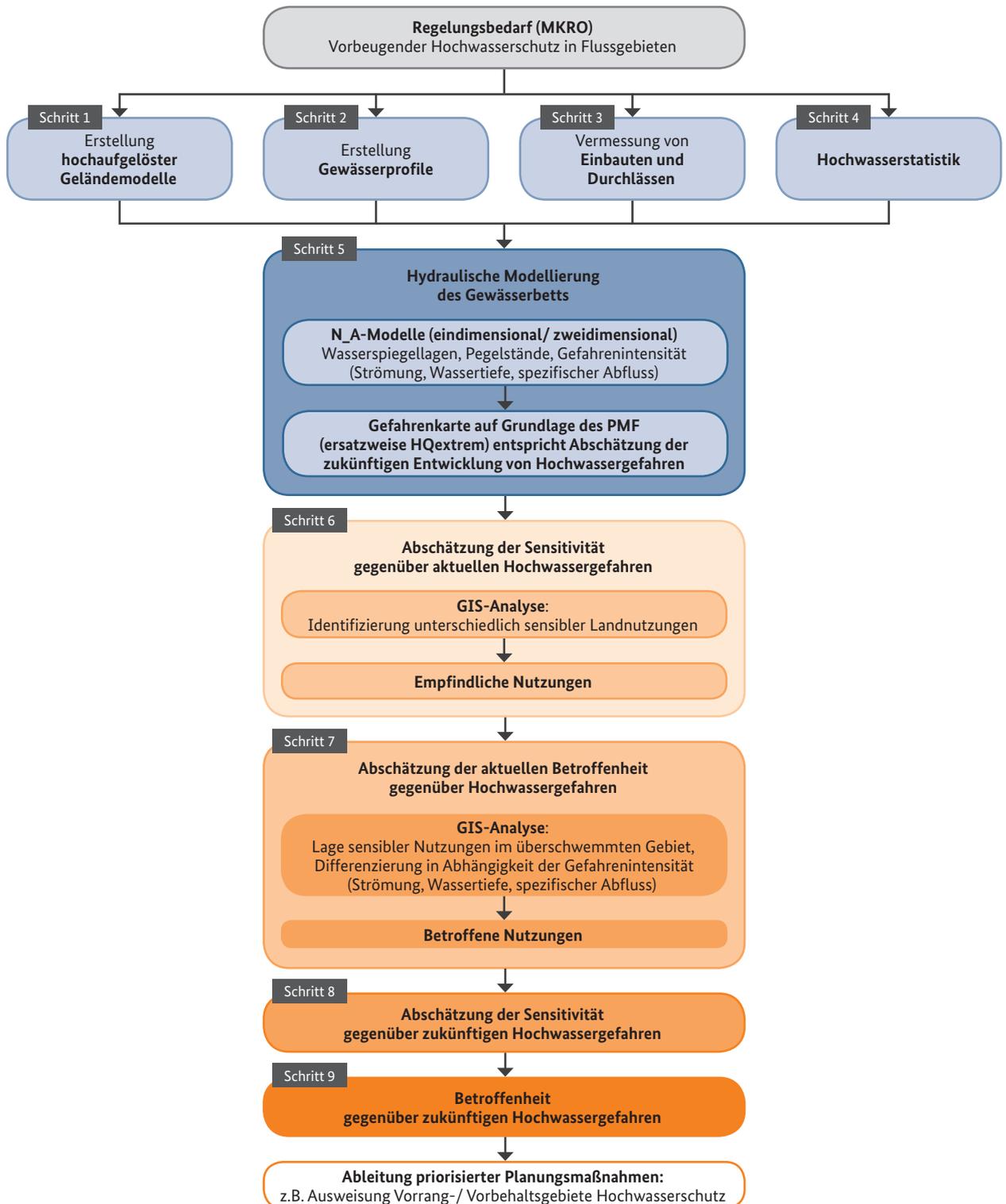
Schritt 1: Erstellung hochaufgelöster Geländemodelle

Mit Hilfe von Laserscanbefliegungen können hochaufgelöste digitale Geländemodelle mit einer Genauigkeit von 1 m (und darunter) erstellt werden. Auch die photogrammetrische Auswertung von Luftbildern ist ein gängiges Verfahren zur Generierung der Geländemodelle, die das gesamte Einzugsgebiet eines Flusses abbilden sollten.

Schritt 2: Erstellung von Gewässerprofilen

Das eigentliche Gewässerprofil kann durch Echolotpeilungen erkundet werden. In der Regel werden die recht auf-

Abb. 25: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten“ (eigene Darstellung)



wändigen Peilungen durch die Wasser- und Schifffahrtsämter durchgeführt. Daneben können die Profile durch Laserscanmethoden (grüner Laser zur Durchdringung des Wassers) auch aus der Luft erstellt werden.

Schritt 3: Vermessung von Durchlässen wie Brücken

Durchlässe und Brücken sind wichtig, um im Rahmen der Hochwassermodellierung den Abfluss sowie die Strömung zu bestimmen und den Wasserstand bzw. Wasserspiegellagen zu berechnen (s.u.). Die Einmessung erfolgt in der Regel terrestrisch.

Schritt 4: Berechnung der Hochwasserstatistik (Abflusswerte HQ 100-Statistik, Regionalisierung)

HQ bezeichnet den höchsten (H) Abflusswert (Q) in einem definierten Zeitraum. Das Hochwasser wird als Hochwasserscheitelabfluss, d.h. an der Hochwasserspitze, gemessen. HQ 100 beschreibt dabei den (größten) Hochwasserabfluss innerhalb der letzten 100 Jahre und ist somit ein veränderlicher statistischer Wert, bezogen auf vergangene Ereignisse. Die Verfahren zur Bestimmung des Bemessungshochwassers sind beim Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK 1979/1999) beschrieben. Die Scheitelwerte sind abhängig von der Abflussmenge und den durch die örtliche Geometrie und das Retentionsvermögen einzelner Gewässerabschnitte bedingten Abflussprozessen (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002: 48).

Ein wesentliches Problem der statistischen Bestimmung ist dabei der Stichprobenumfang. Bei der Berechnung des HQ 100 spielen die Zahl der Pegel, die Messhäufigkeit innerhalb eines Jahres sowie die Anzahl der erfassten Jahre eine wichtige Rolle. Insbesondere für kleinere Fließgewässer liegen häufig nur wenige Messdaten vor. Hinzu kommt, dass nicht alle Datenkollektive entlang eines Einzugsgebietes homogen sind, also z.B. Daten aus unterschiedlichen Zeitreihen stammen bzw. die baulichen Änderungen an Fließgewässern und deren Zuflüssen nicht berücksichtigt werden. Die wichtigsten hydraulisch relevanten Bauwerke in Gewässern sind Brücken, Wehre und Durchlässe. Die unterschiedlichen Abflusszustände werden mithilfe von Überfall-, Fließ- oder Widerstandsformeln unter Verwen-

dung entsprechender Beiwerte bzw. Parameter berechnet. Dazu ist eine entsprechende Parametrisierung der Bauwerke anhand ihrer Form und ihrer Abmessungen erforderlich.

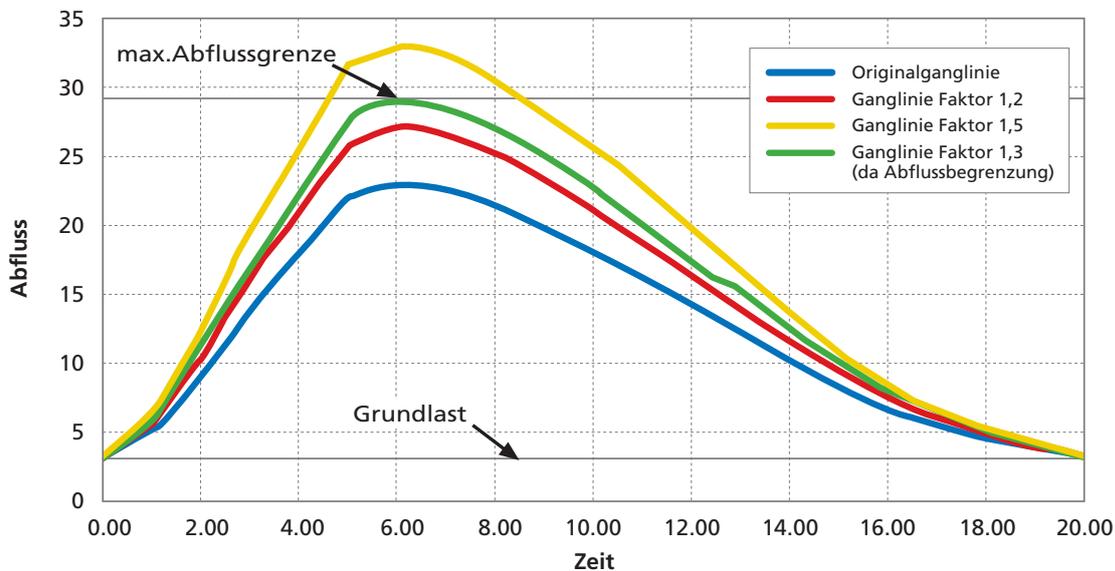
Aufgrund der auch nach statistischer Homogenisierung verbleibenden Unsicherheiten der Berechnung der HQ erfolgt schlussendlich eine normative Festlegung des Bemessungshochwassers (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002: 50).

Mit Hilfe von Hochwasserganglinien können Hochwassermodelle unter Berücksichtigung der Geländemodelle und Gewässerprofile dann Simulationen zu Hochwasserereignissen durchführen. Nach Kalibrierung der Modellergebnisse mit vergangenen Ereignissen können Abflussmenge, Fließgeschwindigkeit und Flächenumfang für die gewählten HQ bestimmt werden. Am Beispiel des Rheins werden so aus einer 97-jährigen Zeitreihe die Datenkollektive und die Ganglinien für das HQ 100 bestimmt. Die Jährlichkeiten für das HQ 200 und größer werden daraufhin extrapoliert. (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002: 74)

Nachdem das Datenkollektiv bestimmt wurde, erfolgt eine Einspeisung der Ganglinien in ein Niederschlagsabflussmodell zur Berechnung der Modellhochwasser. Eine Herausforderung stellt dabei auch die Bestimmung ursächlicher Zusammenhänge für die Hochwasserentstehung dar. Wie hoch ist an einem Pegel der konkrete Beitrag des Niederschlages im örtlichen Einzugsgebiet im Vergleich zum Zufluss (bestimmt durch die Schneeschmelze, Dauerregen etc.)?

Die Modellierung von Extremhochwassern kann dabei auf Daten zu extremen Niederschlagsereignissen beruhen (was ein flächendeckendes Datenkollektiv voraussetzt), auf dem modellierten Zusammentreffen der für die Nebenflüsse jeweils höchsten Hochwasserganglinien als Grundlage für ein Extremereignis oder aber auf Erhöhung der Hochwasserganglinien als Maß für Abflussspitzen um einen gesetzten Faktor. Dabei muss immer ein definierter Gewässerzustand (z.B. Ausbaustand des Rheins 1977) und der Faktor auf einen definierten Pegel hin (z.B. Pegel Rees bei einer Abflussmenge gemäß HQ 200, HQ 500, HQ 1.250) genutzt werden (s. Abb. 26). (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002: 67ff)

Abb. 26: Entwicklung von Modellhochwassern durch Erhöhung der Nebenflussganglinien ohne deren zeitliche Verschiebung (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002: 68)



Ausgehend von den Pegelständen werden Wasserspiegellagen zunächst für die Pegelstandorte und anschließend für weitere Profile berechnet. So kann der Wasserstand an beliebigen Stellen des Fließgewässerverlaufes dargestellt werden. Durch die Verschneidung der Wasserspiegellagen mit dem digitalen Geländemodell im GIS wird eine Karte des Flächenumgriffs erstellt.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch die Kenntnis der wassertiefenabhängigen Rauigkeit, welche für die Berechnung der Fließgeschwindigkeit in den einzelnen Kompartimenten notwendig ist. Die Rauigkeit der Geländeoberfläche, i.d.R. abgeleitet aus der Bodenbedeckung, hat großen Einfluss auf die Fließdynamik. Darüber hinaus sind Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe die Grundlage zur Berechnung des spezifischen Abflusses als Kennwert für die Gefahrenintensität. (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002)

Schritt 5: Hydraulische Modellierung des Gewässerbettes

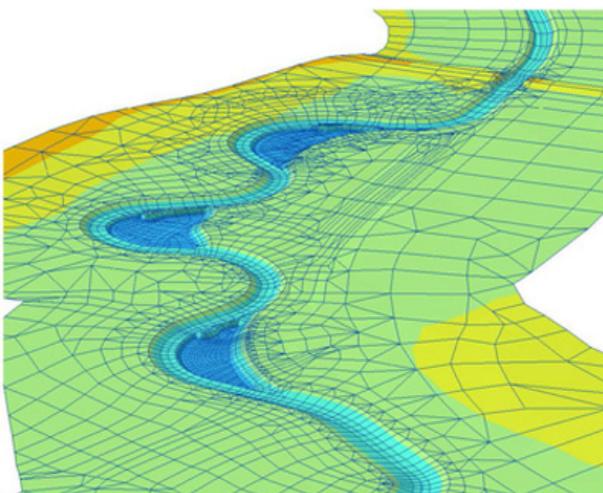
Die Berechnung kann „von Hand“ oder mit **ein- bzw. zweidimensionalen Modellen** erfolgen. Bei eindimensionalen Modellen wird nur eine Strömungskomponente (parallel zur lokalen Hauptfließrichtung des Flusses) simuliert. Diese ist abhängig von der vorab festgelegten räumlichen Positionierung der Querprofile.

Beim zweidimensionalen Modell werden mehrere Strömungsrichtungen berücksichtigt (s. Abb. 27). Dies ist wichtig, da Topographie und Relief die Strömungsrichtung stark beeinflussen können. Auch die Berechnung von Teilströmungen verschiedener Wasserlagenhöhen ist möglich – etwa im Bereich von gewässerparallelen Durchlässen, im Bereich von Dammlagen oder sehr weit ausufernden Flussbetten im Tiefland. Für jeden Punkt im Gewässermodell ist dann der Wasserstand und die Fließgeschwindigkeit berechenbar. (Website NI-VORIS, Website Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz)

Im Bereich der Küste sind zusätzlich weitere Faktoren bei der Bestimmung der Betroffenheit notwendig. Hierzu zählen insbesondere der Tideverlauf, Sturmflutereignisse und mögliche extreme Gefahrensituationen. Hier wird deshalb vor dem Hintergrund der Küstenschutzanlagen ein Maximalwasserstand hinter den Hochwasserschutzanlagen projiziert oder über hydrodynamische Flutungsmodelle, die sich einstellenden Wasserstände bestimmt. (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002: 15; MUNLV 2006)

Als Produkt der Modellierung entsteht eine Gefahrenkarte mit Ausgabe der überschwemmten Fläche und der Gefahrenintensität des Hochwassers. Die Gefahrenkarten zeigen somit den Wirkbereich des Hochwassers in Form von potenziell überschwemmten Gebieten an. Deren Genauigkeit hängt dabei stark vom Umgang mit den beschriebenen Unsicherheiten bei der Erstellung der Datenkollektive und Modelle ab. Für den vorsorgenden Hochwasserschutz in der Regionalplanung wird – abweichend von den Empfehlungen der LAWA (2010) – vorgeschlagen, sich am größten wahrscheinlichen Hochwasser (probable maximum flood, PMF) bzw., sollte dies noch nicht zur Verfügung stehen, am HQ extrem, möglichst am HQ 500, zu orientieren.

Abb. 27: Beispiel für ein zweidimensionales Strömungsmodell (MLUR-SH 2011, s. Website Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz)



Beim Wirkbereich kann zudem die Gefahrenintensität unterschieden werden. Diese ist abhängig von der Überflutungshöhe und der Strömungsgeschwindigkeit. Bereiche mit geringer Überflutungshöhe von wenigen Zentimetern sollten anders beurteilt werden als Bereiche mit Überflutungshöhen von 1 oder 2 m. Die Gefahrenkarten differenzieren hier Höhen von 0,5 m, 1 m, 2 m und 4 m sowie größer als 4 m.

Der zweite Faktor zur Beurteilung der Gefahrenintensität ist die Strömungsgeschwindigkeit. Langsam fließendes Wasser birgt ein geringeres Schadenspotenzial als schnell fließendes Wasser, insbesondere bei geringen Wassertiefen. Die Gefahrenkarten empfehlen eine Differenzierung der Fließgeschwindigkeit von kleiner 0,2 m/s, 0,2 bis 0,5 m/s, 0,5 bis 2 m/s sowie größer 2 m/s. Bei Geschwindigkeiten von über 2 m/s besteht das Risiko von statischen Schäden an Gebäuden und damit auch das Risiko von Verletzungen bzw. Todesfällen der Bewohner. In manchen Bundesländern wird auch der spezifische Abfluss (m^2/s) als Maß für die Gefahrenintensität angegeben.

Unabhängig von den Gefahrenkarten kann die Gefahrenintensität auch als Matrix aus den vorgenannten bestimmt werden (siehe Beispiel Regionaler Planungsverband Oberes Elbtal/Osterzgebirge bzw. Schweizer Gefahrenkarte). In den Empfehlungen der LAWA zur Erstellung von Gefahrenkarten ist dies jedoch nicht aufgenommen.

Schritt 6: Abschätzung der Sensitivität

Für die Ermittlung der Empfindlichkeit werden sensitive Nutzungen gegenüber Hochwassergefahren identifiziert.

Schritt 7: Abschätzung der Betroffenheit

Die sensitiven Nutzungen werden innerhalb des Wirkbereiches verortet. Für die Regionalplanung stellt sich die Frage, ob eine Differenzierung der Landnutzungen hinsichtlich ihrer Sensitivität und Betroffenheit gegenüber Hochwassergefahren notwendig erscheint oder nicht. Eine Ausweisung von Vorrang- bzw. Vorbehaltsgebieten kann ohne weitere Differenzierung vorgenommen werden, da diese auch

im Siedlungsbereich Gültigkeit besitzen. Generell können nicht angepasste Landnutzungen ausgeschlossen werden, ohne zwischen den Landnutzungen zu differenzieren. Zudem kann für die Ausgestaltung konkreter Maßnahmen auf die kommunale Ebene abgeschichtet werden.

Für eine differenziertere Herangehensweise kann jedoch die Sensitivität unterschiedlicher Landnutzungen auch in Abhängigkeit von der Gefahrenintensität (potenzielle Überflutungshöhe, Fließgeschwindigkeit des Gewässers) im Hochwasserfall für die Ermittlung der Betroffenheit herangezogen werden. So ist es möglich, anhand der differenzierten Betroffenheit von Raumnutzungen raumplanerische Festlegungen zu treffen. Zusätzlich sollten auch solche Nutzungen betrachtet werden, von denen im Falle einer Überschwemmung Gefahren ausgehen können (Kläranlagen, Chemiebetriebe etc.).

Nachfolgend wird beispielhaft das Vorgehen bei der Erstellung der Hochwasserrisikokarten nach der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie beschrieben. Die Ermittlung/Darstellung der betroffenen Nutzung erfolgt grundsätzlich durch Überlagerung der sensitiven Nutzungen mit dem Umgriff der Hochwassergefahrenkarte.

Einwohner: Hierzu werden Gemeindegrenzen bzw. die Flächennutzung auf Gemeindeebene herangezogen. Die Bestimmung der Anzahl der Einwohner erfolgt getrennt für jede Gemeinde (auf Basis einer Gleichverteilung der Einwohner im Gemeindegebiet oder differenzierter, etwa auf Basis einer siedlungsflächenbezogenen Umlegung der Einwohner auf der Ebene von Stadtbezirken).

Art der wirtschaftlichen Tätigkeiten:

- Wohnbaufläche und Fläche gemischter Nutzung: Hier ist die Wohnbevölkerung konzentriert; bei Überschwemmung droht Gefahr für Leib und Leben.
- Industriefläche, Fläche besonderer funktionaler Prägnanz: Hier konzentriert sich die Arbeitsbevölkerung. Sensible Industrie- und Gewerbeobjekte besitzen ein hohes monetäres Schadenspotenzial.

- Flächen der Verkehrsinfrastruktur: Diese besitzen große Bedeutung als Rettungs- und Evakuierungsachsen.
- Landwirtschaft, Wald, ggf. sonstige Vegetations- und Freiflächen sowie Gewässer.

Anlagen gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG (IVU-Richtlinie): Standorte von IVU-Anlagen, d.h. Anlagen gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG (IVU-Richtlinie)

Schutzgebiete gemäß Anhang IV Nummer 1 Ziffern i, iii und v der Richtlinie 2000/60/EG: Es sind die Gebiete nach Art. 7 WRRL, die für die Entnahme von Wasser für den menschlichen Gebrauch ausgewiesen wurden, Erholungs- und Badegewässer sowie FFH- und Vogelschutzgebiete darzustellen.

Weitere Informationen gemäß Art. 6 Abs. 5d HWRM-RL (optional): Neben den vorgeschriebenen Informationen bei der Darstellung von Hochwasserrisiken können optional weitere Kategorien hinzugefügt werden. Dies sind beispielsweise

- Kulturgüter mit besonderer Bedeutung
- Badegewässer
- bedeutende Verschmutzungsquellen (Gebiete, die von Feststofftransport und -ablagerung betroffen sein können)
- gefährdete Einzelobjekte besonderer Bedeutung wie beispielsweise Krankenhäuser, Schulen, Einrichtungen der Infrastruktur
- Hochwasserschutzanlagen, überschwemmungsgefährdete Gebiete etc.

Schritte 8 und 9: Abschätzung der zukünftigen Sensitivität und Betroffenheit

Da die Gefahrenkarte als Ergebnis der Schritte 1 bis 5 bei Wahl des PMF (bzw. in geringerem Umfang des HQ extrem) den gesamten Gefahrenraum als Wirkungsbereich der Hochwassergefahr beschreibt, ändern sich bei zukünftigen Betroffenheiten nur die Beurteilung sensitiver Nutzungen bzw. zukünftige Realisierungen von geplanten sensitiven Nutzungen.

Beispiel: Oberes Elbtal/Osterzgebirge

Ein gutes Beispiel der Klimafolgenbewertung zum vorbeugenden Hochwasserschutz in Flussgebieten ist das KlimaMORO Oberes Elbtal/Osterzgebirge. Die Region ist von Hochwassergefahren potenziell sehr stark betroffen, da alleine infolge der Überschwemmung durch die Elbe (Bundeswasserstraße) sowie Gewässer erster Ordnung etwa 90% aller Kommunen den oft erheblichen Auswirkungen ausgesetzt sind. Dabei können bei den am stärksten betroffenen Kommunen 70 bis 95% des Gemeindegebietes bzw. 75 bis 95% der bebauten Fläche überflutet werden (Seifert 2013). Die Klimafolgenbewertung für den Hochwasserschutz in der Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge basiert auf wasserwirtschaftlichen Grundlagen.

Gefahrenhinweiskarten

Gefahrenhinweiskarten im Maßstab 1:100.000 sind als Grundlagen für die Raumplanung gedacht. Sie stellen die potenziell gefährdeten, auch hinter den Hochwasserschutzanlagen liegenden Bereiche nach Intensität differenziert dar. Zwei Kartensätze zeigen die potenziell überschwemmungsgefährdeten Flächen (Überschwemmungskarte) sowie die zu erwartende Schadenssumme und besonders gefährdete Objekte im Überschwemmungsgebiet (Schadenspotenzialkarte).

In den Überschwemmungskarten wird neben der Ausdehnung der Überschwemmungsbereiche auch die Intensität der Überschwemmung dargestellt: in Flachbereichen durch die Wassertiefe, in Steilbereichen durch den spezifischen Abfluss (Produkt aus Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit). Der spezifische Abfluss beschreibt die Abflussmenge pro laufenden Meter Breite.

Die Intensität ist

- hoch, wenn die Wassertiefe mehr als 2 m oder der spezifische Abfluss ($q = v \text{ mal } hw$) größer gleich $2,0 \text{ m}^2/\text{s}$ beträgt: Es besteht Gefahr für Leib und Leben, auch innerhalb von Gebäuden. Zudem können Gebäudezerstörungen auftreten.
- mittel bei einer Wassertiefe von 0,5 bis 2 m (spezifische Abfluss [$q = v \text{ mal } hw$] zwischen $2,0 \text{ m}^2/\text{s}$ und $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$), bei der Gefahren vor allem außerhalb von Gebäuden gegeben sind und Sachschäden an Gebäuden auftreten können.
- niedrig bei Wassertiefen kleiner 0,5 m (spezifische Abfluss [$q = v \text{ mal } hw$] kleiner $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$), bei denen Sachschäden v.a. in Kellerräumen zu erwarten sind.

Gefahrenkarten

Über die Gefahrenhinweiskarten hinaus liegen Gefahrenkarten als Bestandteil der sächsischen Hochwasserschutzkonzepte vor. Diese wasserwirtschaftlichen Rahmenpläne beinhalten u.a. die Begutachtung historischer Extremhochwasserereignisse, hydrologische Analysen und hydraulische Berechnungen zur Ermittlung von Hochwassergefahren sowie die Ableitung des Schutzniveaus vor dem Hintergrund statistischer Eintrittswahrscheinlichkeiten. Die Gefahrenkarten liegen für die Ortslagen im Maßstab 1: 5.000 vor und sind in einem Ergebnisbericht erläutert (Beispiel Hochwasserschutzkonzept Stadt Freital, s. Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen 2005)

Tab. 8: Datengrundlagen der Gefahrenhinweiskarten und Gefahrenkarten in Sachsen (eigene Darstellung nach Seifert/Elze, in: Seifert 2012b: 6)

	Gefahrenhinweiskarte	Gefahrenkarten
Erfassungsmaßstab	1:25.000	> 1:5.000
Darstellungsmaßstab	1:100.000	i.d.R. 1:5.000 oder 1:10.000
Berechnungsmethode	rasterbasierte hydrodynamische Berechnung	1D-Berechnung (horizontale Projektion des Wasserspiegels aus der Gewässerachse in das Gelände) oder stationäre 2D-Berechnung
Händische Korrekturen	nur in geringem Umfang	ja
Gebietsabdeckung	an allen Gewässern durchgängig	an einigen Gewässern durchgängig, an einigen nur für Ortslagen
Überörtliche Passfähigkeit der Daten	keine Sprünge an Bearbeitungsgrenzen	Sprünge an Bearbeitungsgrenzen
Überörtliche Einheitlichkeit bei Definition Extremereignis	nicht gegeben (z.B. unterschiedlich lange Zeitreihen)	nicht gegeben (z.B. unterschiedlich lange Zeitreihen)
Auswahl Extremereignis Elbe	ca. HQ 500	HQ 200 (Einordnung als Extrem fraglich, aber sinkende Zuverlässigkeit ab HQ > 200)
Künftige Verfügbarkeit	voraussichtlich Auslaufmodell	gegeben

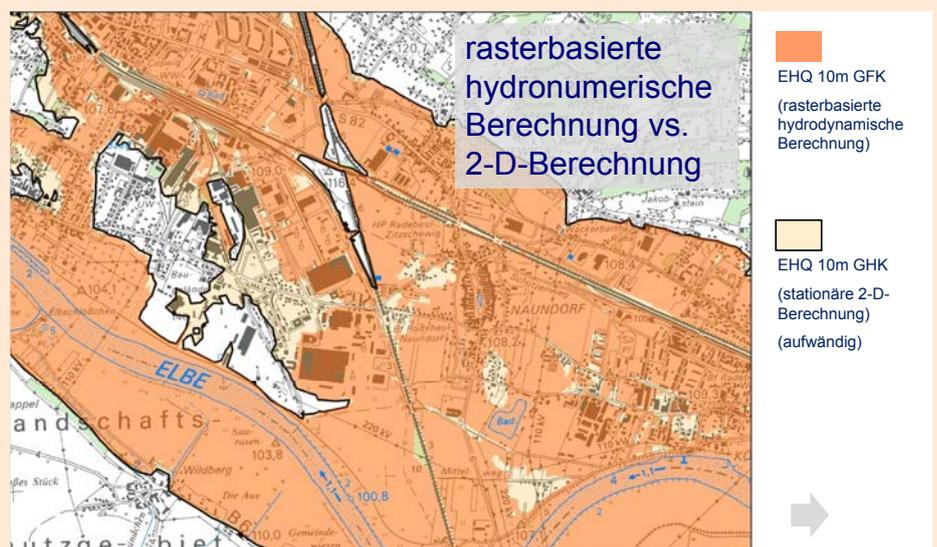
Die Inhalte entsprechen denen der Gefahrenhinweiskarte. Es werden zusätzlich mehrere Gefahrenarten (Überschwemmung, Erosion und Ablagerung von Geschiebe oder Treibgut) berücksichtigt. Entsprechend größer ist der Aufwand zur Berechnung der vielen Einflussgrößen im detailgenaueren Maßstab. Die Erstellung der flächendeckenden Gefahrenhinweiskarten und der nur für die Ortslagen vorhandenen Gefahrenkarten basiert auf unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen. Die groberen Gefahrenhinweiskarten werden über rasterbasierte hydrodynamische Methoden berechnet, die Gefahrenkarten numerisch über 2D-Niederschlags-Abflussmodelle bzw. direkt aus den Wasserspiegellagen.

Entsprechend der unterschiedlichen Methodik weichen auch die Ergebnisse des räumlichen Umgriffes der Gefahrenhinweiskarten gegenüber den Gefahrenkarten ab (hier dargestellt für das HQ 100 bzw. für den 10 m-Wasserstand eines Extremhochwassers). Die insgesamt weniger aufwändige rasterbasierte hydrodynamische Berechnung weist gegenüber der Gefahrenkarte auch Überschwemmungsbereiche auf, die nur indirekte Verbindung zum Flussbett besitzen (s. Abb. 28, 29).

Abb. 28: Unterschiede des Flächenumgriffes des HQ 100 der Gefahrenhinweiskarte im Vergleich zur Gefahrenkarte in Sachsen (Seifert/Elze, in: Seifert 2012b: 7)



Abb. 29: Unterschiede des Flächenumgriffes des 10 m-Wasserstandes bei Extremhochwasser der Gefahrenhinweiskarte im Vergleich zur Gefahrenkarte in Sachsen (Seifert/Elze, in: Seifert 2012b: 8)



Die Ideen der Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge zur Ableitung von Anpassungsmaßnahmen sehen u.a. vor, Festlegungen zur Hochwasservorsorge von der Eintrittswahrscheinlichkeit zu entkoppeln und sich stattdessen an der Gefahrenintensität bei Extremhochwasser zu orientieren (s. Tab. 9).

Als räumlicher Umgriff soll der Überschwemmungsbereich des Extremhochwassers (HQ extrem, z.B. HQ 500) herangezogen werden. (Seifert 2012a/c; Regionaler Planungsverband Oberes Elbtal/Osterzgebirge 2013)

Dabei sollen Vorranggebiete sowohl im Freiraum als auch im Siedlungsbestand – differenziert nach der Gefahrenintensität – ausgewiesen werden. Die Festsetzung ist dabei jedoch nicht mit einem Bauverbot, sondern vielmehr mit der Verpflichtung zu einer hochwasserangepassten Bauweise verbunden, da die konkrete Ausgestaltung den Kommunen vorbehalten ist. (Seifert 2012c)

Mit der Wahl des HQ extrem als Grundlage für die Bestimmung von Vorranggebieten und der Festlegung hochwasserangepasster Bauweisen kann das sehr hohe Schadenspotenzial der Restrisiken (verdichtete Bebauung hinter den Hochwasserschutzanlagen mit hohem ökonomischem Schadenspotenzial) minimiert werden. (Seifert 2012c; s. Abb. 30)

Am Beispiel von Freital sind die unterschiedlichen Grenzen des Umgriffs zur beabsichtigten Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten dargestellt (siehe auch Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen 2005; s. Abb. 31).

Weitergehende Informationen

KlimaMORO-Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge:

www.rpv-elbtalosterz.de

Land Sachsen – Gefahrenhinweiskarten: www.umwelt.sachsen.de

Land Sachsen – Gefahrenkarten für Ortslagen:

www.umwelt.sachsen.de

Tab. 9: Gegenwärtige und vorgeschlagene Handhabung zur Festlegung von Vorranggebieten für Hochwasserschutz/ -vorsorge (eigene Darstellung nach Seifert 2012c: 14)

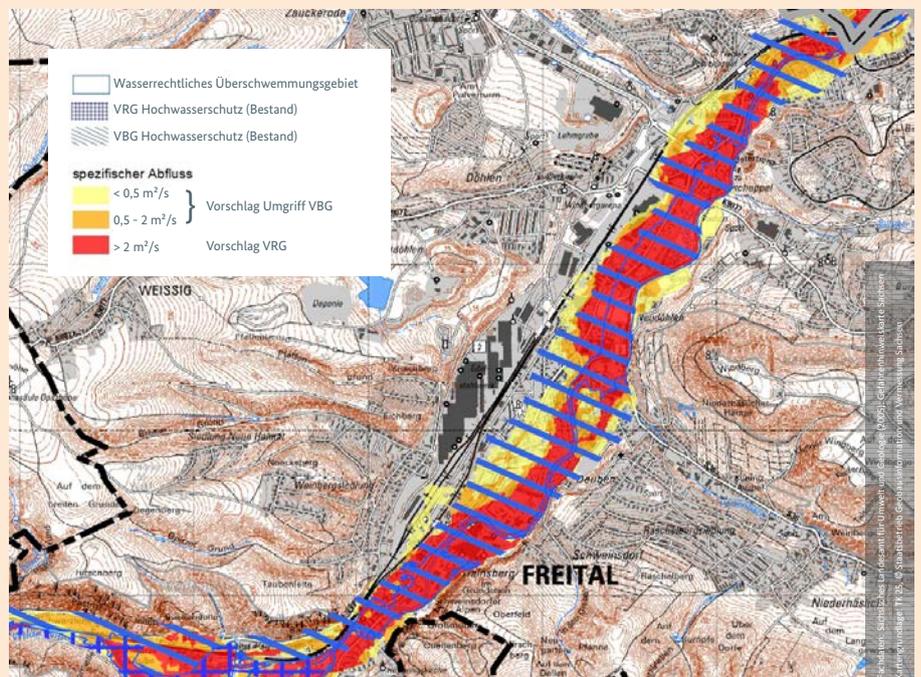
Gegenwärtige Handhabung: Hochwasserschutz	Vorgeschlagene Handhabung: Hochwasservorsorge
Nur im Überschwemmungsbereich des einhundertjährigen Hochwassers	Zusätzlich in Zone mit hoher Gefahr des Überschwemmungsbereiches bei Extremhochwasser
Nur im Freiraum	Im Freiraum und im Siedlungsbestand
Gekoppelt mit generellem Bauverbot	Im Innenbereich nur Verpflichtung zu hochwasserangepasster Bauweise; Bauverbote nur zur Sicherung von Hochwasserrückhalteräumen im Außenbereich
Keine Differenzierung nach Gefahrenintensität, unabhängig von der konkreten Gefahr gilt überall dasselbe Verbot	Differenzierung nach Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit bei Extremhochwasser

Abb. 30: Vergleich zwischen dem Umgriff des wasserwirtschaftlich festgelegten Überschwemmungsgebietes HQ 100 zum Extremhochwasser 2002 am Beispiel von Dresden (Seifert 2012c: 11; Foto: Schrägaufnahme Dresden Nr. 89/2004, herausgegeben mit Genehmigung des Städtischen Vermessungsamtes Dresden, Genehmigungsnr.: 06 62.17.2013)



Abb. 31: Vorschlag für die Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten in Freital (Seifert 2012c: 15)

Erläuterung:
 VRG = Vorranggebiet
 VBG = Vorbehaltsgebiet





5.3.2 Regionale Wasserknappheiten

Ausgangslage

Für die Grundwasserneubildung spielen klimatische Faktoren eine wichtige Rolle. Niederschlagsmenge, Intensität und saisonale Verteilung der Niederschläge sowie Abfluss, Verdunstung und vegetationsbedingte Evapotranspiration konstituieren neben dem Relief, dem Boden und den darunter liegenden geologischen Schichten ein funktionales System zur Bildung des Grundwasserhaushalts (Niedersächsische Regierungskommission Klimaschutz 2012).

Saisonale Änderungen in den Niederschlagsmengen und im Temperaturverhalten können zu Veränderungen im Grundwasserhaushalt führen. Obwohl zukünftig insgesamt eine Zunahme der Niederschläge im Jahresmittel auf Basis der Klimamodelle erwartet wird, kann es saisonal aufgrund abnehmender Sommerniederschläge, verbunden mit hoher Verdunstung und geringen Wasserspeicherfähigkeiten der Böden und des Untergrundes, zu einer negativen Wasserbilanz und damit zu einer Grundwassererknappung kommen (Niedersächsische Regierungskommission Klimaschutz 2012; s. Abb. 32).

Eine verringerte Grundwasserneubildung kann im Zuge einer Konzentration geogener und anthropogener Schadstoffe eine Verschlechterung der Grundwasserqualität bedingen (MKRO 2013: 28). In Küstennähe verstärken niedrige Grundwasserstände bei gleichzeitigem Meeres-

spiegelanstieg die Versalzung von Böden (Niedersächsische Regierungskommission Klimaschutz 2012).

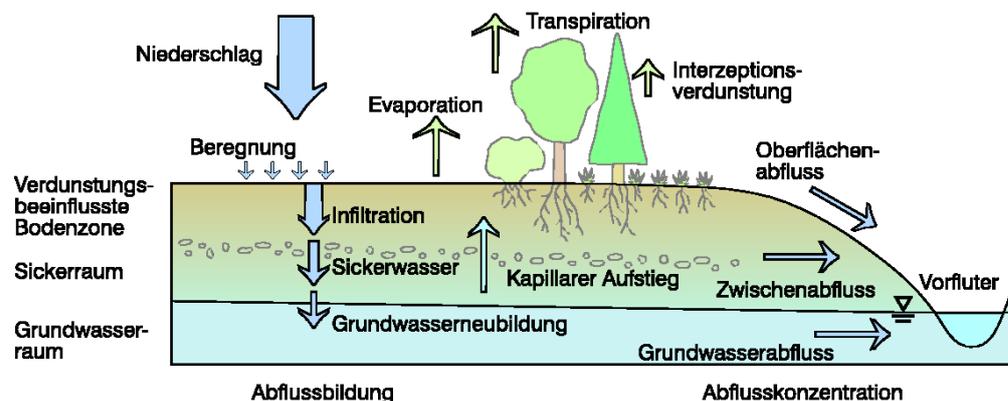
Mögliche Folgen von Wasserknappheit bei Oberflächengewässern sind Niedrigwasser, Verlandung und Trockenfallen sowie Verschlechterung der Wasserqualität (MKRO 2013).

Regelungsbedarf in der Regionalplanung

Die MKRO (2013) sieht in diesem Zusammenhang wichtige Aufgaben für die Regionalplanung, so

- die verstärkte Sicherung von Wasserressourcen über die Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten zum Grundwasserschutz und zur Grundwasserversorgung sowie die Standortsicherung wasserwirtschaftlich raumbedeutsamer Infrastrukturen.
- die Unterstützung des Erhalts bzw. der Verbesserung des Wasserhaushalts der Böden (Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit, Verbesserung des Infiltrationsvermögens) über Festlegungen zur grundwasserschonenden Flächennutzung, einer Reduktion der Flächenversiegelung oder Förderprogramme zur Unterstützung einer konservierenden Bodenbearbeitung und ganzjährig ausreichenden Bodenbedeckung durch die Landwirtschaft.
- die vorausschauende Lenkung stark wasserverbrauchender Nutzungen über die Festlegung von Ausschlussbereichen für diese Nutzungen.

Abb. 32: Einflussfaktoren der Grundwasserneubildung (Glugla/Jankiewicz/Rachimow et al. 2003)



Seitens der Fachplanungen ist insbesondere das Zusammenspiel mit der **Wasserwirtschaft** von großer Bedeutung, da das Fachressort die wesentlichen Grundlagen zur Beurteilung vieler Aspekte von regionalen Wasserknappheiten ermittelt. Insbesondere die Prozessmodelle und die Grundlagendaten zur Beurteilung des Wasserhaushalts in der Landschaft – in Abhängigkeit von Klimadaten, Landnutzung, Boden, Morphologie und Hydrogeologie – werden von den Fachressorts konzipiert und betrieben bzw. deren Anwendung durch Fachbüros überwacht. Zudem ist die Wasserwirtschaft für die Ermittlung des Wasserbedarfs und der Wasserversorgung unterschiedlicher Landnutzer verantwortlich. Faktisch werden in der Regionalplanung kaum Festlegungen zum Thema Wasser getroffen, ohne diese intensiv mit dem Fachressort abgestimmt zu haben.

Grundsätzlicher methodischer Ansatz der Klimafolgenbewertung

„Wasserknappheit“ besitzt einen ressourcenökonomischen Hintergrund, da die Ressource Wasser hinsichtlich der Wasserversorgung, der Nutzbarkeit – beispielsweise der Schiffbarkeit von Fließgewässern – oder anderer Zielfestlegungen wie dem Schutz feuchteabhängiger Biotope bewertet wird. Die Analyse des Wasserhaushalts als Grundlage einer Bewertung von Wasserknappheit muss daher vor dem Hintergrund dieser spezifischen Nutzungsperspektiven erfolgen (s. Abb. 33). Mit Blick auf den Regelungsbedarf der Regionalplanung und der Reichweite GIS-gestützter Wirkmodelle zur Beschreibung von Wasserhaushaltsprozessen kann der Untersuchungsgegenstand eingegrenzt werden:

1. Mit Hilfe von **Grundwasserhaushaltsmodellen** und Modellen zur Abschätzung der Wasserqualität können unter Beachtung weiterer wasserwirtschaftlich relevanter Kriterien Flächenkontingente für den Grundwasserschutz ermittelt werden. Über Zielfestlegungen zur Ausnutzung des Grundwasservorkommens und der wasserwirtschaftlich genutzten Grundwasservorräte kann entschieden werden, ob und in welchem Umfang regionalplanerische Festlegungen zur Ausweisung von Wasserschutzgebieten erforderlich sind. Die Bedeutung der Klimaparameter wie Niederschlag und Verdunstung für die aktuelle Wasser-

haushaltssituation liegt in deren Beitrag zur Grundwasserneubildung, wobei die Wasserknappheit stark durch den Wasserbedarf gesteuert wird. Zunächst wird von rezenten Klimadaten ausgegangen. Abschätzungen der zukünftigen Entwicklung des Klimasignals haben Auswirkungen auf das Mengengerüst und die Wasserbilanz; diese gehören heute bereits zur Modellierungspraxis der Wasserwirtschaft.

2. Grundwasser umfasst auch das oberflächennahe Bodenwasser, das generell die Bodenfunktionen, insbesondere aber bodenwasserabhängige Landnutzungen, beeinflusst. Für spezifische Fragestellungen wie die Betroffenheit von Ackerböden gegenüber Austrocknung oder die Beurteilung von Ertragseinbußen durch die Landwirtschaft haben sich **Bodenwasserhaushaltsmodelle** etabliert. Die Knappheit von pflanzenverfügbarem Bodenwasser in der Vegetationsperiode entscheidet (neben anderen Faktoren) über Pflanzenwachstum und Ertragseinbußen in der Landwirtschaft. Bei Unterschreitung eines Schwellenwertes von 40% der nutzbaren Feldkapazität (nFK) des Bodens wird von einer Beregnungsbedürftigkeit der Kulturen ausgegangen. Somit bildet dieser Indikator auch einen Maßstab zur Beurteilung von Trockenheit. Da die Verdunstung und die vegetationsabhängige Evapotranspiration eine wichtige Rolle spielen, wird Trockenheit in Abhängigkeit der Feldfrucht bestimmt.

Die heutigen Wirkmodelle können auch Grünland und Wälder hinsichtlich des Wasserbedarfs differenziert abbilden, wodurch es mittlerweile möglich ist, den Landschaftswasserhaushalt unter Zuhilfenahme räumlich sehr differenzierter Boden- und Tagesniederschlagsdaten zu bilanzieren.

Alternativ zu den elaborierten GIS-gestützten Wirkmodellen kann die Betroffenheit von Ackerböden, Wald und Biotopen gegenüber Trockenheit auch über **GIS-Analysen** ermittelt werden. Hierzu werden Informationen zur klimatischen Wasserbilanz und dem Wasserbedarf von Landnutzungen (Feldfrucht/ Wald) mit der für Böden typischen nutzbaren Feldkapazität verknüpft. Dabei gehen jedoch nur statische Informationen in die Analyse ein (Jahreswerte der klimatischen Wasserbilanz, prinzipiell nutzbare Feldkapazität des Bodens ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Kapazität). Die hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Daten geht dabei verloren.

3. Sowohl aus den Analysen des Grundwasserhaushalts als auch aus den **Analysen des Landschaftswasserhaushalts** können Räume mit Wasserknappheit für bestimmte Nutzungen abgeleitet werden. GIS-Analysen helfen bei der Identifizierung der betroffenen Räume. Daraus lassen sich Maßnahmen ableiten, die für die betroffenen Räume zu einer Verbesserung des Wasserhaushalts führen können, etwa die Verbesserung der Retention von Oberflächenabflüssen durch Waldmehrung oder die Lenkung des Wasserverbrauchs der Nutzungen zugunsten der knappen Ressource Wasser.

4. Die Beurteilung der Wasserknappheit im Zusammenhang mit Wasserressourcen der **Oberflächengewässer** kann methodisch analog zum Grundwasserhaushalt analysiert und bewertet werden. Die Wirkmodelle für Stillgewässer und für Oberflächengewässer unterscheiden sich jedoch erheblich voneinander.

Rechtssicherheit der regionalplanerischen Festlegungen im Zusammenhang mit regionalen Wasserknappheiten ist dann gegeben, wenn die Planfestlegungen unter Berücksichtigung der verfügbaren Informationen und auf Basis anerkannter Analyse- und Bewertungsverfahren erarbeitet und transparent dargelegt wurden, sowie auf konsistenten

Entscheidungen beruhen. Insbesondere die Sicherung von Wasserressourcen über die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten zum Grundwasserschutz muss diese Maßstäbe erfüllen. Gerade bei der Sicherung von Grundwasserressourcen spielen nicht nur das aktuelle Wasservorkommen, sondern auch die Ausnutzung aktueller Grundwasservorräte und der Wasserbedarf eine wichtige Rolle. Dabei beruhen Schätzungen des Wasserbedarfs u.a. auf Bevölkerungsprognosen, die die zukünftige Bevölkerungsentwicklung abbilden. Szenarien, d.h. mögliche zukünftige Entwicklungen ggf. unter veränderten Rahmenbedingungen, werden nur insofern betrachtet, als dass unterschiedliche Alternativen der Wasserversorgung (z.B. dezentrale/zentrale Versorgung, Fernwasser...) berücksichtigt werden. Dies ändert aber nichts am Mengengerüst der Wasserbilanz.

Hinsichtlich der Klimafolgenbewertung ist daher anzunehmen, dass Rechtssicherheit bereits dann gegeben ist, wenn sich die Informationen zur Bewertung der Grundwasserhaushaltsbilanz analog zur Bevölkerungsprognose auf aktuelle Grundwasserneubildungsraten und Prognosen auf Grundlage bekannter Wirkzusammenhänge stützt. Darüber hinaus können Klimamodellierungen als Argumentationshilfe und Begründungszusammenhang herangezogen werden, um den Vorsorgeaspekt zu stärken.

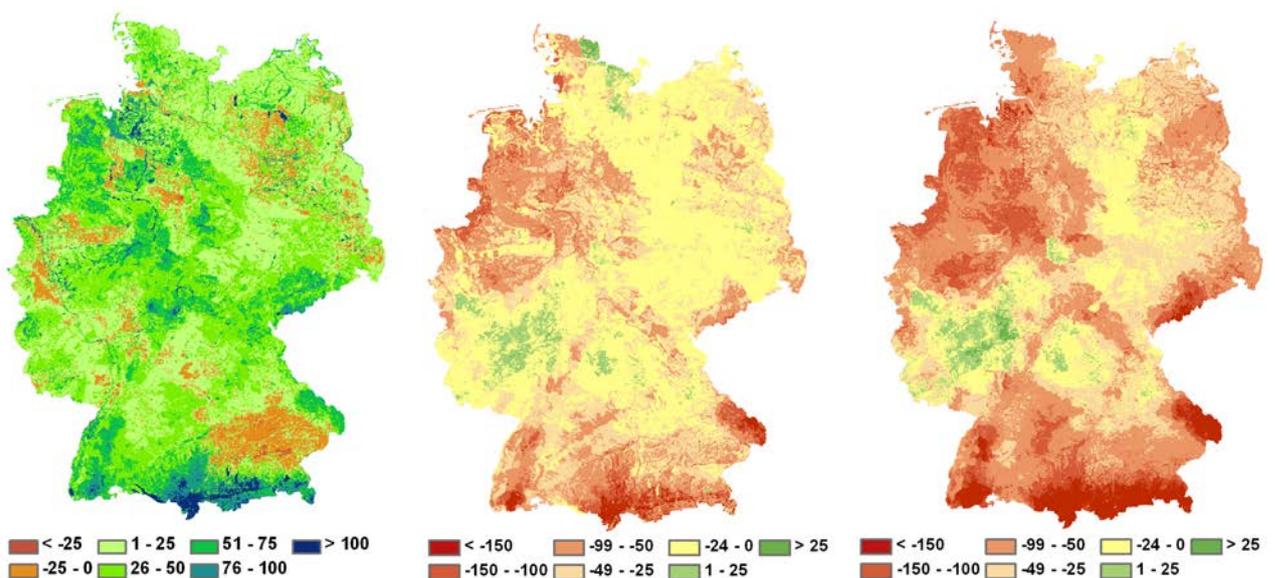


Abb. 33: Änderung der jährlichen Summen der Verdunstung (links), der Grundwasserneubildung (Mitte) und des Abflusses (rechts) im Vergleich der Durchschnitte der Jahre 1991-2010 und 2031-2050 für die großen Flusseinzugsgebiete (PIK 2012, in: Gerstengarbe/Welzer 2013: 20)

Im Nachfolgenden werden die Schritte zur Ableitung der Klimafolgen und die Schnittstellen zur Ableitung von Planungsmaßnahmen beschrieben (s. Abb. 34).

Fokus: Klimafolgenbewertungen mit Bezug zum Grundwasser- und Bodenwasserhaushalt

Schritt 1: Identifizierung der wesentlichen Wirkzusammenhänge bei regionaler Wasserknappheit

Beim Themenfeld „Regionale Wasserknappheiten“ stellt die Bilanzierung des Wasserhaushalts eine zentrale Größe bei der Analyse und Bewertung von Klimafolgen dar. Die Wechselwirkung mit anderen Systemkomponenten der Umwelt wie Boden, Geologie oder Morphologie, der belebten Umwelt sowie der Landnutzung verweisen auf sehr komplexe Zusammenhänge und Funktionen.

Die Identifizierung der Wirkzusammenhänge hinsichtlich regionaler Wasserknappheiten und die Gewichtung relevanter regionaler Kontexte stellen wesentliche Arbeitsschritte zu Beginn der Klimafolgenbewertung dar. Aufgrund der komplexen Wirkzusammenhänge sollte dieser Arbeitsschritt zusammen mit den Fachressorts – etwa im Rahmen eines Workshops zur Eingrenzung des Untersuchungsgegenstandes, zur Ermittlung der verfügbaren Daten und Datenqualitäten sowie zur Festlegung der spezifischen Methodik – erfolgen, sofern dies nicht bereits im Rahmen des vorgeschalteten Screenings durchgeführt wurde. Im Ergebnis werden die wesentlichen Wirkzusammenhänge dargelegt und die methodische Herangehensweise sowie die Arbeitsteilung zwischen den Ressorts festgelegt.

Schritt 2: Bestimmung der Wirkmodelle in Abhängigkeit der Wirkpfade und der Wirkfolgen mit Integration von Klimasignal und Sensitivitätsindikatoren

Der Einfluss von Klimafolgen auf das Grundwasser zielt primär auf Änderungen des Grundwasserhaushalts ab. Hier liefern Wasserhaushaltsmodelle wesentliche Basisinformationen, die zur Ableitung weiterer Komponenten des Gebietswasserhaushalts, beispielsweise des Bodenwasserhaushalts oder des Grundwasserflurabstands, genutzt werden

können. Diese Informationen liefern wichtige Grundlagen für die Wasserwirtschaft, z.B. um Entnahmemengen für bestimmte Wasserversorgungen zu bestimmen.

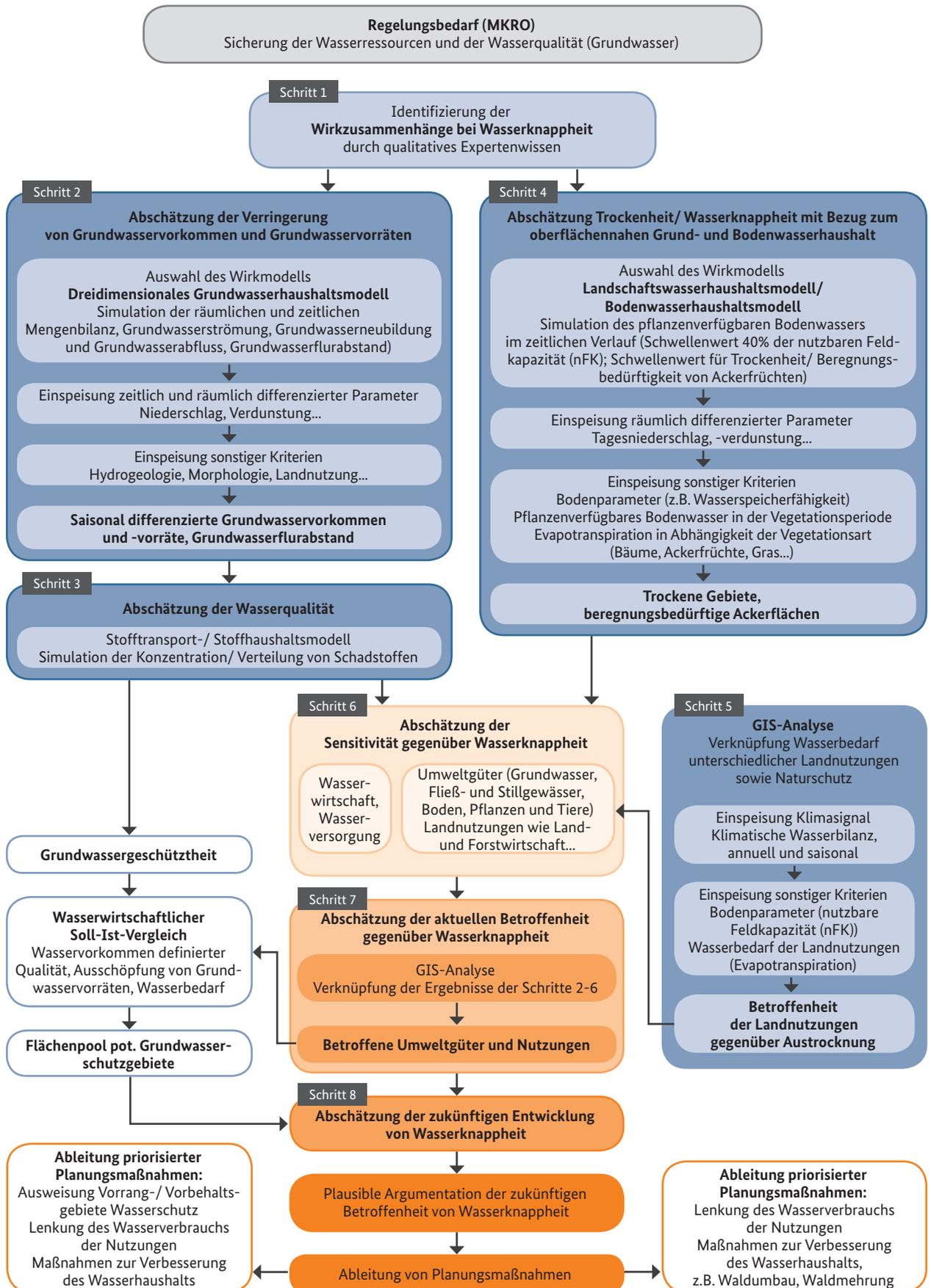
Mehrdimensionale Wasserhaushaltsmodelle, die den dreidimensionalen Raum, d.h. den geologischen Untergrund, abbilden und auch zeitlich hohe Auflösungen besitzen, zielen auf die Darstellung des Gebietswasserhaushalts in der Fläche und bilanzieren das Grundwasservorkommen. Die Wirkmodelle sind in der Lage, in Abhängigkeit von Klimaparametern, Landnutzungen, Boden, Relief und Geologie Bilanzierungen des Wasserhaushalts vorzunehmen.

Wechselwirkungen des Grundwassers mit oberirdischen Gewässern können entweder als Randbedingungen beschrieben werden (Informationen kommen dann aus anderen Messdaten oder Niederschlags-Abflussmodellen), oder aber es können eigene Modellebenen hinzugefügt werden, um die Wechselwirkungen zu simulieren (Neuß/Dörhöfer 2009). Mindestanforderungen an die Wasserhaushaltsmodellierung sind in der Technischen Regel W 107 des DVWG 2004 sowie in Neuß/Dörhöfer (2009) beschrieben. Wesentlich ist, die Wasserhaushaltsmodelle den Fragestellungen angepasst zu skalieren und auf das spezifische Modellgebiet zu kalibrieren.

Die Wahl des Wasserhaushaltsmodells ist auch abhängig von den zur Verfügung stehenden Messdaten. Liegen diese für viele Modellvariablen vor, können komplexere Modelle genutzt werden. Daneben spielen die Anzahl der Messdaten pro Zeiteinheit (zeitliche Auflösung) und die räumliche Dichte der Messdaten (räumliche Auflösung) eine wichtige Rolle. Die Wasserhaushaltsmodelle bilden dabei in der Regel keine Besonderheiten im Grundwasserhaushalt ab. Eine Ausnahme ist beispielsweise die in Sachsen angewendete Modellfamilie ArcEGMO, die auch Störungen des Untergrundes durch den Bergbau (Entwässerung durch Brunnen und Pumpwerke, Ableitung in Flüsse und Tagebauseen) berücksichtigt (s. Kap. 6.2).

Nach der Auswahl des Wirkmodells und dessen Kalibrierung auf den Untersuchungsraum (s. Kap. 5.2) müssen die erforderlichen Daten zur Bestimmung des Status quo eingespeist werden. Dies sind u.a. (1) mittlerer Jahresniederschlag, (2) mittlerer Niederschlag im Winter- und im Sommer-

Abb. 34: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Regionale Wasserknappheiten“, Teil Grund- und Bodenwasserhaushalt (eigene Darstellung)



halbjahr, (3) Grasreferenzverdunstung nach Wendling 1997, (4) pflanzenverfügbares Bodenwasser, (5) Nutzung, (6) Versiegelungsgrad, (7) Hangneigung und Exposition, (8) A/Au-Verhältnis (Gesamtabfluss/ grundwasserbürtiger Abfluss) und (9) hydrologische Gebietseinheiten (Bodenausgangsgestein aus BÜK 50).

Insbesondere wichtige Klimaparameter wie Niederschlag und Verdunstung sollten darüber hinaus in zeitlich höherer Auflösung (z.B. 10-Tageswerte) eingespeist werden, um der von Wetterlagen und Witterung abhängigen Dynamik Rechnung zu tragen und unterschiedliche Perioden der Grundwasserneubildung bzw. des -abflusses beschreiben zu können. Die räumliche Auflösung ist einerseits durch das Wirkmodell vorgegeben, andererseits abhängig von der Heterogenität des Untersuchungsgebiets. In Niedersachsen etwa wird für das landesweite Modell GROWA eine räumliche Auflösung von 100 x 100 m verwendet.

Im Ergebnis werden durch die häufig GIS-gestützten Modelle Daten zur Grundwasserbilanz, zu Grundwasservorkommen, Grundwasserneubildung, zum Abfluss und zum Grundwasserflurabstand ausgegeben, die dann auch räumlich in Karten dargestellt werden. Diese dienen auch zur Beurteilung der Grundwasservorräte.

Schritt 3: Abschätzung der Wasserqualität

Für die Versorgung mit Trink- und Brauchwasser ist zudem die Wasserqualität von großer Bedeutung. Da verringerte Wassermengen zu zunehmenden Schadstoffkonzentrationen und damit zu potenziellen Gefahren führen können, wird auch die Wasserqualität bestimmt. Hierbei kommen Stofftransport- bzw. Stoffhaushaltsmodelle zum Einsatz. Darüber hinaus werden auch Kontaminationsgefahren der Grundwasservorräte durch Landnutzer abgeschätzt.

Zusammen mit den Ergebnissen aus Schritt 2 wird eine wasserwirtschaftliche Beurteilung in Form eines Soll-Ist-Vergleichs vorgenommen, um die Wasservorkommen definierter Qualität und Geschütztheit in Zusammenhang mit den für die Wasserversorgung benötigten Entnahmemengen

zu bilanzieren. Der Ausschöpfungsgrad bereits erschlossener und die noch nicht erschlossenen Grundwasservorräte werden dabei in Beziehung zum Wasserbedarf (Abschätzung aus Bevölkerungsprognose und vorhandenen Großwasserverbrauchern) gesetzt. Zudem spielen wirtschaftliche Aspekte der Wasserversorgung (Wasserversorgungsnetz, Fernwasserversorgung und Anbieterstruktur etc.) eine wichtige Rolle bei der wasserwirtschaftlichen Beurteilung der Sicherung und Erschließung von Wasserressourcen.

Schritt 4: Abschätzung der Wasserknappheit und Trockenheit mit Bezug zum oberflächennahen Grund- und Bodenwasserhaushalt

Mehrschichtbodenwasserhaushaltsmodelle simulieren den Wasserhaushalt des Bodens hinsichtlich der Wasserspeicherfähigkeit der Bodenschichten, des Wasserzuflusses in Form von Niederschlägen, aber auch hinsichtlich des kapillaren Wasseraufstieges bei Anschluss an oberflächennahes Grundwasser. Abflusskomponenten beziehen sich auf den oberflächlichen Abfluss von Niederschlägen oder den Abgang durch Sickerwasser. Während sich Bodenwasserhaushaltsmodelle in der Regel auf den Wasserhaushalt von Ackerböden in Abhängigkeit der wasserverbrauchenden Feldfrüchte konzentrieren, können Landschaftswasserhaushaltsmodelle auch für andere Vegetationsbestände wie Wald oder Grünland die Evapotranspiration und damit den Wasserverbrauch simulieren. Daher eignen sich diese besser für den flächendeckenden Einsatz in der Regionalplanung.

Zentral für die Fragestellung der Wasserknappheit ist die Simulation des pflanzenverfügbaren Bodenwassers im zeitlichen Verlauf (saisonal bedingte Trockenheit). Aus Ertrags- und Pflanzenwachstumsmodellen ist bekannt, dass bei einer Unterschreitung von 40% der nutzbaren Feldkapazität des Bodens Beregnungsbedarf für Feldfrüchte besteht, um Ertragseinbußen zu vermeiden (Müller et al. 2012: 32). Insofern bildet dieser Faktor, der jeweils durch die Vegetationsart unterschiedlich stark Wasser verbrauchender Pflanzen beeinflusst ist, ein gutes Kriterium zur Beschreibung von Wasserknappheit für die Vegetationsbestockung.

In das Bodenwasserhaushaltsmodell sind Klimaparameter in hoher zeitlicher Auflösung (Tageswerte) einzuspeisen, da der tägliche Niederschlag das Bodenwasser stark beeinflusst. Auch eine hohe räumliche Auflösung ist erforderlich, um sowohl die räumliche Variabilität der Niederschläge als auch der Heterogenität der Pflanzenbedeckung und der Bodenparameter im Untersuchungsgebiet abzudecken. In Niedersachsen wird hierzu ein Modell BOWAB mit einer räumlichen Auflösung von 100 x 100 m für die landesweite Beurteilung genutzt.

Im Ergebnis zeigt das Modell auf, wo Wasserknappheit im Hinblick auf die Pflanzenverfügbarkeit besteht. Für die landwirtschaftliche Nutzung kann darüber hinaus die Beregnungsbedürftigkeit abgeschätzt werden, um Ertrags- einbußen zu vermeiden.

Schritt 5: GIS-Analyse zur Abschätzung der Wasserknappheit im Hinblick auf unterschiedliche Landnutzungen

Eine Betrachtung der Wasserknappheit, bezogen auf Landnutzungen wie die Land- und Forstwirtschaft, aber auch für naturschutzrelevante Aspekte (feuchteabhängige Lebensgemeinschaften), kann alternativ auf der Basis von GIS-Analysen vorgenommen werden. Auch wenn dabei keine dynamischen Aspekte wie Daten aus Wirkmodellen (s. Schritt 4) zum Einsatz kommen, können Abschätzungen zur Wasserknappheit auf Grundlage von Jahres- oder saisonalen Mittelwerten bodenwasserhaushaltsbestimmender Klimaparameter durchgeführt werden. Als Klimasignal wird die klimatische Wasserbilanz aus dem Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung berechnet. Für unterschiedliche Teilräume des Untersuchungsgebiets können hier Daten der Klimastationen oder flächenbezogene Daten des DWD (in räumlicher Auflösung von 1 x 1 km) genutzt werden. Die klimatische Wasserbilanz kann auch saisonal angegeben werden.

Es erfolgt eine Verknüpfung mit Bodendaten, da aufgrund von Bodenart und Bodentyp die nutzbare Feldkapazität als Potenzial definiert werden kann. Diese unterscheidet sich im Gegensatz zu den Wirkmodellen in Schritt 4 von der tatsächlich nutzbaren Feldkapazität, da die aktuelle

Wassermenge im Boden nicht bekannt ist. Die Verschneidung von Bodendaten und klimatischer Wasserbilanz zeigt an, ob standörtlich mit einer Betroffenheit durch Wasserknappheit zu rechnen ist. Durch die weitere Verknüpfung mit Landnutzungsdaten (z.B. stark Wasser verbrauchender Landnutzung wie Maisanbau) kann die Betroffenheit der Landnutzung gegenüber Wasserknappheit abgeschätzt werden.

Schritt 6: Abschätzung der Sensitivität gegenüber Wasserknappheit

In diesem Schritt werden die gegenüber Wasserknappheit sensitiven Landnutzungen bestimmt. In Teilen ist dies bereits in den Schritten 4 und 5 erfolgt, da die Wasser verbrauchenden Landnutzungen, die abhängig vom oberflächennahen Grund- und Bodenwasser sind, bereits analysiert wurden. In Schritt 6 werden darüber hinaus weitere sensitive Nutzungen ermittelt, wie beispielsweise stark Wasser verbrauchende Industrien bzw. Energieversorger oder Brauchwasser nutzende Landwirtschaft. Die Auswahl und Bestimmung, welche Nutzungen sensitiv sein könnten, sollte sinnvollerweise in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Fachressorts erfolgen, die regionale Kenntnis über den Wasserbedarf der Landnutzer besitzen.

Schritt 7: Abschätzung der aktuellen Betroffenheit von Landnutzungen und Umweltgütern gegenüber Wasserknappheit

Die Ermittlung der Betroffenheit erfolgt mittels einer GIS-Analyse, bei der die Flächen mit Wasserknappheit aus den Grundwasserhaushalts- und Bodenwasserhaushaltsuntersuchungen in Schritt 1 bis 5 mit den sensitiven Nutzungen und Umweltgütern aus Schritt 6 verknüpft werden, so dass mit Hilfe räumlicher Überlagerungen die Betroffenheit kartographisch dargestellt wird.

Im Hinblick auf die wasserwirtschaftlichen Belange können die Ergebnisse in den wasserwirtschaftlichen Ist-Soll-Vergleich einfließen, um den Flächenpool potenzieller Grundwasserschutzgebiete zu bestimmen.

Schritt 8: Abschätzung der zukünftigen Entwicklung von Wasserknappheit

Zur Ableitung von Planungsmaßnahmen ist eine plausible Argumentation hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung regionaler Wasserknappheit sinnvoll, da die Planungsmaßnahmen in die Zukunft wirken. Wie eingangs beschrieben, reicht für eine rechtssichere Festlegung von Planungsmaßnahmen die Nutzung prognostischer Daten (im Gegensatz zu szenariobasierten Daten) aus. Daher wird in Schritt 8 die Abschätzung aufgrund erkennbarer Entwicklungen zur Wasserknappheit (Messdaten und Trends aus vergangenheitsbasierten Messungen) sowie allgemein auf den Klimamodellierungen basierenden Entwicklungsrichtungen zur Veränderung von Klimaparametern vorgenommen (z.B. Zunahme der Lufttemperatur und damit der Verdunstung, Zunahme der winterlichen Niederschläge und Abnahme der sommerlichen Niederschläge). Dieser Schritt der Abschätzungen und der potenziellen Auswirkungen auf die regionale Wasserknappheit sollte in Abstimmung mit den Fachressorts, insbesondere der Wasserwirtschaft, vorgenommen werden. Hier muss auch die wasserwirtschaftliche Beurteilung hinsichtlich der Ausweisung von Grundwasserschutzgebieten einfließen.

Die Regionalplanung kann auf dieser Grundlage entscheiden, ob für weitere Wasserressourcen aus Vorsorgegründen eine Festlegung zum Grundwasserschutz getroffen werden soll, Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit abfließenden Oberflächenwassers durch Waldmehrung ergriffen werden sollen oder Maßnahmen zur Lenkung des Wasserverbrauchs durch Ausschluss von Nutzungen entwickelt werden müssen.

Fokus: Klimafolgenbewertungen mit Bezug zu Fließ- und Stillgewässern

Die Klimafolgenbewertung im Zusammenhang mit der Sicherung von Wasserressourcen der Fließ- und Stillgewässer kann methodisch analog zum Grundwasserhaushalt analysiert und bewertet werden (s. Abb. 35). Der wesentliche Unterschied zu Teil 1 besteht in der Auswahl unterschiedlicher Wirkmodelle für Still- und für Fließgewässer, die sich deutlich von den Grundwasserhaushalts- und Landschaftswasserhaushaltsmodellen unterscheiden.

Schritt 1: Identifizierung der wesentlichen Wirkzusammenhänge bei regionaler Wasserknappheit

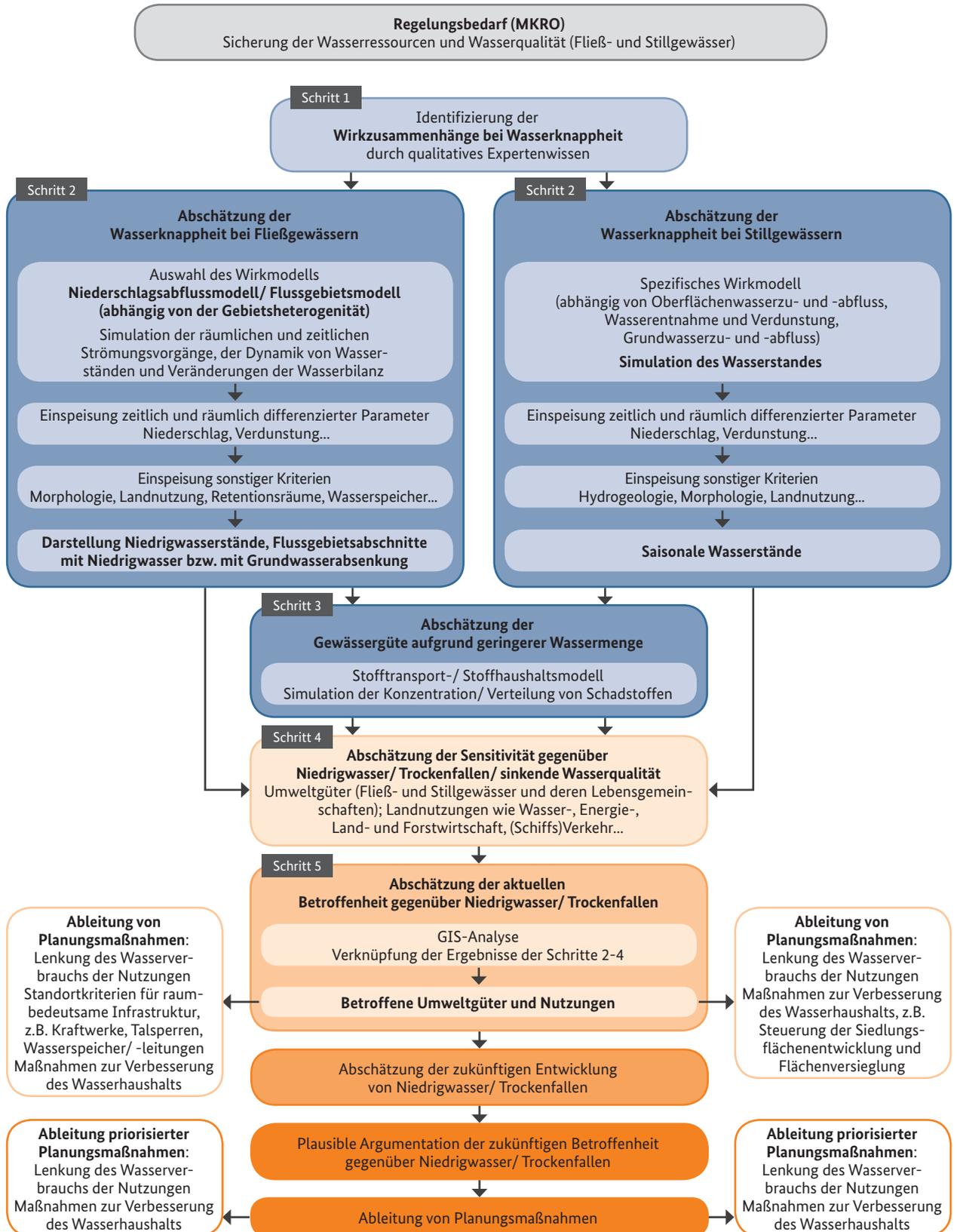
In Schritt 1 werden die wesentlichen Wirkzusammenhänge bei regionaler Wasserknappheit in Bezug auf das Regime der Fließ- und Stillgewässer auf Basis des in der Region vorhandenen Expertenwissens identifiziert.

Schritt 2: Abschätzung der Wasserknappheit bei Fließ- und Stillgewässern

Die Wirkmodelle zur Simulation der räumlichen und zeitlichen Strömungsvorgänge sowie der Dynamik von Wasserständen (zeitlicher Verlauf von Hoch- und Niedrigwasser) können bei Fließgewässern auf Basis von Niederschlagsabflussmodellen bestimmt werden. Auch der fließgewässerabhängige Grundwasserstand im Umfeld der Gewässerrinne kann mit Hilfe von Zusatzmodulen dargestellt werden. Die Auswahl des Niederschlagsabflussmodells ist abhängig vom betrachteten Untersuchungsgebiet, den Fragestellungen und der Heterogenität des Gebiets mit Blick auf die einzuspeisenden Parameter. Manche Niederschlagsabflussmodelle eignen sich nicht für kleine Einzugsgebiete; Flussgebietsmodelle dagegen decken großräumig ganze Flusssysteme ab. Die Auswahl des Wirkmodells sollte daher mit dem wasserwirtschaftlichen Fachressort abgestimmt werden.

Nach Einspeisung von Klimaparametern und Landnutzungsdaten in möglichst guter, wirkmodellabhängiger räumlicher und zeitlicher Auflösung können als Ergebnis Niedrigwasserstände an Fließgewässern pegel- oder

Abb. 35: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Regionale Wasserknappheiten“, Teil Fließ- und Stillgewässer (eigene Darstellung)



abschnittsbezogen dargestellt sowie die Häufigkeit und zeitliche Dauer der Perioden simuliert werden. Auch lassen sich Grundwasserabsenkungen als Folge der Niedrigwasserstände abbilden.

Wirkmodelle zur Abschätzung der Wasserknappheit bei Stillgewässern müssen spezifisch für das Stillgewässer bzw. für gleichartige Typen von Stillgewässern konzipiert werden. Stillgewässer sind in unterschiedlicher Weise sowohl abhängig von den Zu- und Abflüssen von Oberflächenwasser (und Fließgewässern) als auch von grundwasserbedingten Veränderungen der Wassermenge. Hinzu kommen Verdunstung und die Wasserentnahme durch Verbraucher. Im Ergebnis können Wasserbilanzen für das Stillgewässer erstellt und Wasserstände bestimmt werden.

Schritt 3: Abschätzung der Wasserqualität

Unterschiedliche Stofftransport- bzw. Stoffhaushaltsmodelle können die Stoffverteilung und Stoffkonzentrationen für Fließgewässer bzw. in Seen simulieren. Vor dem Hintergrund von Niedrigwasser bzw. Wasserknappheit in Seen können Schadstoffeinträge – etwa aus Abwassereleitungen aufgrund geringerer Verdünnung – oder Sauerstoffmangel durch ungenügende Umwälzung verstärkt zu Folgeproblemen führen.

Schritt 4: Abschätzung der Sensitivität gegenüber Wasserknappheit

Die Abschätzung der Sensitivität von Umweltgütern und Landnutzungen gegenüber Wasserknappheit erfolgt analog der Beschreibung in Teil 1. Hinsichtlich der Schiffbarkeit von Flüssen bei Niedrigwasser ist eine zusätzliche Beurteilung durch die Wasser- und Schifffahrtsämter notwendig.

Schritt 5: Abschätzung der aktuellen Betroffenheit von Landnutzungen und Umweltgütern gegenüber Wasserknappheit

Die Ermittlung der Betroffenheit von Landnutzungen und Umweltgütern erfolgt mittels einer GIS-Analyse – wie in Teil 1 (Grund- und Bodenwasserhaushalt) beschrieben.

Schritt 6: Abschätzung der zukünftigen Entwicklung von Wasserknappheit

Das weitere Vorgehen entspricht der gleichen Herangehensweise wie in Teil 1 (Klimafolgenbewertung zum Grund- und Bodenwasserhaushalt).

Beispiel: Klimafolgenbewertung für den regionalen Grund- und Bodenwasserhaushalt des Landes Niedersachsen

Ein gutes Beispiel der Klimafolgenbewertung für den regionalen Grund- und Bodenwasserhaushalt zeigt das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Niedersachsen (Wixwat 2009; Müller et al. 2012, Geoberichte 20).

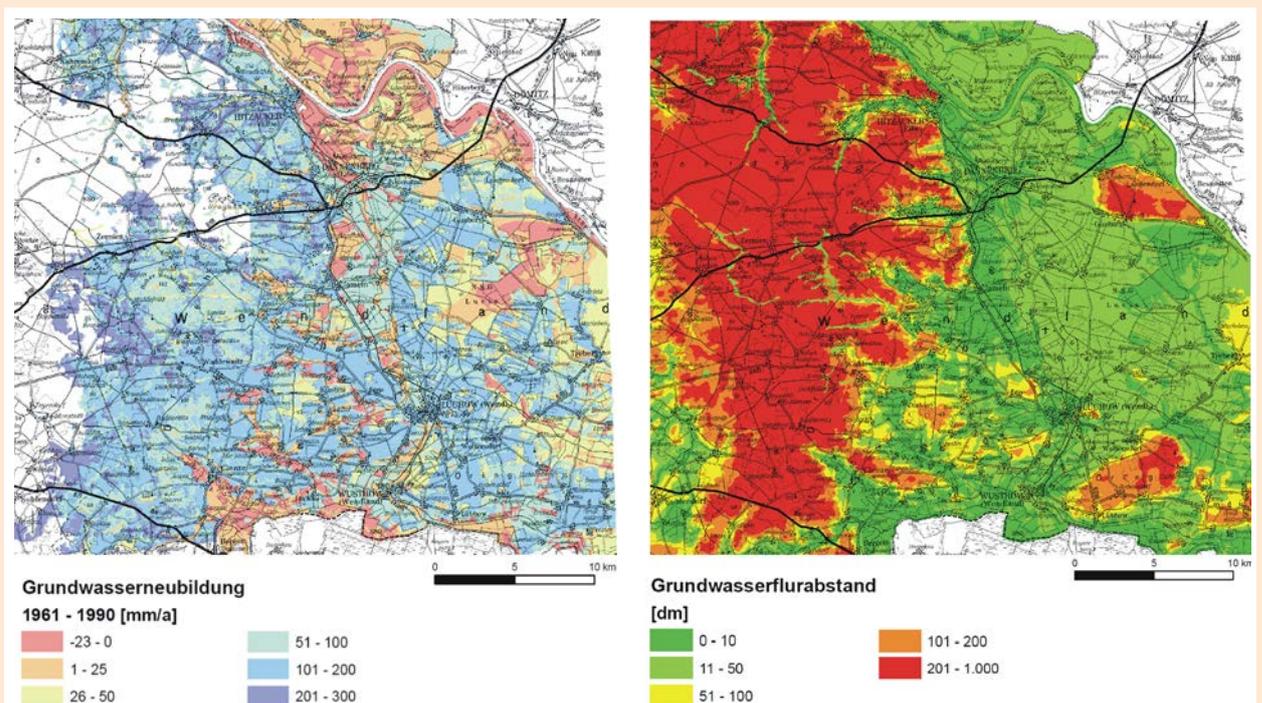
Die Bilanzierung des Grundwasserhaushalts wurde mit dem **Grundwasserhaushaltsmodell GROWA06V2** als Wirkmodell vorgenommen. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung (2007) lagen noch keine ausreichend regionalisierten Klimadaten für Niedersachsen vor, so dass Informationen zum Klimasignal aus den Klimastationsdaten abgeleitet wurden (s. Kap. 5.2). Die Sensitivität wurde über Modellierungen des Wasserhaushalts (Grundwasserhaushalt, Oberflächenabfluss) ermittelt. Das Großräumige Wasserhaushaltsmodell (GROWA06V2) als statisches Modell berechnet den Grundwasserhaushalt und das Abflussgeschehen auf der Grundlage eines 50 x 50 m Rasters. Das Modell ist für den

regionalen Maßstab (1:50.000) geeignet. Hinsichtlich der Klimaparameter wurde die 30jährigen Mittelwerte auf Basis des WETTREG 2006 eingespeist.

Im Ergebnis werden Karten der Grundwasserneubildung in der Klimanormalperiode (Status quo 1961/1990) dargestellt. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt in Abhängigkeit des Grundwasserflurabstandes. Im vorgestellten Beispiel sind die aktuellen Grundwasserneubildungsraten im westlichen Teilraum bei großem Grundwasserflurabstand höher als im östlichen Teil mit einem geringeren Grundwasserflurabstand. Der unterschiedliche Grundwasserflurabstand erklärt sich dabei im Wesentlichen durch die Geländehöhe, die im östlichen Teil niedriger ist (s. Abb. 36).

Der Einfluss des Klimawandels wurde mit Hilfe der verfügbaren WETTREG 2006-Daten simuliert. Für die Stationen sind die oben genannten Klimaparameter auch für den Zeitraum 2071-2100 verfügbar. Durch Einspeisung der geänderten Klimaparameter bei sonst gleichen Bedingungen lassen sich räumlich differenzierte Veränderungen in der Grundwasserneubildungsrate aufzeigen. Das heißt, Klimafolgen werden auch bei den Zukunftsszenarien vor dem Hintergrund der aktuellen Landnutzung betrachtet. Seitens der Sensitivität wurde kein Veränderungsszenario bestimmt.

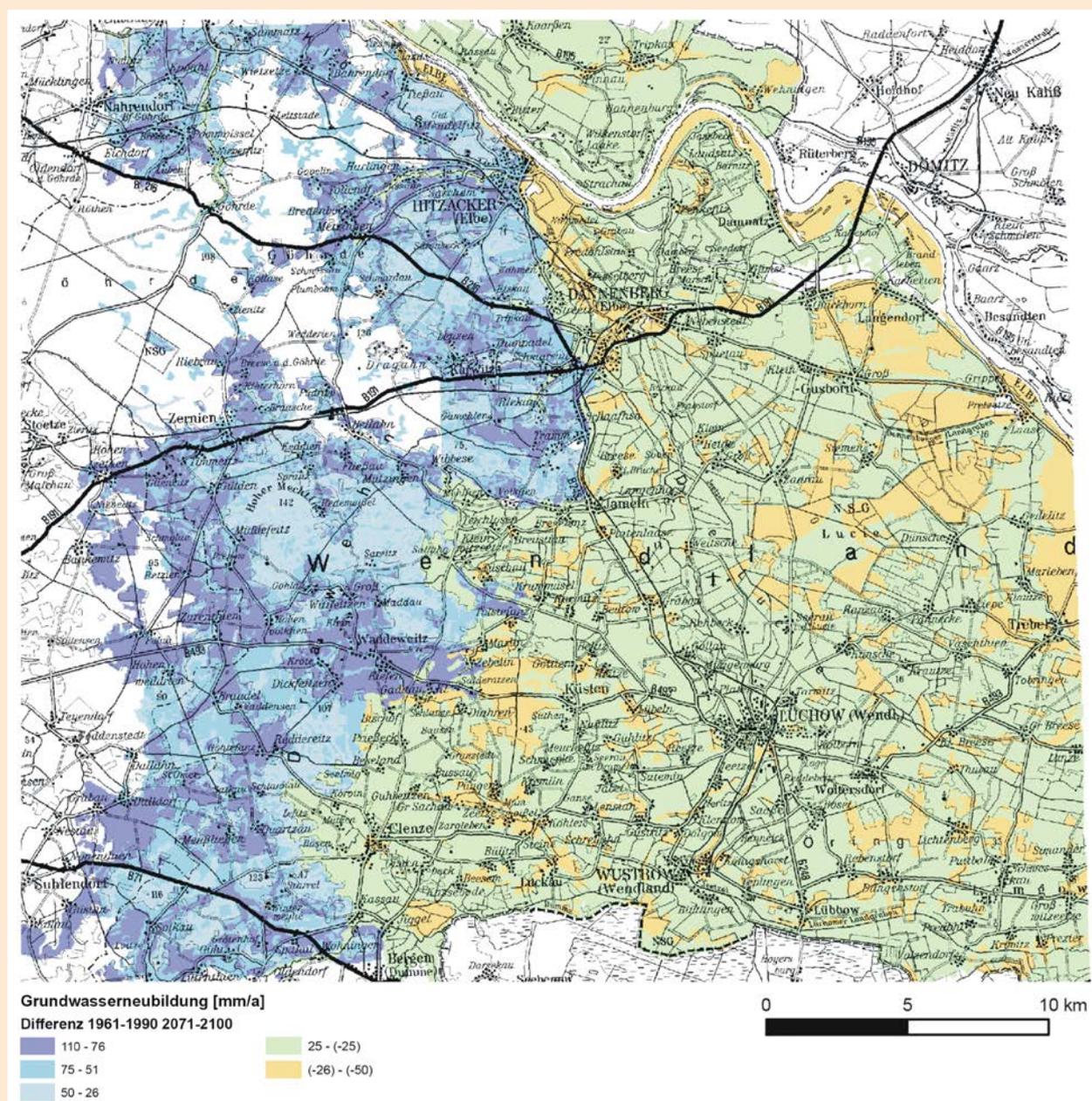
Abb. 36: Grundwasserneubildung und Grundwasserflurabstand in der Klimanormalperiode (Wixwat 2009: 32, 42; © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)



Die Karte (s. Abb. 37) zeigt die Grundwasserneubildung als Differenz der Periode 2071-2100 zur Klimanormalperiode. Im westlichen Teilraum kommt es zu einer Erhöhung der Grundwasserneubildungsrate um bis zu 100 mm/a. Dagegen schwankt die Neubildungsrate im östlichen Teil in einer Bandbreite von 25 bis -25 mm/a. Dies liegt vor allem am prognostizierten abnehmenden Niederschlag und der höheren Verdunstung.

Das Beispiel bietet eine Grundlage zur Beurteilung der Veränderung von Grundwasserressourcen. Für spezifische Fragestellungen zur Sicherung von Wasserressourcen müssen weitere Modellierungen wie die Bemessung von potenziellen Vorranggebieten für den Grundwasserschutz analog DVGW Arbeitsblatt W 101(2006) vorgenommen werden (Eckl/Raissi 2009).

Abb. 37: Differenz der Grundwasserneubildung in der Periode 2071-2100 zur Klimanormalperiode (Wixwat 2009: 34; © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)



Für Fragestellungen zum **Erhalt bzw. der Verbesserung des Wasserhaushalts der Böden** (Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit, Verbesserung des Infiltrationsvermögens) erfolgten Simulationen zum Bodenwasserhaushalt. Zunächst wurde der Grundwasserhaushalt mit dem Modell mGROWA als dynamisches Modell, das den innerjährlichen Gang des Wasserhaushalts berücksichtigt, berechnet. Die Analysen können für unterschiedliche Zeitabschnitte auf Tagesbasis erfolgen, wobei die Datenausgabe Monatswerte der wesentlichen Komponenten des Wasserhaushaltes wie Evapotranspiration, Gesamtabfluss (aufgeschlüsselt in Direktabfluss und Drainageabfluss) sowie als wichtigstes Ergebnis die Grundwasserneubildungshöhe bereitstellt. Die Rastergröße beträgt 100 x 100 m flächendeckend für ganz Niedersachsen. Als Eingangsdaten können sowohl DWD-Daten als auch Klimaszenariodaten verwendet werden.

Die Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturen und der Landschaftswasserhaushalt wurden anschließend mit dem gekoppelten Modell mGROWA-BOWAB als Wirkmodell bestimmt. Das Modell mGROWA-BOWAB als integriertes Wasserhaushalts- und Bodenwasserhaushaltsmodell berechnet dabei den Landschaftswasserhaushalt. Umsatzraten (v.a. Verdunstung und Sickerwasser) können nicht nur für Ackerstandorte (wie bei BOWAB), sondern auch für andere Vegetationstypen wie Wald und Grünland ermittelt werden.

Die regionalisierten Klimaparameter zur Bestimmung des Klimasignals wurden anhand von WETTREG 2010-Daten mit dem Interpolationsmodell CLINT berechnet und für die hohe räumliche Auflösung von 100 x 100 m und die zeitliche Auflösung von 10 Tagen für das mGROWA-BOWAB-Modell verarbeitet (Herrmann et al, in Vorbereitung). Müller et al. (2012) beschreiben das Vorgehen in Bezug auf die Ermittlung der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlich genutzter Böden: Mit Hilfe des pflanzenverfügbaren Bodenwassers und der klimatischen Wasserbilanz in der Hauptvegetationsperiode (Sommer)

lässt sich anhand mehrerer Algorithmen die Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturen als Sensitivitätskriterium ableiten (Müller et al. 2012:32). Die klimatische Wasserbilanz als Differenz zwischen Niederschlagshöhe und Verdunstungshöhe während der Hauptvegetationsperiode (Mai bis Oktober) wird aus Stationsdaten des DWD interpoliert. Bodenseitig werden mit Hilfe der landesweit verfügbaren nutzungsdifferenzierten Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50.000 (BÜK50n) und der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005) die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum und der kapillare Wasseraufstieg bestimmt. Sofern ein Defizit hinsichtlich des pflanzenverfügbaren Wassers besteht, kann schließlich die Beregnungsbedürftigkeit anhand von Tabellen für die jeweilige Feldfrucht abgeleitet werden. Eine konkrete Rechenanleitung zeigen Müller et al. (2012: 32ff). Das Modell BOWAB simuliert dabei die vorgenannten Arbeitsschritte zur Berechnung des Bodenwasserhaushalts von Ackerflächen, das Modell mGROWA-BOWAB darüber hinaus aber auch den Landschaftswasserhaushalt unter Wald oder Grünland.

Der Einfluss des Klimawandels wird über die Änderung des Klimasignals anhand der klimatischen Wasserbilanz bestimmt (s. Abb. 38). Diese ist vor allem im Sommer während der Hauptvegetationsperiode relevant. An dem Beispiel wird deutlich, dass der zeitliche Verlauf und die Dynamik der Prozesse eine wesentliche Rolle spielen. Im Ergebnis zeigt sich für Niedersachsen die räumlich differenzierte Veränderung der klimatischen Wasserbilanz während der Hauptvegetationsperiode vom Referenzzeitraum bis 2100 wie auch der Beregnungsbedürftigkeit von Ackerflächen (keine Änderung bis Zunahme der Beregnungsmenge bis 80 mm pro Jahr; s. Abb. 39, 40).

Weitergehende Informationen

Land Niedersachsen: www.lbeg.niedersachsen.de

Abb. 38: Zeitlicher Verlauf der klimatischen Wasserbilanz in Niedersachsen projiziert mit WETTREG 2010 (Müller et al. 2012: 62; © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)

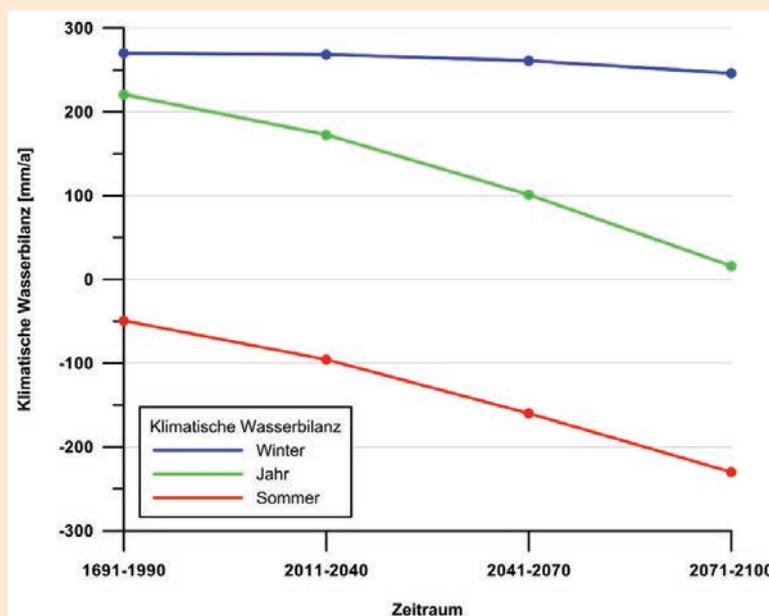


Abb. 39: Veränderung der klimatischen Wasserbilanz während der Hauptvegetationsperiode vom Referenzzeitraum bis 2100 (Müller et al. 2012: 61; © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)

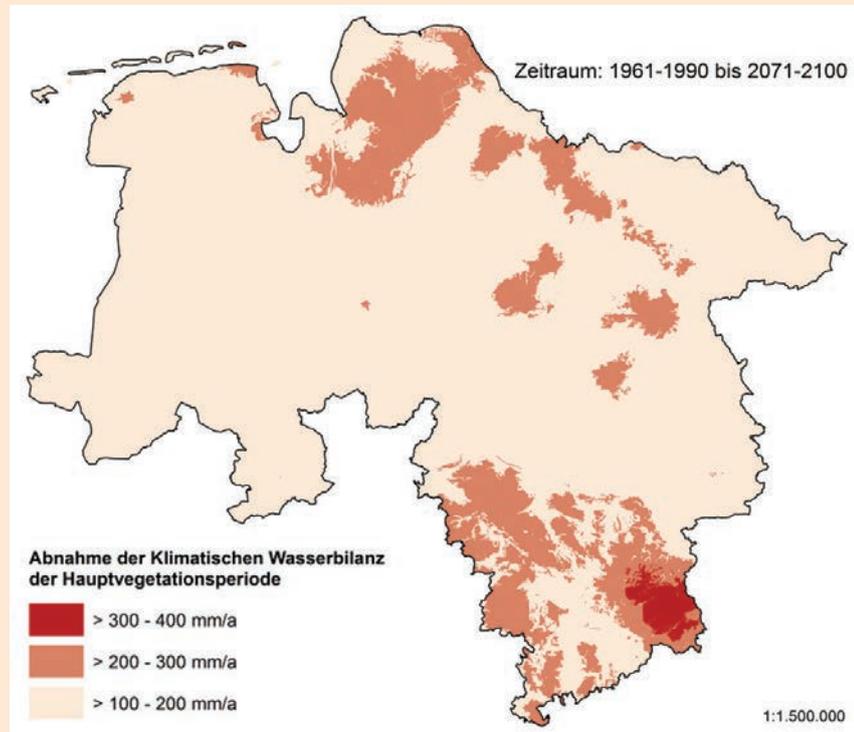
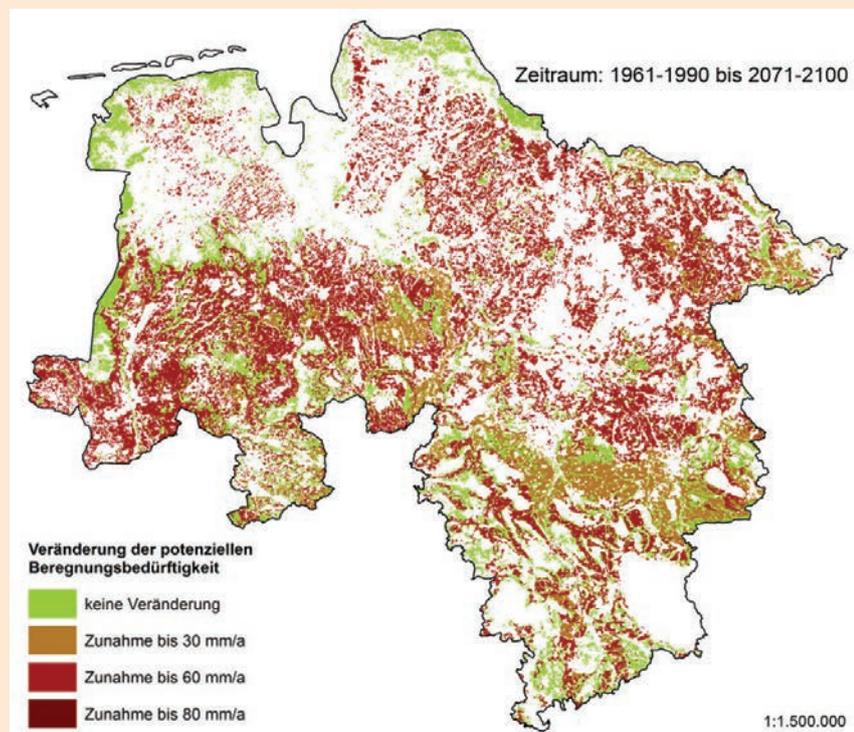


Abb. 40: Differenz der Beregnungsbedürftigkeit in der Periode 2071-2100 zur Klimanormalperiode projiziert mit WETTREG 2010 (Müller et al. 2012: 67; © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)



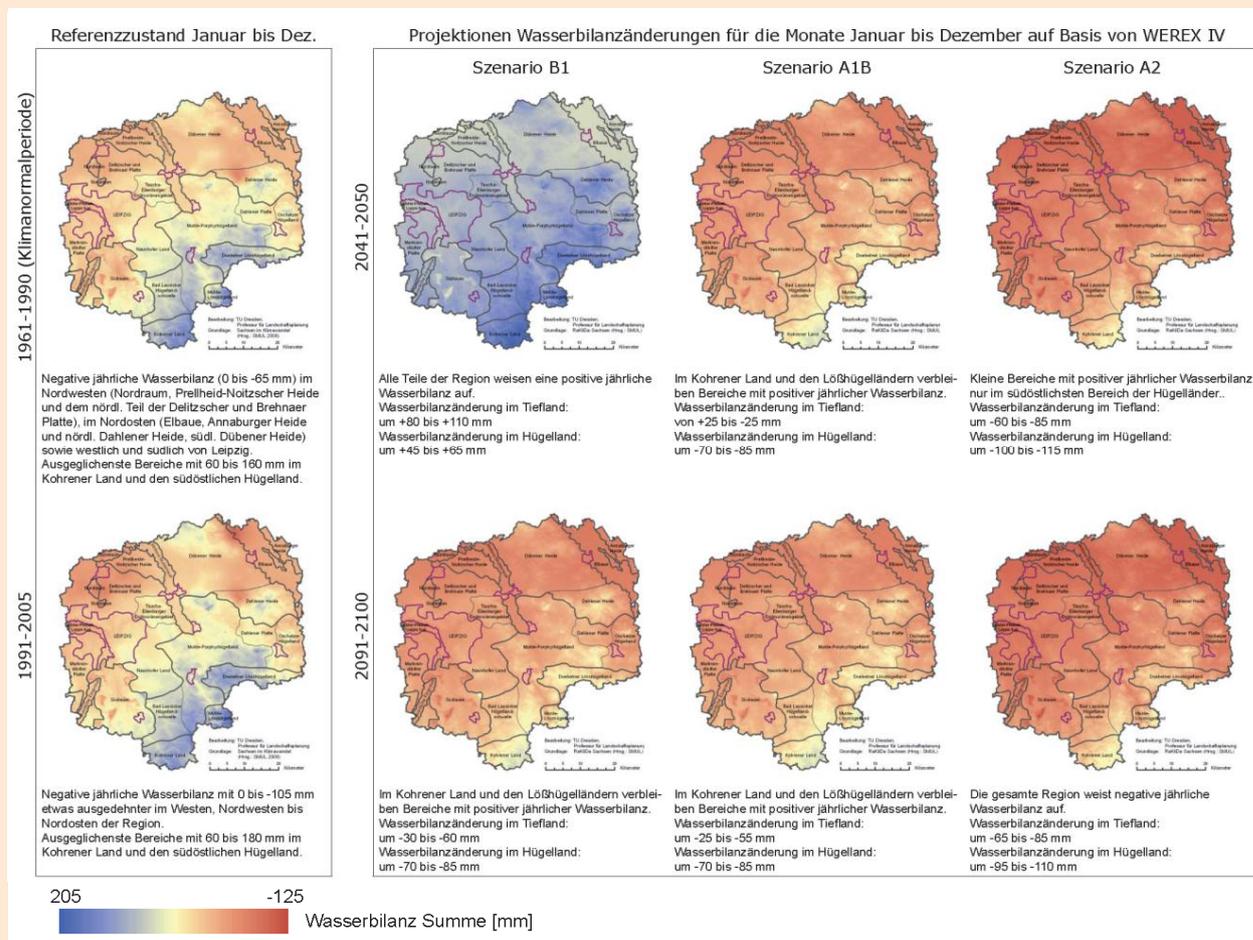
Beispiel: Analyse der Betroffenheit von Landnutzungen gegenüber Wasser- knappheit in der Planungsregion West Sachsen

Liegen Informationen zur klimatischen Wasserbilanz auf der Grundlage von Klimamodellierungen zur Beschreibung des **Klimasignals** vor, können Betroffenheitsanalysen auch durch einfache GIS-Analysen ohne weitergehende hydrogeologische Modellierungen vorgenommen werden. Für den Vergleich zur Modellierung wird das Vorgehen der Klimafolgenbewertung für die Betroffenheit landwirtschaftlicher Böden gegenüber Austrocknung (als Ausschnitt aus der weitergehenden Gesamtbewertung) am Beispiel Westsachsen beschrieben. (Schmidt et al. 2011)

Auf Basis des regionalisierten Klimamodells WEREX IV wurde vor dem Hintergrund der Klimanormalperiode (1961-1990) und mehrerer Klimaprojektionen jeweils die klimatische Wasserbilanz für Westsachsen berechnet. Die Daten basieren auf einer räumlichen Auflösung von 1 x 1 km, werden aber in einer Auflösung von 10 x 10 km herausgegeben (Schmidt et al. 2011: 21). Die Ergebnisse der Wasserbilanz werden mit den Sensitivitäten von Umweltgütern und Landnutzungen zur Betroffenheit verknüpft (s. Abb. 41).

Auf Grundlage naturräumlicher Daten (Landschaftstypen gemäß Regionalplan Westsachsen 2008) wurden Planungsräume abgegrenzt, in denen ähnliche klimatische Veränderungen aus den Klimaprojektionen hervorgehen (s. Abb. 42). Dabei wurden die Ergebnisse der Klimaveränderungen aus den unterschiedlichen Klimaprojektionen im Vergleich zur Klimanormalperiode als Entwicklungstendenz kategorisiert. Hintergrund der Ableitung der Planungsräume ist die Ermittlung von Planungsschwerpunkten (Schmidt et al. 2011: 41).

Abb. 41: Klimatische Wasserbilanz in der Klimanormalperiode (1961-1990), im Zeitraum 1991-2005 sowie in den Perioden 2041-2050 und 2091-2100 für die Szenarien B1, A1B und A2 (Schmidt et al. 2011: 37)



Um die Betroffenheit landwirtschaftlicher Böden gegenüber Austrocknung zu beurteilen, wird zunächst die standörtliche Sensitivität der Böden in Abhängigkeit der Indikatoren Grundwasserflurabstand und nutzbare Feldkapazität mit Hilfe einer Matrix beurteilt (gering bis sehr hoch). Anschließend werden die Ergebnisse (standörtliche Sensitivität bestimmter Ackerböden) mit den Klimaplanungsräumen (gekennzeichnet durch eine unterschiedliche klimatische Wasserbilanz) per GIS-Analyse verschnitten (Schmidt et al. 2011: 132). Im Ergebnis finden sich (vereinfacht) die landwirtschaftlichen Böden mit unterschiedlich starker Betroffenheit gegenüber Austrocknung (s. Tab. 10, Abb. 43-45).

Weitegehende Informationen

Publikationen der KlimaMORO-Region Westsachsen:
www.klimamoro.de

Abb. 42: Planungsräume im Klimawandel auf Grundlage der Klimaprojektionen (Schmidt et al. 2011: 41)

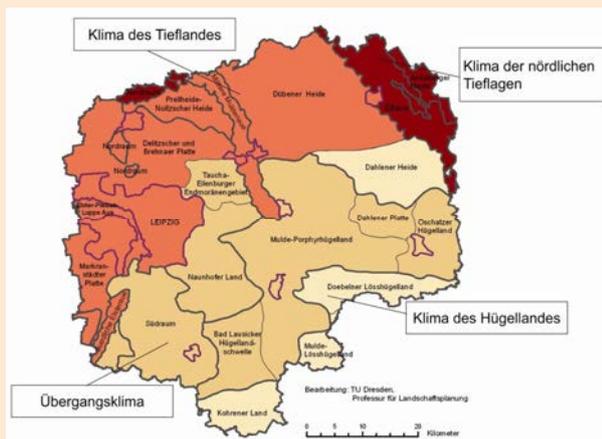


Abb. 43: Klimatische Veränderung in Westsachsen (Schmidt et al. 2011, Karte 6_7)

Klimaraum	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4
Charakteristika	Tiefstlagen	Tieflagen	Übergangslagen	Hügelland
Temperaturhöhe	[Bar chart showing increasing temperature height from left to right]			
Niederschlagsrückgang	[Bar chart showing increasing precipitation decrease from left to right]			
Negativität Wasserbilanz	[Bar chart showing increasing negative water balance from left to right]			
Temperaturänderung	↑	↑	↑	↑
	1	2	3	4

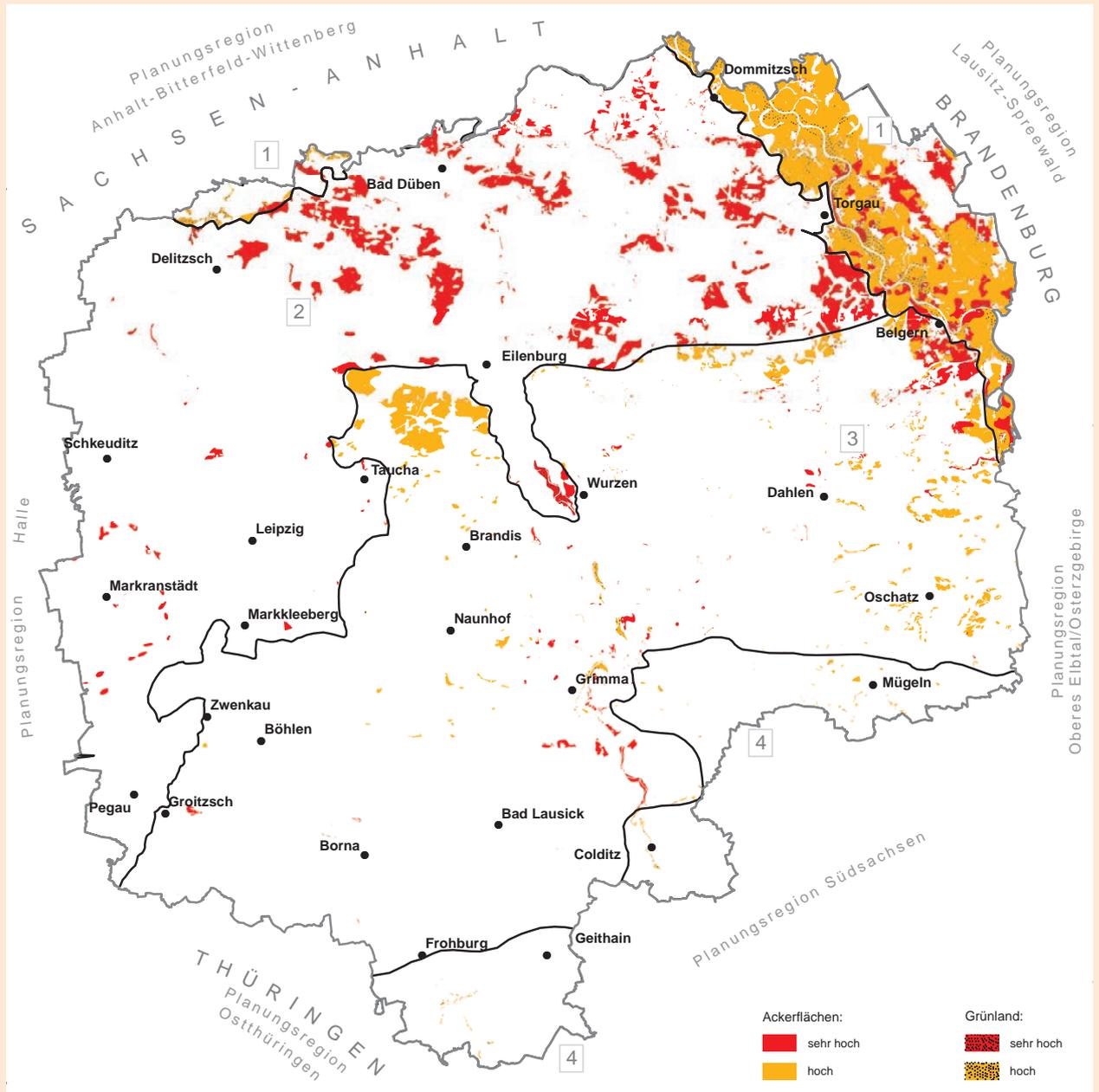
Tab. 10: Bewertung der standörtlichen Sensitivität landwirtschaftlicher Böden gegenüber Austrocknung (eigene Darstellung nach Schmidt et al. 2011: 130)

Nutzbare Feldkapazität (in mm/dm)	Grundwasserflurabstand (m)		
	> 1	0,5-1	< 0,5
≤ 50	sehr hoch	hoch	gering
> 50 bis 90	hoch	mittel	gering
> 90	gering	gering	gering

Abb. 44: Bewertung der Betroffenheit landwirtschaftlicher Böden gegenüber Austrocknung (Schmidt et al. 2011: 132)

Klimatische Wasserbilanz (Exposition)		Tieflagen (regional höchste Temperaturen, geringster Niederschlag)	Tiefland (regional hohe Temperaturen, geringe Niederschläge)	Übergangslagen	Hügelland (regional tiefste Temperaturen, höchster Niederschlag)
		Sensitivität der Böden gegenüber Austrocknung (Grundwasserflurabstand > 1 m)	sehr hoch	hoch	mittel
Bewertung nach Tabelle 6-8	sehr hoch	sehr hohe Vulnerabilität	sehr hohe Vulnerabilität	sehr hohe Vulnerabilität	hohe Vulnerabilität
	hoch	sehr hohe Vulnerabilität	sehr hohe Vulnerabilität	hohe Vulnerabilität	mittlere Vulnerabilität
	mittel	sehr hohe Vulnerabilität	hohe Vulnerabilität	mittlere Vulnerabilität	geringe Vulnerabilität
	gering	hohe Vulnerabilität	mittlere Vulnerabilität	geringe Vulnerabilität	geringe Vulnerabilität

Abb. 45: Karte der Betroffenheit landwirtschaftlicher Böden gegenüber Austrocknung (Schmidt et al. 2011: 133)



Beispiel: Regionale Wasserknappheiten als Querschnittsthema in komplexen Fragestellungen der Klimafolgenbewertung

Im Zusammenhang mit der Modellierung des regionalen Wasserhaushalts entstehen immer wieder komplexe Fragestellungen bei der Ermittlung und Bewertung der Klimafolgen, insbesondere im Zusammenhang mit Veränderungen des Wasserhaushalts. Dies betrifft einerseits die Abbildung von Wechsel- und Rückkopplungsbeziehungen, wenn mehrere Umweltgüter, wie z.B. der veränderte Wasserhaushalt im Zusammenspiel mit Pflanzenwachstum und landwirtschaftlichem Ertrag bei durch Klimawandel veränderten Vegetationszeiten, betrachtet werden. Es kann sich andererseits aber auch auf Sekundärwirkungen beziehen, etwa den Einfluss verminderter Wasserführung auf die Energieerzeugung von Wasserkraftwerken oder versicherungsrelevante Schadensabschätzungen aufgrund von durch Klimawandel veränderten Häufigkeiten von Hochwasserereig-

nissen. Häufig steht dabei das ökohydrologische Modell SWIM (Soil and Water Integrated Model) im Mittelpunkt der Untersuchungen zum Wasserhaushalt (s. Abb. 46). SWIM bildet dabei Wasserflüsse, Pflanzenwachstum und Nährstoffkreisläufe auf der Grundlage von Hydrotopen (Gebiete mit einheitlichen Landnutzungen, Bodenverhältnissen und Wetterbedingungen) ab. Die Outputs dieser Simulationen können dabei mit weiteren Modellen gekoppelt werden. In diesem Zusammenhang wird an dieser Stelle exemplarisch auf Arbeiten des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) verwiesen (s. Abb. 47, 48).

Weitergehende Informationen

Konferenz „Klimafolgen für Deutschland“ 2012:
www.klimafolgenkonferenz.de

PIK – SWIM: www.pik-potsdam.de

PIK – Flagship iCROSS: www.pik-potsdam.de

PIK – Publikationen: www.pik-potsdam.de

Helmholtz-Gemeinschaft – Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: www.glowa-elbe.de

Abb. 46: Das Modell SWIM (Soil and Water Integrated Model; Hattermann et al. 2012a: 8)

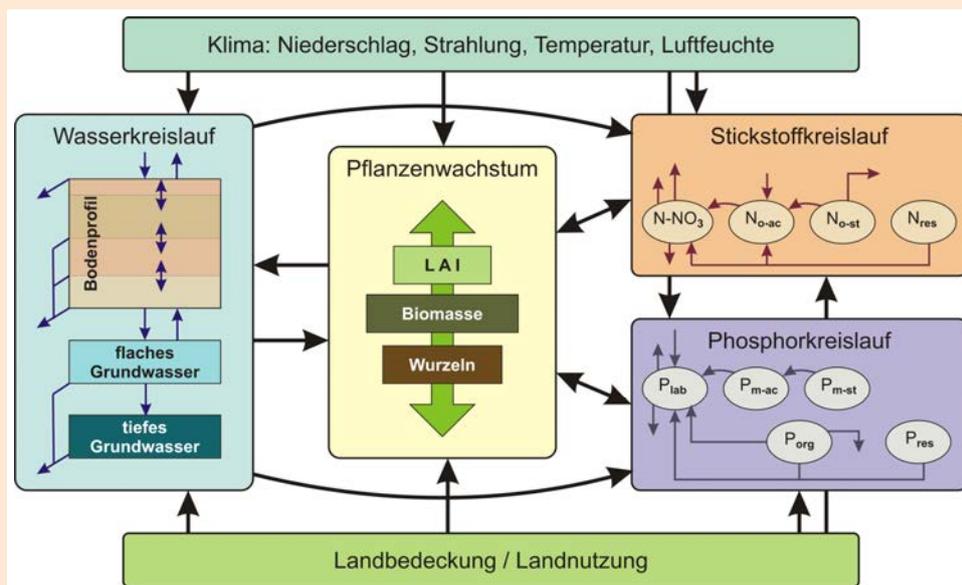


Abb. 47: Simulation des Hochwasserschadens: Vergleich 1961-2000 zu 2041-2070 und 2041-2100 (Hattermann et al. 2012a: 18; Schadensfunktionen: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), modelliert am PIK (Huang et al. 2012, Hattermann et al. 2012b))

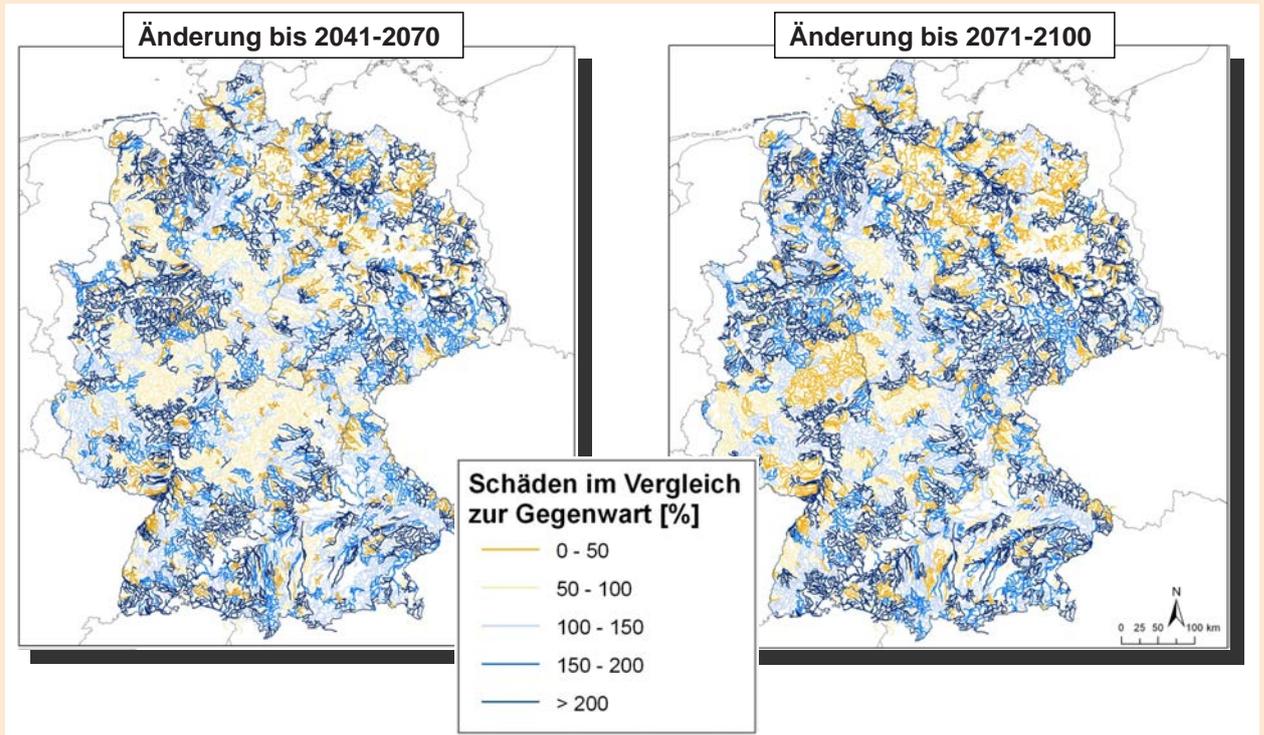
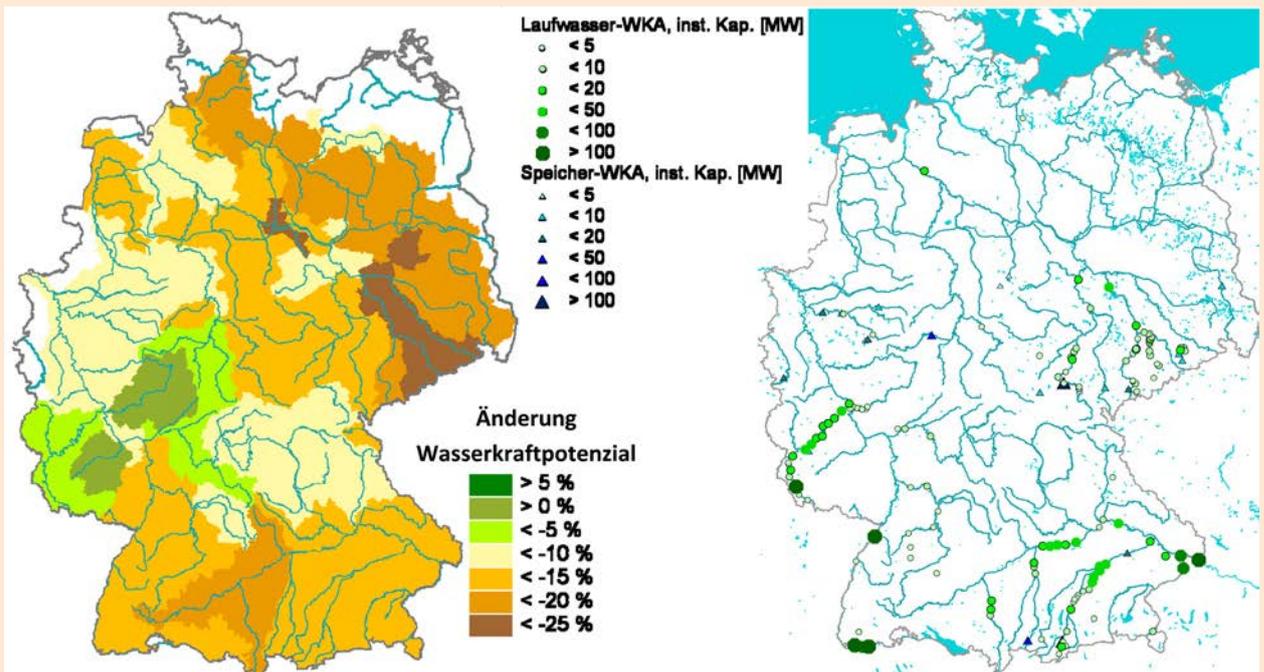


Abb. 48: Simulation der Änderung des Wasserkraftpotenzials 2041/2060 gegenüber 1991/2010 (Koch et al. 2012: 4)





Klima Anlage

Papier
Plastik
Restmüll

5.3.3 Schutz vor Hitze­folgen in Siedlungsbereichen (bioklimatische Belastungsgebiete)

Ausgangslage

Der Schutz vor Hitze­folgen bezieht sich in erster Linie auf die Herausforderungen des Klimawandels in den Kernstädten der Verdichtungs­räume. Der höhere Versiegelungs­grad und die verwendeten Baumaterialien (Stein, Beton) führen dazu, dass sich – im Vergleich zum stärker von Wald- und Wiesen­flächen geprägten Umland – ein typisches Stadtklima heraus­bildet. Kennzeichen sind dabei ein anderes Wärme­verhalten sowie ein ver­ringertes Luftaustausch durch die erhöhte Rauigkeit der Gebäude, was zur Heraus­bildung der städtischen Wärmeinsel führt (MKRO 2013: 25).

Die städtische Wärmeinsel führt dazu, dass die Innenstädte in den Nachmittags- und Nachtstunden deutlich langsamer abkühlen als die Umgebung. Der Effekt nimmt mit zunehmendem Versiegelungs­grad und Baumassendichte an Intensität zu. Von besonderer Bedeutung sind lang anhaltende Hitze­wellen und insbesondere nächtlich hoch bleibende Temperaturen in sogenannten „Tropennächten“. Sie können in Großstädten zu Gesundheits­belastungen bis hin zu einer akuten Gefährdung von Menschenleben führen.

Die MKRO (2013: 25) schließt sich der vorherrschenden Meinung der Klimawissenschaftler an, wonach sich die Zahl der Sommertage (Maximumtemperatur $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) pro Jahr in Deutschland von derzeit ca. 30 Tagen ungefähr verdoppeln wird. In großen Städten, in denen schon heute bis zu 50 Sommertage gemessen werden, kann sich deren Zahl bis zum Ende des Jahrhunderts auf bis zu 80 Tage erhöhen.

Wesentliche Faktoren bei der Ausprägung der städtischen Wärmeinseln sind die bioklimatischen Bedingungen der Region. Beispielsweise sorgen die bioklimatischen Umgebungsbedingungen im Oberrheingraben oder im Raum Rhein-Main für eine deutlich stärkere Belastung als in Norddeutschland. Lokale oder regionale Windsysteme können eine große Wirkung auf das Makroklima von Städten haben, da sich diese in topographisch bewegtem Gelände durch Kaltluftabflüsse und Bergwinde bilden und somit zu

einer Abkühlung und Verminderung der Wärmebelastung führen können. Aus diesem Grund ist es wichtig, die für den Luftaustausch relevanten Flächen als bioklimatische Entlastungsgebiete zu erhalten, da sie für die Kaltluftproduktion sorgen und als Luftleitbahnen den Transport der Kaltluft in die Stadt ermöglichen (MKRO 2013: 26).

Regelungsbedarf der Regionalplanung

In der Raumordnung muss es beim Umgang mit Hitze­folgen in Siedlungsbereichen folglich darum gehen, an der Schnittstelle zwischen der regionalen und kommunalen Ebene dafür Sorge zu tragen, dass Wirkräume mit bioklimatischen Belastungen und Ausgleichsräume mit bioklimatischer Bedeutung im klimaökologischen Zusammenhang betrachtet werden. Als Ansatzpunkte bieten sich hier insbesondere der Schutz klimawirksamer Freiräume sowie die räumliche Steuerung der Siedlungsflächen- bzw. der Infrastrukturentwicklung an.

Freiräume sind dann klimawirksam, wenn sie als Ausgleichsräume für bioklimatische Belastungsräume dienen können. Beim Schutz klimawirksamer Freiräume steht v.a. der strukturelle und qualitative Schutz des Freiraums im Vordergrund. Ziel des strukturellen Freiraumschutzes ist die Erhaltung von ausreichend großen, un- oder gering zerschnittenen und damit funktionsfähigen Freiräumen. Konzeptionelle Ansätze sind hier beispielsweise Regionale Grünzüge oder Grünzäsuren. Sie können insbesondere in Verdichtungs­räumen eine große Bedeutung im Hinblick auf ihre klimatologischen Ausgleichsfunktionen (Temperatenausgleich, Kaltluftproduktion und -leitung) entfalten (Bürklein 2005: 436). Der qualitative Freiraumschutz zielt auf eine Verbesserung oder Entwicklung von Freiraumfunktionen ab. Da keine Klimafachplanung existiert, kommt der Raumordnung bzw. der Regionalplanung gerade bei der Verbesserung und Entwicklung der klimatischen Funktionen des Freiraums eine bedeutende Rolle zu, wengleich hier der Übergang zum Naturschutz und zur Landschaftsplanung fließend ist. Seitens der Raumordnung stehen zum Schutz der Klimafunktion von Freiräumen insbesondere die Umsetzungsinstrumente im Rahmen des Regionalplans (textliche Ziele, quantifizierte Zielsetzungen, zeichnerische Darstellungen) zur Verfügung (Ritter

2005: 338f): Bei der zeichnerischen Darstellung lässt sich das Konzept des generellen Freiraumschutzes (gesamter Planungsraum flächendeckend in Freiraum und Siedlungsraum eingeteilt; Freiraumfunktion „Klima“ gesondert ausgewiesen) vom Vorbehalts- oder Vorrangkonzept (Ausweisung einzelner Gebiete, die Klimafunktionen erfüllen) unterscheiden.

Da **Siedlungsflächen- und Infrastrukturentwicklung** oft in Konflikt mit dem Schutz des Freiraums stehen, können im Regionalplan über Vorranggebiete Siedlungszuwachsf lächen sowie Infrastrukturtrassen und -standorte festgelegt werden. Über den generellen Freiraumschutz können der Siedlungsflächenzuwachs begrenzt sowie Freiräume für die Erfüllung der klimatischen Funktionen gesichert und entwickelt werden (Knieling/Weick 2005: 931). Weitere Ansatzpunkte sind textliche Vorgaben für die Bauleitplanung, wonach klimaökologische Auswirkungen und erkennbare Gefährdungen durch extreme meteorologische Ereignisse berücksichtigt werden sollen, sowie die Darstellung von thermischen Belastungsgebieten (MKRO 2013: 27).

Beim Umgang mit Hitzefolgen im Siedlungsbereich ist insbesondere das Zusammenspiel zwischen der Regionalplanung und der **Bauleitplanung** einerseits sowie der Landschaftsplanung andererseits von Bedeutung. Der Bezug zur Bauleitplanung ergibt sich aus dem in der Regel überörtlichen Charakter von Windsystemen oder Kaltluftabflüssen. Eine kommunale klimatologische Analyse muss stets in regionale Zusammenhänge eingebettet sein. Folglich sind seitens der Regionalplanung auch Vorgaben für die kommunale Bauleitplanung vorzugeben, um überörtlich bedeutsame Ausgleichsräume zu sichern.

Seitens der Fachplanungen ist insbesondere das Zusammenspiel mit der **Landschaftsplanung** von großer Bedeutung. Die Landschaftsplanung liefert die Grundlage zur Berücksichtigung aller Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege für die Regionalplanung (BfN 2007: 10). Dies bezieht sich auf das Zusammenspiel zwischen Freiraumkonzepten der Landschaftsplanung, die auch dem Erhalt von Arten und dem Landschaftsbild dienen, und den funktionalen Konzepten zur Verbesserung des Regionalklimas seitens der Regionalplanung. Auf instrumenteller Ebene geht es dabei um die – je nach Bundesland verschie-

dene – Integration der Inhalte des Landschaftsrahmenplans in den Regionalplan. Für die Regionalplanung stellt die Landschaftsplanung eine entscheidende Informations- und Handlungsgrundlage dar, um ihre Ziele bzw. Entscheidungen in einen naturgutübergreifenden landschaftlichen Zusammenhang zu stellen (BfN 2007: 10). Dies umfasst auch Aussagen zu Klimafunktionen der Landschaft.

Grundsätzlicher methodischer Ansatz der Klimafolgenbewertung

Beim Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen geht es darum, Abschätzungsgrundlagen zu ermitteln, aufgrund derer sich die Darstellung von Inhalten in Regionalplänen sowie die Anwendung anderer Instrumente „rechtssicher“ begründen lassen. Rechtssicherheit lässt sich nur über eine Klimafolgenbewertung erzielen, die auf Grundlage des rezenten Klimas geschieht und räumlich explizite Aussagen macht.

Aus bisherigen Arbeiten sind bereits erste Leitfäden zur regionalklimatologischen Analyse unter sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen entwickelt worden. So hatte beispielsweise der im Rahmen der KlimaMORO-Verstetigungsphase (KlimaMORO II) aus dem Modellvorhaben „klamis – Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen“ heraus entwickelte Leitfaden zum Ziel, durch Formulierung allgemeingültiger Standards die bisher sehr unterschiedliche Vorgehensweise bei der Sicherung regional bedeutsamer, klimarelevanter Flächen vergleichbarer zu gestalten. Im Leitfaden werden die Ergebnisse des KlimaMORO – Phase II zusammengefasst; sie vermitteln anschaulich den aktuellen Stand der Forschungen und Ansätze zur Identifikation überörtlich klimarelevanter Flächen (klamis 2013: iii). Im Kern des Leitfadens steht die Beurteilung der Durchlüftungssituation einer Region. Die dafür notwendigen Informationen umfassen die Zuordnung von bioklimatisch und/oder lufthygienisch belasteten Räumen (Wirkräume) zu den Räumen, in denen Kaltluft entsteht (Herkunftsräume). Hierzu werden für die Regionalplanung Anforderungen an Daten/Informationen formuliert und methodische Ansätze bewertet (klamis 2013: iii).

Im Kern der folgenden Analyseschritte (s. Abb. 49) steht entsprechend dem in Kapitel 5.2 beschriebenen allgemeinen Vorgehen daher in der ersten Phase ein GIS-gestützter Ansatz, der in den Schritten 2 bis 4 beschrieben wird. Schritt 5 bezieht die Veränderung des zukünftigen Klimas in die Betrachtung ein, geht aber über den Status der rechtssicheren Abschätzung hinaus. Eine Phase zur Spezifizierung des Untersuchungsrahmens kann dem Ansatz vorgeschaltet werden (Schritt 1).

Schritt 1: Identifizierung der wesentlichen Wirkzusammenhänge bei Hitzefolgen in Siedlungsbereichen

Je nach Vorwissen innerhalb der Region kann zunächst eine Phase zur grundsätzlichen Spezifizierung des Untersuchungsgegenstandes vorgeschaltet werden, bei der die wesentlichen Wirkzusammenhänge bei Hitzefolgen in Siedlungsbereichen identifiziert werden. Methodisch kann dieser Schritt qualitativ in Form eines Workshops unter Beteiligung von Vertretern der Regionalplanung, der relevanten Fachplanungen (insb. Landschaftsplanung) sowie externer Experten durchgeführt werden. Ausgangspunkt für einen solchen Workshop können die Ergebnisse aus dem zuvor durchgeführten Screeningverfahren (s. Kap. 4) sein. Dieser Schritt dient dazu, den Untersuchungsgegenstand so einzugrenzen, dass nur die wesentlichen Zusammenhänge in den späteren GIS-Analysephasen untersucht werden, was letztlich einem effizienten Einsatz von Ressourcen dient. Im Ergebnis werden die wesentlichen Wirkzusammenhänge in Form einer Liste, einer Wirkmatrix oder über Wirkketten dargestellt. Relevante Auswirkungen können beispielsweise Hitzeschlag, Hitzekollaps, Hitzeerschöpfung (Gesamtbevölkerung, v.a. Alte, Kranke, Arme) sowie Beeinträchtigung von Wohlbefinden und Arbeitsleistung (Gesamtbevölkerung) sein, die vorwiegend bei austauscharmen sommerlichen Hochdruckwetterlagen auftreten (GEO-NET 2011: 3; Weis/Siedentop/Minnich 2011: 91ff). Bei entsprechendem Vorwissen oder Vorarbeiten kann dieser Schritt auch entfallen.

Schritt 2: GIS-Analyse zur Abschätzung der thermischen bzw. bioklimatischen Belastung („Klimasignal“)

Mit dem zweiten Schritt beginnt die GIS-basierte Analyse der Betroffenheit durch Hitzefolgen in Siedlungsbereichen. Zunächst geht es darum, die Auswirkungen des Klima-

signals im regionalen Zusammenhang zu bestimmen. Die Analyse des Regional- bzw. des Lokalklimas kann mit Hilfe verschiedener Methoden wie Feldmessungen und Fernerkundungsverfahren, Windkanalstudien oder numerischer Simulationsmodelle erfolgen (GEO-NET 2011: 4). Häufig werden numerische Simulationsmodelle wie FITNAH oder ENVI-met zur Bestimmung von Wind-, Temperatur- und Lufthygienefeldern angewendet. Dazu werden Eingangsdaten benötigt, die eine dreidimensionale Ansicht der Siedlungsstruktur ermöglichen, wie z.B. Gelände- und Gebäudehöhe, Siedlungsstruktur, Versiegelungsgrad sowie Klimadaten zum Status quo. Die Ergebnisse der numerischen Simulationsmodelle liefern Aussagen zu Wind, Temperatur und Lufthygiene, die wiederum Eingangsgrößen zur Bestimmung der bioklimatischen Belastung darstellen.

Die am häufigsten verwendete Bestimmungsgröße zur Abschätzung der bioklimatischen Belastung ist der PMV-Wert (Predicted Mean Vote), der eine Einschätzung des thermischen Umgebungsmilieus angibt. Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 „Methoden zur humanbiometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung“ empfiehlt dieses Verfahren als Regelanwendung. Beim PMV-Wert handelt es sich um eine dimensionslose Maßzahl für die thermischen Komfortbedingungen des Menschen. Die Skala reicht (in der Regel) von -3 für Kältestress bis +3 (Hitzestress). Nach der VDI-Richtlinie erzeugen Umgebungsbedingungen, die zu einem PMV-Wert von mehr als 2,5 führen, Hitzestress beim Menschen. Eingangsgrößen, die zur Berechnung des PMV-Werts mindestens bekannt sein müssen, sind Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Dampfdruck und Strahlungstemperatur.

Das Ergebnis dieses Schritts ist eine GIS-basierte Karte mit bioklimatischen Belastungs- und Ausgleichsräumen. Die Belastungsräume lassen sich in der Karte beispielsweise als Anzahl der Tage pro Jahr mit einem PMV-Wert von mehr als 2,5 während des Tages ausdrücken.

Schritt 3: GIS-Analyse zur Abschätzung der Sensitivität der Bevölkerung gegenüber thermischer Belastung

Als besonders „sensitiv“ werden Menschen eingestuft, die älter (insb. hochbetagt) und alleinstehend sind. Die Relevanz des Merkmals „alleinstehend“ ergibt sich aus der geringeren sozialen Kontrolle dieser Personen innerhalb ihres

familiären Umfelds (z.B. in Bezug auf ihr Trinkverhalten während sommerlicher Hitzephasen). Ebenfalls als sensitiv eingestuft werden Gebiete, in denen viele Kinder leben und/oder die einen hohen Anteil bildungsferner Personengruppen aufweisen und/oder in denen eine Bevölkerung mit geringer Kaufkraft und/oder Migrationshintergrund lebt (Weis/Siedentop/Minnich 2011: 91f). In der Praxis wird es jedoch schwierig sein, diese Daten für die Zwecke der Regionalplanung verfügbar zu machen (z.B. absolute Zahl und Anteil der allein lebenden Bevölkerung über 75 Jahre in einem Teilbereich innerhalb der Planungsregion). Daher wären Kernindikatoren heranzuziehen, mittels derer eine Abbildung der Sensitivität der Bevölkerung gegenüber thermischer Belastung näherungsweise möglich ist. Zu diesen Indikatoren zählen die Baustruktur, die absolute Zahl der Bewohner, die Bevölkerungsdichte sowie die Lage sensibler Einrichtungen (insb. Altenheime, Kindergärten und Krankenhäuser). Hier sind die Hinweise zur Disaggregation der Daten (Kap. 5.2) zu berücksichtigen.

Das Ergebnis der GIS-basierten Sensitivitätsanalyse ist eine Karte mit Gebieten, die aufgrund hoher Bevölkerungsdichten oder Einwohnerzahlen und/oder aufgrund vorhandener sensibler Einrichtungen eine besondere Sensitivität aufweisen.

Schritt 4: Abschätzung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung gegenüber thermischer Belastung

Für die Bevölkerung ergeben sich dann besonders starke Auswirkungen, wenn ein hoher PMV-Wert in Gebieten auftritt, in denen gleichzeitig ein hoher Grad an Sensitivität besteht. Die Abschätzung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung gegenüber thermischer Belastung kann durch die GIS-basierte Verknüpfung der Ergebnisse von Schritt 2 und Schritt 3 ermittelt werden. Ergebnis ist eine Karte mit der räumlichen Verteilung der potenziellen Betroffenheit der Bevölkerung gegenüber thermischer Belastung. Daraus ergeben sich jedoch noch nicht zwangsläufig belastbare Flächenkulissen für die Ziele der Raumordnung. Die Gebiete mit besonders starker Betroffenheit stellen zunächst vielmehr eine Grundlage für den Begründungszusammenhang für die Ziele der Raumordnung dar. Die Klimarelevanz von Freiräumen kann durch eine Expertise seitens der Landschaftsplanung oder externer Gutachten geliefert werden.

Die Klimarelevanz der Freiräume lässt sich jedoch auch aus den in Schritt 2 erzielten Analyseergebnissen ableiten, denn die numerischen Simulationsmodelle liefern neben den bioklimatischen Ungunsträumen auch Aussagen zu den Räumen mit bioklimatischer Bedeutung als Ausgleichsräume. Diese Räume sind insbesondere dann durch die Regionalplanung zu schützen (bzw. ist die Siedlungstätigkeit in diesen Bereichen zu verhindern), wenn die Ausgleichsräume ihre klimatischen Funktionen für Gebiete mit besonders starker Betroffenheit erfüllen.

Um die aus der Datenaggregation entstehenden Probleme zu verhindern („black box-Problem“, s. Kap. 5.2), ist es wichtig, dass zur Gesamteinschätzung der Betroffenheit zusätzliche Ergebnisse zu Teilaspekten, die für die Regionalplanung von Bedeutung sind, darstellbar sind, um diese für spezifische Fragestellungen (Wärmebelastung oder Grünflächenreichbarkeit) und die Auswahl von Instrumenten jederzeit verwenden zu können.

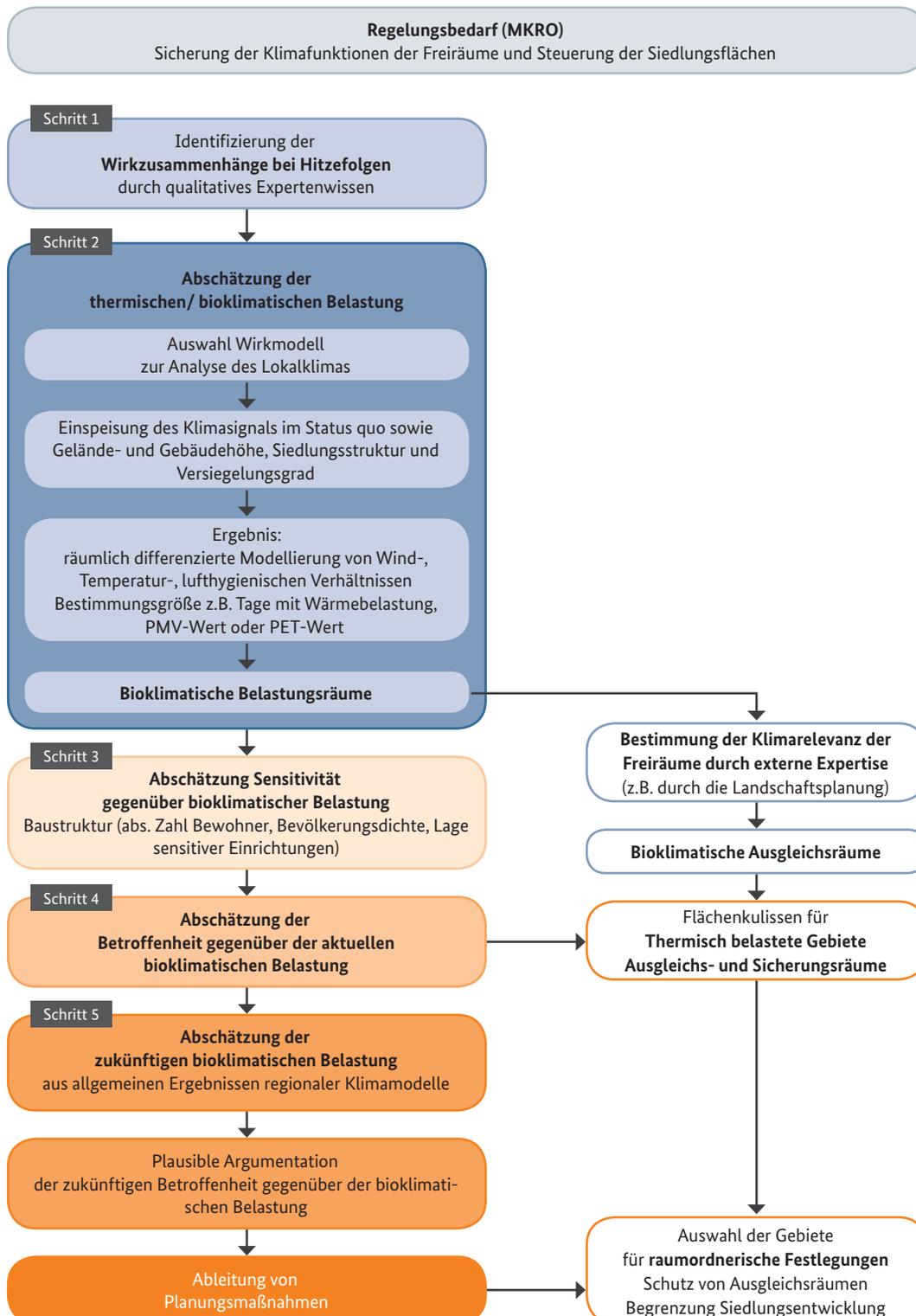
Die Schritte 2 bis 4 stellen den Kern des Referenzverfahrens zum Umgang mit Hitzefolgen im Siedlungsbereich dar und dienen der rechtssicheren Abgrenzung von Gebieten zur Sicherung der Klimafunktionen.

Schritt 5: Abschätzung der zukünftigen thermischen Belastung

Auch wenn die Schritte 2 bis 4 bereits hinreichende Informationen für die Regionalplanung liefern, wird in der gegenwärtigen regional- und stadtklimatologischen Modellierung das sich verändernde Klima häufig einbezogen. Für das numerische Simulationsmodell FITNAH geschieht dies beispielsweise mit dem statistisch-dynamischen Methoden-Paket „ENVELOPE“, bei dem Ergebnisse der globalen und regionalen Klimaszenarienrechnungen (z.B. ECHAM5, REMO, CLM) als Ausgangsdaten benutzt und die lokalen Ausprägungen der Wetterelemente vor allem im Hinblick auf den human-biometeorologischen Wirkkomplex abgeleitet werden (GEO-NET 2013).

Ausgehend von der lokalklimatischen Bewertung des gegenwärtigen Klimas wird das lokale Klimamodell dabei auf ein regionales Klimamodell aufgesattelt. Auf diese Weise gehen die Parameter des künftigen Klimas in die lokalklimatische Modellierung mit ein.

Abb. 49: Übersicht zum Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen“ (eigene Darstellung)



Beispiel: KlimaMORO Region Stuttgart, Gesundheitliche Folgen des Klima- wandels bei erhöhter Wärmebelas- tung in der Region Stuttgart

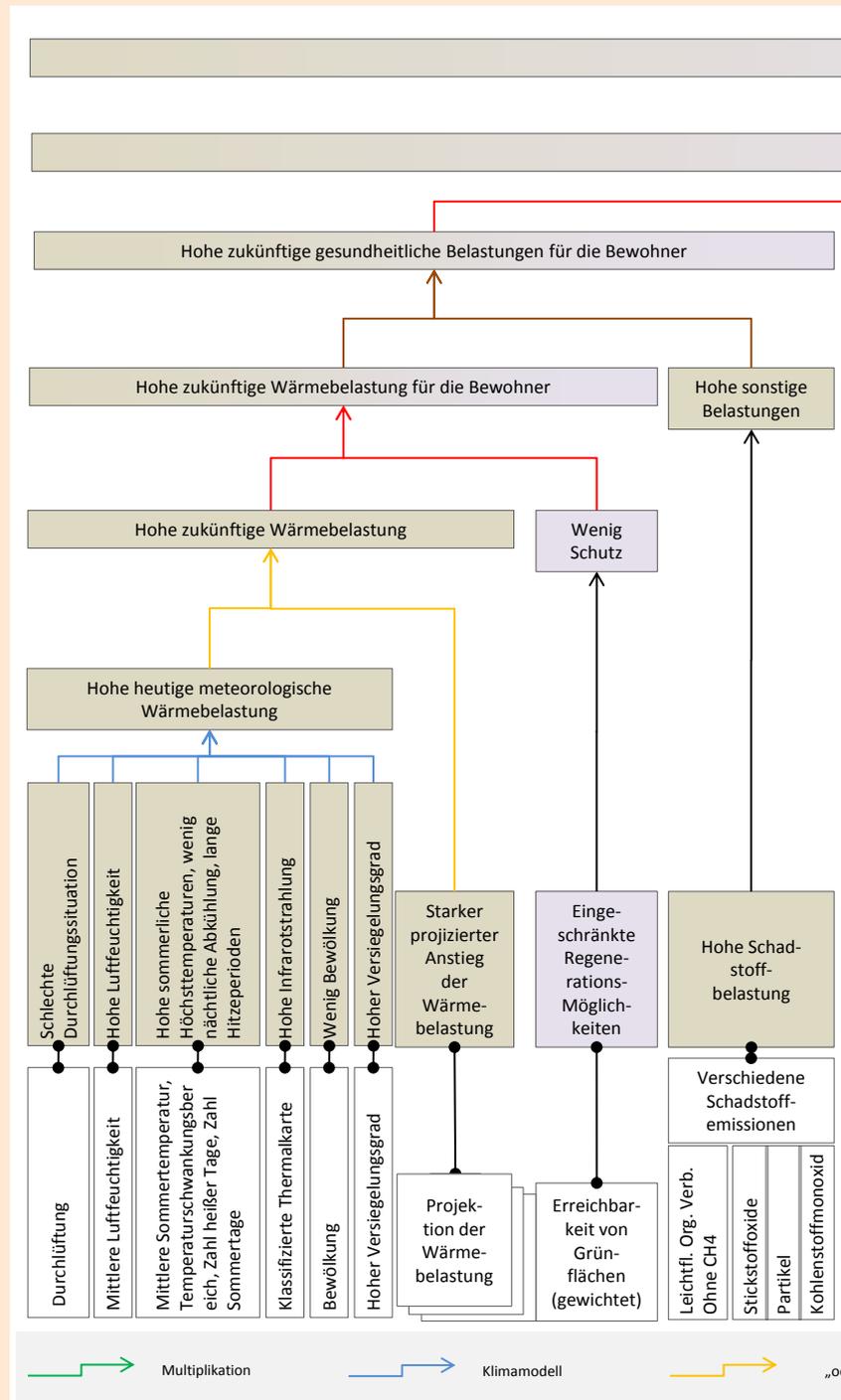
Im Rahmen des KlimaMORO-Vorhabens der Region Stuttgart wurde eine Vulnerabilitätsstudie durchgeführt, die als eine der Komponenten die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels umfasste. Diese Komponente wurde im Rahmen einer an der Universität Stuttgart bearbeiteten Diplomarbeit entwickelt (Minnich 2010). Ziel der Arbeit war es, die Betroffenheit der Region Stuttgart in Bezug auf Wärmebelastungen räumlich differenziert zu bewerten und dabei insbesondere Teilräume mit überdurchschnittlicher Vulnerabilität zu identifizieren (Weis/Siedentop/Minnich 2011: 91).

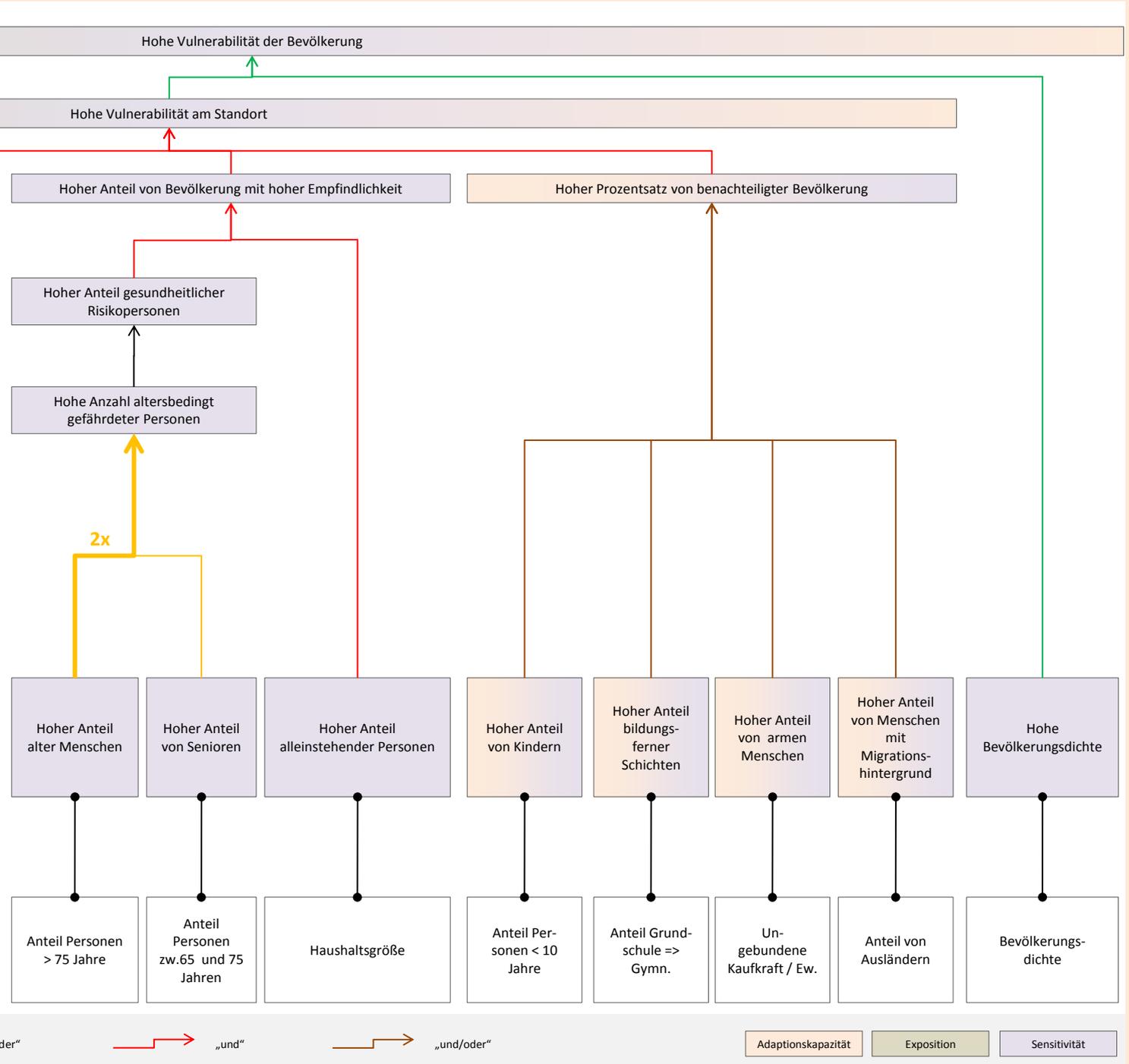
Die Vulnerabilität der Bevölkerung wurde durch eine einfache Multiplikation der über verschiedene Analyseschritte entwickelten Standortvulnerabilität mit der Bevölkerungsdichte bestimmt. Demzufolge kann die Bevölkerung eines Standortes als hoch vulnerabel angesehen werden, wenn eine hohe Standortvulnerabilität mit einer hohen Bevölkerungsdichte zusammentrifft (Weis/Siedentop/Minnich 2011: 91).

In räumlicher Hinsicht unterscheidet der methodische Ansatz drei Ebenen, für die Vulnerabilitätsaussagen verfügbar sind: ein Raster mit einer Auflösung von 50 m als räumlich differenzierteste Ebene, die Gemeindeebene und die Standorte gesundheitsrelevanter medizinischer und sozialer Einrichtungen (Weis/Siedentop/Minnich 2011: 92).

Die Vulnerabilität der Bevölkerung ergibt sich aus der Standortvulnerabilität und der Bevölkerungsdichte. Sehr deutlich wird die Konzentration von hoch vulnerablen Bevölkerungsteilen im Kern der Region Stuttgart, insbesondere im Kessel der Landeshauptstadt und im Neckartal. Auch in einer Reihe von Mittelzentren (wie z.B. Böblingen und Sindelfingen) finden sich Bereiche mit höheren Konzentrationen vulnerabler Bevölkerung. Kleinere Gemeinden im suburbanen Umland sind demgegenüber als weniger vulnerabel anzusehen (Weis/Siedentop/Minnich 2011: 94; s. Abb. 51).

Abb. 50: Gesamttaufbau der Vulnerabilitätsbewertung und vorgenommenen Aggregationschritte (Minnich 2010: 57)





der“ „und“

„und/oder“

Adaptionskapazität

Exposition

Sensitivität

Abb. 52 verdeutlicht die Spannweite der räumlichen Auflösung der in diesem Beispiel erzielten Ergebnisse. Diese sind in Form hoch auflösender Daten verfügbar, so dass sie für gemeindliche Planungszwecke geeignet sind. Denkbare Anwendungen ergeben sich beispielsweise für die Umweltprüfung in Flächennutzungs- und Bebauungsplanverfahren (z.B. bei der Prüfung der „Klimaverträglichkeit“ von Nachverdichtungsvorhaben; Weis/Siedentop/Minnich 2011: 95).

Da davon auszugehen ist, dass sich in Krankenhäusern und stationären Pflegeeinrichtungen eine größere Anzahl hoch empfindlicher Personen aufhalten, wurden die Standorte dieser Einrichtungen einer eigenständigen Vulnerabilitätsbetrachtung unterzogen. Abb. 53 zeigt die Ergebnisse der vorgenommenen Analysen. Es wird deutlich, dass über 40% der Bettenkapazität in der Region Stuttgart in die höchste Belastungsstufe fallen. Die räumliche Verteilung der hoch vulnerablen Standorte zeigt ein erkennbar anderes Muster als die Vulnerabilität der Bevölkerung. Dies erklärt sich durch die höhere Bedeutung stand-

örtlicher klimatischer Parameter im hier verwendeten Bewertungsmodell, während soziale Faktoren keine Rolle spielen. So finden sich hoch vulnerable Einrichtungen auch in kleineren Umlandgemeinden, wenn die Mikrostandortigenschaften durch hohe Bodenversiegelung, geringe Durchlüftung oder andere negative Klimateigenschaften geprägt sind (Weis/Siedentop/Minnich 2011: 96).

Weitergehende Informationen

KlimaMORO-Region Stuttgart: www.klimamoro.de
 Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart: www.klimamoro.de

Abb. 51: Verteilung der Vulnerabilität auf Standortebebene unter Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte in der Region Stuttgart (Minnich 2010: 73)

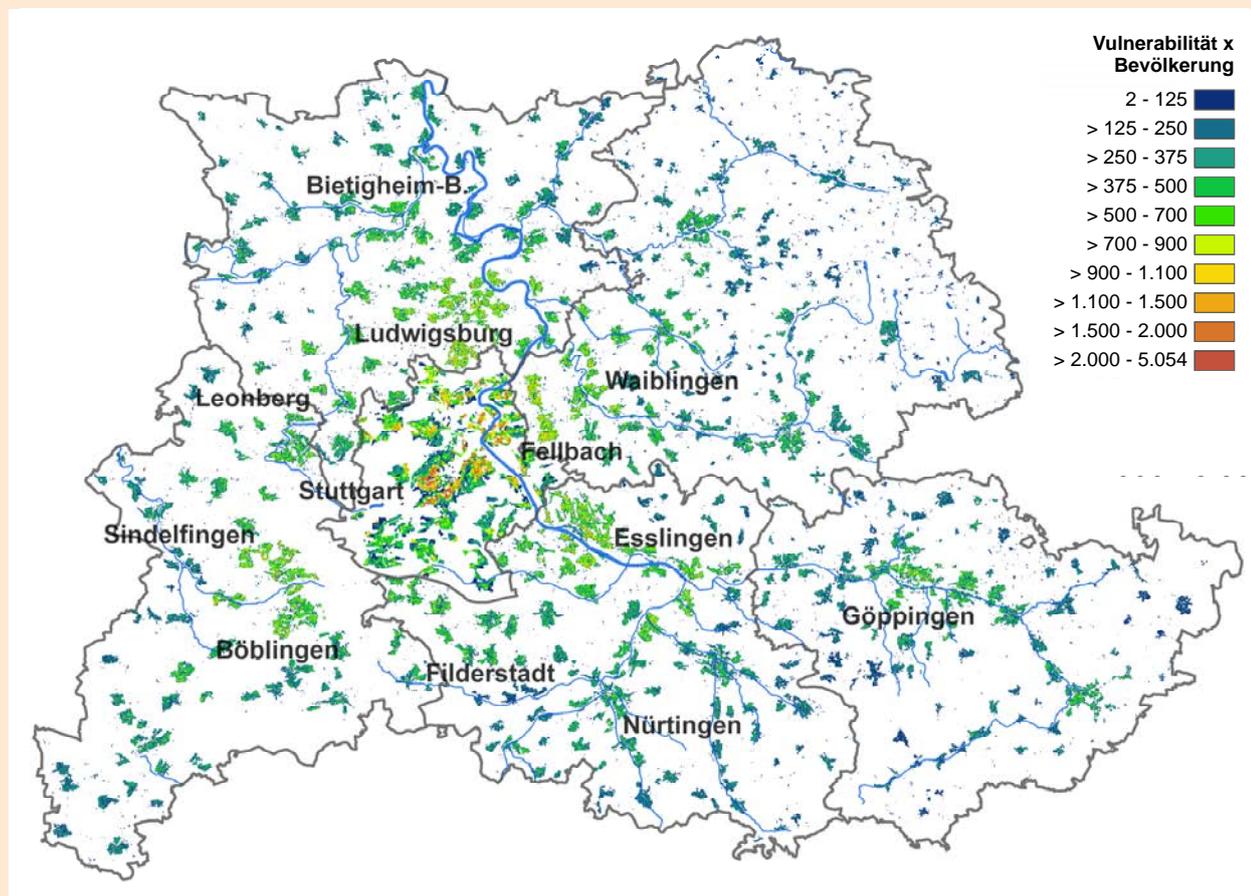


Abb. 52: Verteilung der Vulnerabilität in der Region Stuttgart auf Standortebene ohne Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte (links) sowie Gesamtbewertung der Vulnerabilität der Gemeinden und Stadtbezirke (rechts) (Minnich 2010: 74, 84)

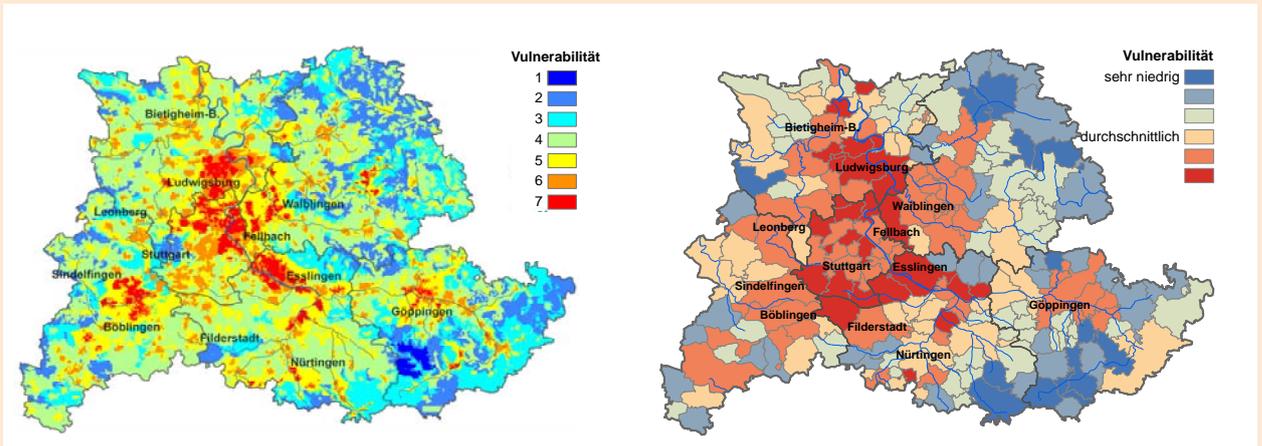
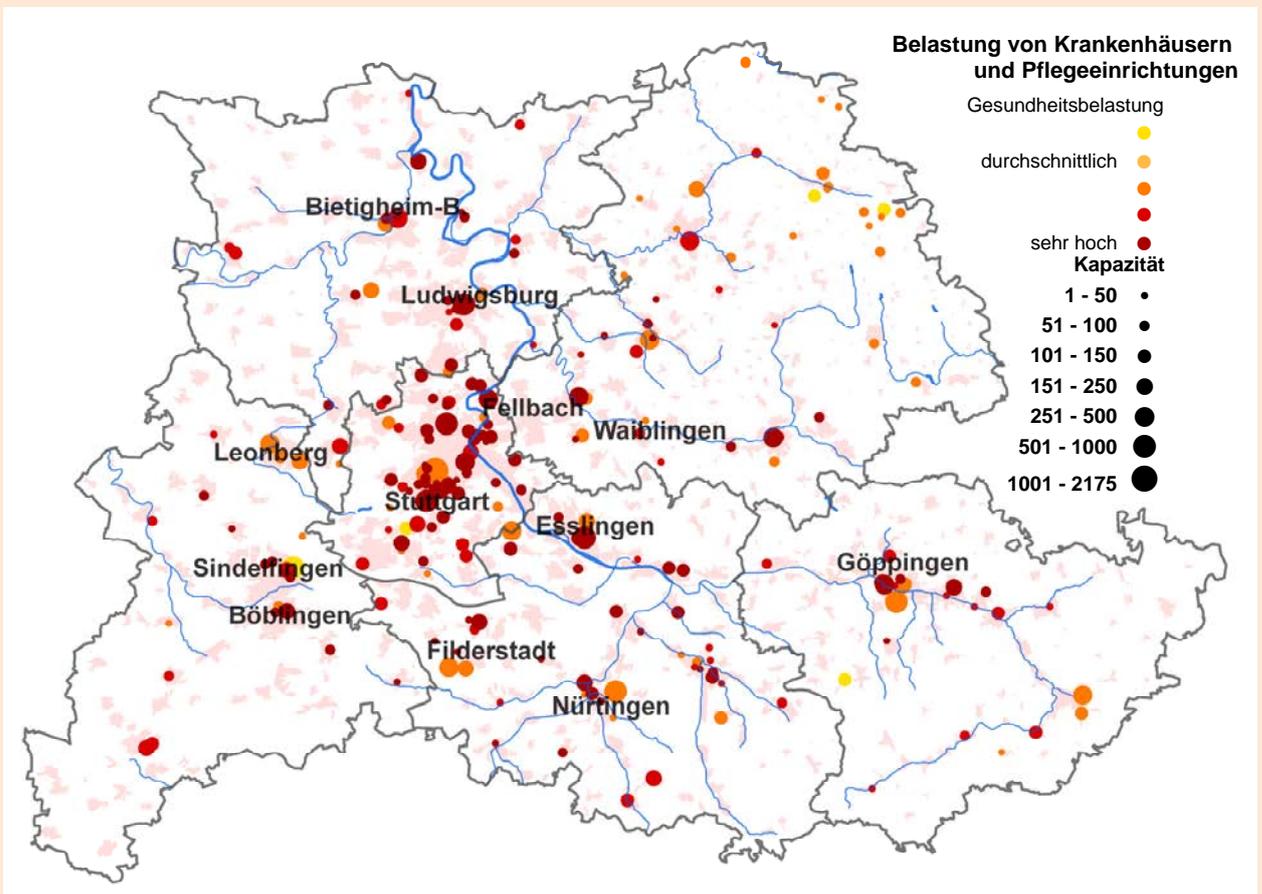


Abb. 53: Vulnerabilität gesundheitsrelevanter Einrichtungen (Minnich 2010: 83)



Beispiel: klamis – Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen

Im Rahmen der zweiten Phase des KlimaMORO-Vorhabens klamis wurde eine modellgestützte Klimaanalyse und -bewertung für die Stadt Marburg durchgeführt, die als eine beispielhafte Grundlage für die klimatologische Analyse für die Regionalplanung in Hessen dienen soll. Zwar konnten im Rahmen der Studie nicht alle aus Sicht der Regionalplanung bedeutenden und im Rahmen eines Workshops identifizierten Fragestellungen bearbeitet werden. Dennoch lehnt sich das Beispiel phasenweise an das idealtypische Vorgehen an und zeigt insbesondere die Herausforderungen an der Schnittstelle zwischen Klimamodellierung und Regionalplanung auf (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 3f).

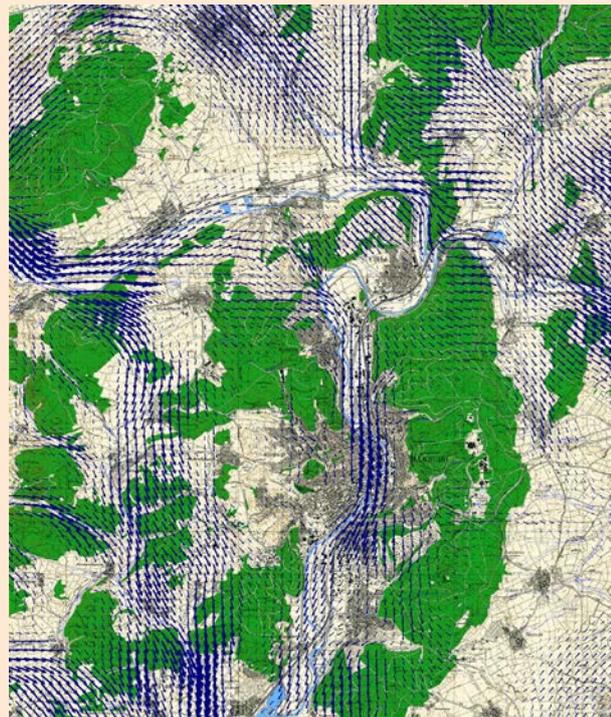
Das Beispiel konzentriert sich auf die Modellierung von bodennahen Temperaturen und Kaltluftströmungen. Mittels des Simulationsmo-

dells FITNAH wurden für das Stadtgebiet von Marburg sowie das potenzielle Einzugsgebiet die im Stadtgebiet wirksamen Kaltluftströmungen modelliert. Der Betrachtungsbereich erstreckte sich auf ein 36 x 36 km großes Rechengebiet. Die Landnutzung wurde zunächst auf Basis des CORINE-Katasters bestimmt. Jeder Rechenfläche von 100 m x 100 m wird ein Anteil der Landnutzungen „Wasser“, „Freifläche“, „Bebauung“ und „Bewaldung“ zugeordnet. Je nach Bebauungstyp und Bestandsart wurden unterschiedliche Höhen von Bebauung und Bewuchs berücksichtigt. Für die Bebauung wurde zudem ein für den Bebauungstyp charakteristischer anthropogener Wärmestrom einbezogen. Um die im 100 m-Raster auch kleinräumig stark variierenden Nutzungen und Oberflächeneigenschaften realistisch erfassen zu können, wurde die Landnutzung nahezu im gesamten Berechnungsgebiet auf Basis von ATKIS-Daten präzisiert. Für die hoch auflösende Simulation im Berechnungsgebiet wurde von einer „autochthonen“ Wetterlage ausgegangen (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 18). Abb. 54 zeigt die Ergebnisse der Strömungssimulationen für Marburg und das Marburger Umland. Die Auswertung wurde exemplarisch für zwei Zeitpunkte vorgenommen und in zwei Höhen ausgewertet (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 43).

Abb. 54: Kaltluftströme zu verschiedenen Nachtzeiten und in verschiedenen Höhen (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 23ff).

Bodennahe mittlere Strömung (10 m über Grund) zu Beginn einer Strahlungsnacht, ca. 1 bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang. Die Strömung ist dargestellt durch Vektoren an jedem 2. Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit.

Mittlere Strömung im Überdachniveau (50 m über Grund) zu Beginn einer Strahlungsnacht, ca. 1 bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang. Die Strömung ist dargestellt durch Vektoren an jedem 2. Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit.



Die Durchführung von Strömungssimulationen und ähnlichen lokal- und regionalklimatologischen Modellierungen stellt jedoch nur einen ersten Schritt dar. **Nutzbar werden diese Ergebnisse erst durch eine entsprechende Analyse in regionalplanerischen Kategorien.** Für die auf diese Weise zu identifizierenden überörtlich bedeutsamen bioklimatischen und lufthygienischen Belastungsräume können regionalplanerische Maßnahmen abgeleitet werden, die evtl. erhebliche Eingriffe in die planerischen Gestaltungsmöglichkeiten auf kommunaler Ebene nach sich ziehen. Daher müssen diese fundiert begründet werden und auf die Anforderungen der Regionalplanung zugeschnitten sein (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 28):

- **Untersuchung von zusammenhängenden Siedlungsstrukturen (Stadt, Gemeinde, Teilort, Ortschaft) im Hinblick auf die lokalen Belüftungsfunktionen. Darstellung in einer Weise, die eine Einstufung zulässt, ob sich der Siedlungsraum aus sich selbst oder aus dem eigenen Umfeld heraus entlasten kann oder auf überörtliche Zuströme angewiesen ist.**
- **Ausweisen und Abgrenzen von für einen Belastungsraum belüftungsrelevanten überörtlichen Kaltluftleitbahnen.**
- **Ausweisen und Abgrenzen von den Kaltluftentstehungsgebieten, die eine für einen Belastungsraum belüftungsrelevante überörtliche Kaltluftleitbahn speisen.**

Bodennahe mittlere Strömung (10 m über Grund) später in der Strahlungsnacht, mehr als 3 Stunden nach Sonnenuntergang bzw. in der zweiten Nachthälfte. Die Strömung ist dargestellt durch Vektoren an jedem 2. Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit.



Mittlere Strömung im Überdachniveau (50 m über Grund) später in der Strahlungsnacht, mehr als 3 Stunden nach Sonnenuntergang bzw. in der zweiten Nachthälfte. Die Strömung ist dargestellt durch Vektoren an jedem 2. Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit.

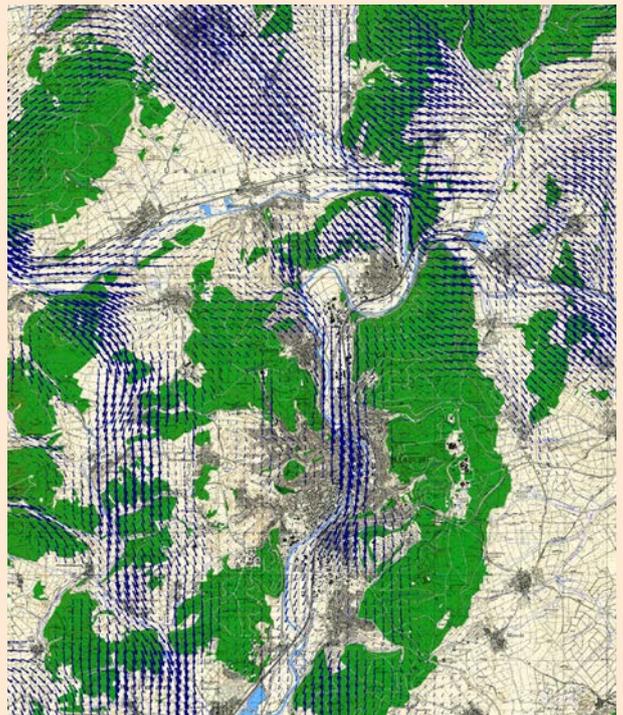
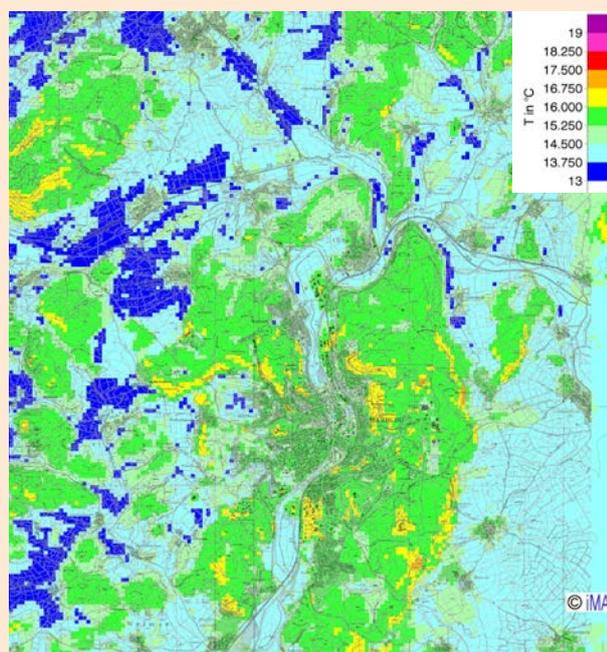
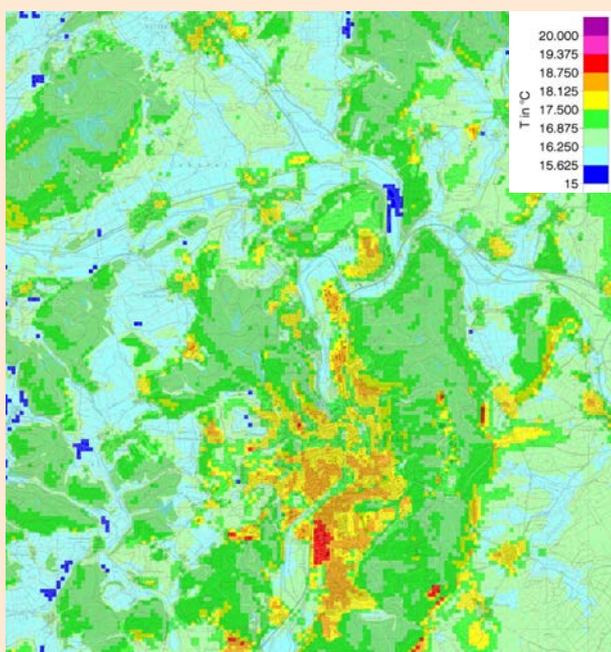


Abb. 55: Bodennahe Lufttemperaturen zu unterschiedlichen Nachtzeiten (a und b; Nielinger/Kost/Hasel 2013: 21f) und Analyseschritte der Ergebnisse für die Anwendung in der Regionalplanung (Bodennahe Temperaturen zu verschiedenen Nachtzeiten (c bis d; Nielinger/Kost/Hasel 2013: 31ff).

(a) Bodennahe Temperaturen (2 m über Grund) zu Beginn einer Strahlungsnacht, ca. 1 bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang.

(b) Bodennahe Temperaturen (2 m über Grund) später in der Strahlungsnacht, mehr als 3 Stunden nach Sonnenuntergang bzw. in der zweiten Nachthälfte.

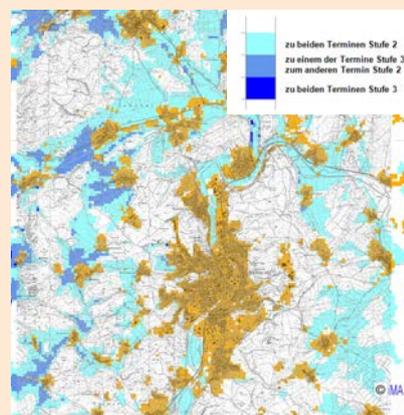
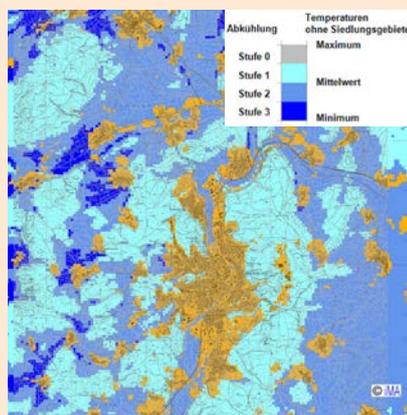
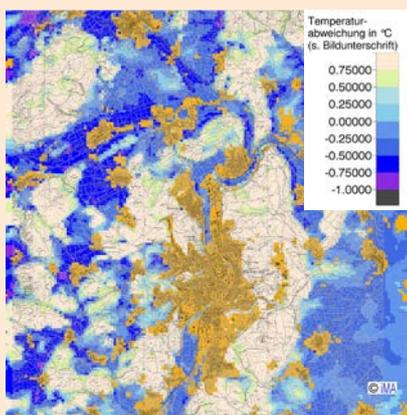


(c) Darstellung der Temperaturabweichung der Bodentemperaturen auf Wald- und Freiflächen mit weniger als 10% Siedlungsanteil gegenüber dem Mittelwert im Berechnungsgebiet (ebenfalls ohne Siedlungsstrukturen berechnet).

(d) Überführung der Temperaturabweichung in eine Stufenskala.

(e) Zusammenführung der Temperaturabweichung über Wald- und Freiflächen aus den Stufen-Ergebnissen für die zwei Ausgabezeitpunkte. Beginn einer Kaltluftsituation und später in der Kaltluftnacht bzw. 2. Nachthälfte.

Orange: Flächen mit mehr als 10% Siedlungsanteil.



Das Beispiel in Abb. 55 zeigt anhand der bodennahen Temperaturen, wie aus den vorhandenen Ergebnisdaten Größen abgeleitet werden können, die eine Differenzierung und Abgrenzung von relevanten Bereichen eher ermöglichen als die einfachen Modellgrößen in Form von Temperaturwerten (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 30).

Die Identifizierung von „belasteten“ Siedlungsgebieten (höhere Temperaturen) ist über das Bodentemperaturfeld (Abb. 55a, b) relativ schnell möglich. Eine Differenzierung von Wald- und Freiflächen hinsichtlich ihres Kaltluftpotenzials ist jedoch nicht möglich, da die Temperaturskala den gesamten Ergebnisbereich umfasst (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 30).

Aus diesem Grund sollte eine separate flächenhafte Auswertung vorgenommen werden, die die Siedlungsgebiete ausnimmt, indem das bodennahe Temperaturfeld mit den Landnutzungsdaten überlagert wird und alle Berechnungsflächen herausgenommen werden, die 10% oder mehr an Siedlungsformen oder versiegelten Flächen enthalten. Von den verbleibenden Berechnungsflächen wird in einem ersten Schritt ein (Berechnungsgebiets)Mittelwert der Bodentemperatur von Wald- und Freiflächen gebildet. Anschließend wird für jede Wald- oder Freiflächen-Rechenfläche (100 m x 100 m) die Abweichung zu diesem Mittelwert bestimmt. Das Ergebnis für eine Kaltluftsituation in der zweiten Nachthälfte ist in Abb. 55c dargestellt. Darin sind Siedlungsflächen und Rechenflächen mit mehr als 10% Siedlungs-/Versiegelungsanteil in orange abgehoben. Die Farbskala umfasst nun nur noch Wald- und Freiflächen. Flächen, deren Temperatur höher ist als das Gebietsmittel für Wald- und Freiflächen sind hellblau und grün, Flächen mit niedrigeren Temperaturen als der Mittelwert in dunkelblau und violett-grau dargestellt (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 30).

Eine Stufen-Skala kann in einem nächsten Abstraktionsschritt dazu dienen, sich von den absoluten Temperaturwerten zu lösen. In diesem Fall wird wieder vom Rechengebiets-Mittelwert ausgegangen sowie außerdem der maximale und der minimale Wert der auf Wald- und Freiflächen berechneten Temperaturen hinzugenommen. Zwischen Maximalwert und Mittelwert sowie zwischen Mittelwert und Minimalwert wird die Spanne jeweils noch einmal unterteilt, so dass sich eine Skala mit 5 Werten und dazwischen 4 Bereichen ergibt, die im folgenden „Stufen“ heißen sollen. Die Nummerierung der Stufen erfolgt von „0“ = „wärmste Gebiete unter den Wald- und Freiflächen“ bis „3“ = „kälteste Gebiete unter den Wald- und Freiflächen“. Die einfachere und klarere flächenhafte Verteilung zeigt Abb. 55d im Ergebnis (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 30f).

Abb. 55e veranschaulicht, wie beide Ergebnisse beispielhaft zusammengeführt werden können. Flächen mit besonderem Kaltluftpotenzial (besonders niedrige Temperaturen während einer gesamten Kaltluftsituation) sind nun eindeutig erkenn- und abgrenzbar (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 33f):

- Flächen, die zu beiden Terminen zu den kältesten gehörten (2 x Stufe 3) bekommen eine dunkelblaue Färbung.

- Flächen, die wenigstens zu einem Termin zur Stufe 3 gehörten, zum anderen Termin zur (zweitkältesten) Stufe 2, bekommen eine mittelblaue Färbung.
- Flächen, die zu beiden Terminen der Stufe 2 angehörten, erhalten eine hellblaue Färbung.
- Alle übrigen Termine werden nicht eingefärbt.

Die Autoren der Studie weisen allerdings darauf hin, dass es sich bei diesen Ergebnissen nicht um Kaltluftproduktionsflächen handelt, sondern um Flächen, die entweder lokal stark abkühlen oder um Kaltluftsammlgebiete in den Niederungen. Somit wäre die Analyse also gut geeignet, um beispielsweise eine Standortsuche unter dem Gesichtspunkt der Frostgefährdung für Obstbau oder empfindliche Pflanzen durchzuführen oder aber die Wahrscheinlichkeit von stellenweisem Auftreten von Bodenfrost räumlich abzugrenzen. Hier zeigen sich aber auch die Grenzen eines solchen Ansatzes: Die hier exemplarisch abgeleiteten Größen und verwendeten Skalen liefern für die zuvor genannten Ziele der Regionalplanung nur ergänzende Argumente, zumal Ableitungen aus dem bodennahen Temperaturfeld keine Abgrenzung der Kaltluftproduktion erlauben. Die Abgrenzung von Kaltluftproduktions- und -transportgebieten bedarf daher zusätzlicher Verfahren, wie sie z.B. im „Leitfaden zur Berücksichtigung klimatischer Ausgleichsfunktionen in der räumlichen Planung am Beispiel der Regionen Mittlerer Oberrhein und Nordschwarzwald“ dargestellt sind. Für genauere Aussagen sind fachliche Detailgutachten notwendig, beispielsweise für Kaltluft in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft (VDI 2003).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Umweltmeteorologie hochwertige Grundlagen bereitstellen kann, bzw. die Regionalplanung über sehr gute und bewährte Instrumente zur Steuerung der Raumnutzung verfügt (Nielinger/Kost/Hasel 2013: 43), die als abwägungsfeste Grundlagen jedoch z.T. noch regionale Detailuntersuchungen erfordern.

Weitergehende Informationen

Überblick über das KlimaMORO-Vorhaben klamis:
www.moro-klamis.de

Leitfaden „Modellgestützte Klimaanalysen und -bewertungen für die Regionalplanung: www.moro-klamis.de/downloads.html



5.3.4 Schutz der Berggebiete (v.a. Alpenraum) – Anpassung an geogene Naturgefahren

Ausgangslage

Berggebiete sind in der Regionalplanung nicht einheitlich definiert. Starke Hangneigung, große Reliefunterschiede und/oder die Höhenlage sind Kriterien für eine Festlegung. Höhenlagen ab 200 m über NN können bei entsprechenden Reliefunterschieden von 300 m zu umgebenden höher liegenden Bereichen schon zu den Berggebieten zählen. Jedoch stehen die Mittelgebirge und insbesondere die Alpen im Fokus der Raumplanung als eigenes Handlungsfeld bei der Klimaanpassung.

In Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels wird grundsätzlich von einer Aufwärtsverschiebung der stark höhenabhängigen Lebensräume für Pflanzen und Tiere, v.a. im Alpenraum, ausgegangen. Im Zusammenhang mit häufigeren Extremwetterereignissen werden voraussichtlich auch Häufigkeit und Ausmaß geogener Naturgefahren wie Rutschungen, Muren, Steinschlag oder Lawinenabgänge zunehmen. Durch eine Destabilisierung des alpinen Schutzwaldes können sich auch indirekt die Schadenspotenziale im Alpenraum erhöhen. Klimatische Veränderungen führen zudem zu einem starken Rückgang der Gletscher. Die Abnahme der Schneesicherheit kann darüber hinaus den Wintersporttourismus beeinträchtigen (MKRO 2013).

Im Zusammenhang mit dem Handlungsfeld „Schutz der Berggebiete“ wird der Fokus im Folgenden auf die Anpassung an geogene Naturgefahren gelegt, da weitere Auswirkungen des Klimawandels Berggebiete zwar in besonderem Maße betreffen können, die Methodik der Klimafolgenbewertung hierzu jedoch in anderen Handlungsfeldern des Kapitels 5.3 bereits beschrieben wird. So werden die für Berggebiete besonders relevanten negativen Auswirkungen des Klimawandels in Bezug auf den Tourismus in Kap. 5.3.7 dargelegt.

Regelungsbedarf der Regionalplanung

Der Schutz der Berggebiete ist mit dem Beschluss „Raumordnung und Klimawandel“ der 36. Ministerkonferenz für Raumordnung vom 10.06.2009 (MKRO 2009) als selbstständiges Handlungsfeld etabliert worden. Die Raumbedeutung der Klimaanpassung ist in Gebirgsräumen gegeben. Der Klimawandel beeinflusst Häufigkeit und Ausmaß geogener Naturgefahren (Muren, Lawinen, Felsstürze etc.). Für betroffene Flächen sind differenzierte Nutzungsregelungen zu treffen, die überörtlich und überfachlich abzustimmen sind. Spezifische Instrumente der Regionalplanung zum Schutz der Berggebiete existieren bislang nicht. Lediglich im Regionalplan Neckar-Alb (Regionalverband Neckar-Alb 2013: 83) sind Vorbehaltsgebiete für Bodenerhaltung als Grundsatz im Zusammenhang mit rutschungsgefährdeten Bereichen definiert.

Im sogenannten Alpenplan des Landesentwicklungsprogramms Bayern (1972) ist u.a. eine Minimierung des Gefahrenrisikos verankert. Demnach sollen insbesondere in Regionalplänen Festlegungen

- zum Erhalt und bei Bedarf zur Wiederherstellung der Schutzfunktionen des Bergwaldes,
- zum Schutz vor Naturgefahren (z.B. Massenbewegungen wie Muren, Steinschlag, Lawinen, Überschwemmungen),
- zum Erhalt der Berglandwirtschaft,
- zum Erhalt ökologisch bedeutsamer Naturräume sowie
- zur qualitativen Verbesserung des Tourismus getroffen werden.

Des Weiteren wird im Rahmen informeller Planungen auf Regionalmanagementinitiativen und Risiko-Governanceprozesse gesetzt. (MKRO 2013)

Grundsätzlicher methodischer Ansatz der Klimafolgenbewertung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels besitzen laut Bewertung der Staatlichen Geologischen Dienste folgende geogene Naturgefahren besondere Relevanz:

- Hochwasser (Extremhochwasser der geologischen Vergangenheit, s. Kap. 5.3.1)
- Subrosion (Auslaugung mit der Folge von Erdfällen und Setzungen)/Verkarstung
- Setzungen/Hebungen (Baugrundverformungen) sowie
- Massenbewegungen (Rutschen, Stürzen, Fließen)

Weitergehende geogene Gefahren wie Bergbaufolgen, Erdbeben, Grundwasserversalzung oder Bodengasaustritte (Methan, Radon etc.) werden an dieser Stelle nicht behandelt, da diese entweder nicht im Kontext des Klimawandels stehen oder als potenzielle Auswirkung in anderen Handlungsfeldern thematisiert werden (z.B. Grundwasserversalzung und Küstenschutz).

Die Beurteilung der geogenen Naturgefahren auf Raumplanungsebene beruht auf der Methodik der Staatlichen Geologischen Dienste zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten (SGD, Entwurf 26.05. 2008). Diese werden nach einer einheitlichen Methodik als Übersichtskarten im Maßstab 1:25.000/1:50.000 für die Ebene der Regionalplanung erstellt.

Die Gefahrenhinweiskarten ermöglichen eine Gefahreneinschätzung und dienen als Grundlage für eine vorsorgende Planung zur Vermeidung von Schäden. Angaben zur Eintrittswahrscheinlichkeit von negativen Auswirkungen sowie zu Schadensausmaß und Intensität werden explizit nicht vorgenommen. Dies ist den detaillierteren Gefahrenkarten vorbehalten, die nur für einzelne Schutzobjekte erstellt werden.

Die Ursachen und Auslöser geogener Gefahren sind oft komplexer Natur. Im Falle von Massenbewegungen kommen geologische Faktoren wie die Beschaffenheit der geologischen Schichten, morphologische Aspekte wie Hangneigung und Exposition, hydrogeologische Faktoren wie die Durchnässung der Boden- und Gesteinsschichten, klimatische Aspekte wie Frost und Temperaturwechsel sowie die Nutzung (Vegetation, menschliche Eingriffe wie Bautätigkeiten etc.) in Frage.

Aufgrund der Vielfalt geogener Naturgefahren und der unterschiedlichen Herangehensweisen und Methodiken der Aufbereitung räumlich und inhaltlich konkreter Aussagen zu Naturgefahren werden nachfolgend die beiden grundsätzlichen Schritte zur Ermittlung und Bewertung von Klimafolgen in allgemeiner Form beschrieben und anhand von Beispielen konkretisiert:

Schritt 1: Abgrenzung des Wirkraums geogener Naturgefahren

Der Umgriff des Wirkraums im Zusammenhang mit Massenbewegungen, Subrosion/Verkarstung sowie Setzungen und Hebungen wird über eine Abgrenzung des sog. Ereignisraums (z.B. abbruchgefährdeter Felsformationen) und des sog. Prozessraums (dem Umgriff des Felssturzes) bestimmt.

Hierzu werden Ereigniskataster von aktuellen und/oder historischen Ereignissen wie Rutschungen ausgewertet. Hochauflösende digitale Geländemodelle sowie Laserscandaten helfen bei der Bestimmung morphologischer Indizes für historische Ereignisse. Geländeaufnahmen sind zur Plausibilitätskontrolle notwendig.

Im Falle von Subrosion (Auslaugung mit der Folge von Erdfällen und Setzungen) reicht der Umgriff des Ausstreichens relevanter geologischer Einheiten aus. Auch aus der Verschneidung von Hangneigung und den spezifischen geologischen Einheiten kann der Ereignisraum bestimmt werden.

Im Zusammenhang mit Massenbewegungen werden zudem Modellierungen (Steinschlagmodellierungen) vorgenommen, um den Prozessraum bestimmen zu können (s. Abb. 56).

Das Klimasignal spielt für die Beurteilung der Gefahr insofern eine Rolle, als dass durch z.B. veränderte Niederschlagsparameter (vermehrter Starkregen, Dauer und Intensität der Durchfeuchtung) eine verstärkte Aktivierung der Prozesse (Rutschungsgefahr) eintreten kann. Ähnliche Zusammenhänge bestehen bei anderen Massenbewegungen (verstärkte Verwitterungsprozesse durch Frost-Tauwetterwechsel, Gletscherschmelze und Druckentlastung von Gesteinsschichten mit der Folge von Fels- und Bergstürzen,

aber auch bei Lösungserscheinungen und der Gefahr von Subrosion und Setzungserscheinungen. Die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit ist jedoch kaum möglich. Ereignis- und Prozessräume ändern sich dabei nicht grundsätzlich vom aktuellen Umgriff.

Schritt 2: Bestimmung der Betroffenheit sensitiver Schutzobjekte

Innerhalb des Ereignis- bzw. Prozessraums, zusammenfassend als Wirkraum bezeichnet, liegen Schutzobjekte, die durch die geogenen Prozesse gefährdet sind. Zur Definition des Umgriffes der Gefahrenbereiche reichen die Gefahrenhinweiskarten als Informationsgrundlage etwa für die kommunale Planung bereits vollständig aus. Für eine vorsorgende Gefahrenabwehr müssen jedoch auch die Art der Schutzobjekte und deren räumliche Abgrenzung bestimmt werden. Dies ist daher ein weiterer notwendiger Schritt, um vorsorgend Planungsmaßnahmen ableiten zu können.

Sensitive Nutzungen wie Straßen, Bahnlinien, kritische Infrastrukturen oder Siedlungsbereiche, aber auch Erholungsräume, sollten durch die Regionalplanung ermittelt werden.

Schließlich wird die Betroffenheit mithilfe Geographischer Informationssysteme durch Überlagerung der Bodennutzung/sensitiven Nutzungen mit dem Wirkraum ermittelt.

Auch die Ableitung von Planungsmaßnahmen ist oftmals Aufgabe der Regionalplanung, etwa wenn sich Ereignisraum und Prozessraum interkommunal erstrecken, Straßen oder kritische Infrastrukturen als sensitive Nutzungen regionale Bedeutung besitzen. Jedoch wird die Aufgabe derzeit nicht von der Regionalplanung ausgefüllt. Vielmehr erstellen die Staatlichen Geologischen Dienste, i.d.R. die Umweltplanung, Gefahrenkarten, die einzelne Schutzobjekte und deren Betroffenheit durch Naturgefahren analysieren und bewerten. Dabei stehen nach dem Schweizer Vorbild die Bestimmung von Schutzziele für die einzelnen Schutzobjekte, die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit über eine Szenarienbildung und die Quantifizierung des Schadensausmaßes der betroffenen Nutzungen bei der Erstellung der Gefahrenkarten im Vordergrund.

Weitergehende Informationen

www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/gefahrenhinweiskarten/index.htm

www.bis.bayern.de

www.geodaten.bayern.de

www.lfu.bayern.de/wasser/ian/index.htm

www.planat.ch/de/wissen/

www.naturgefahren.at

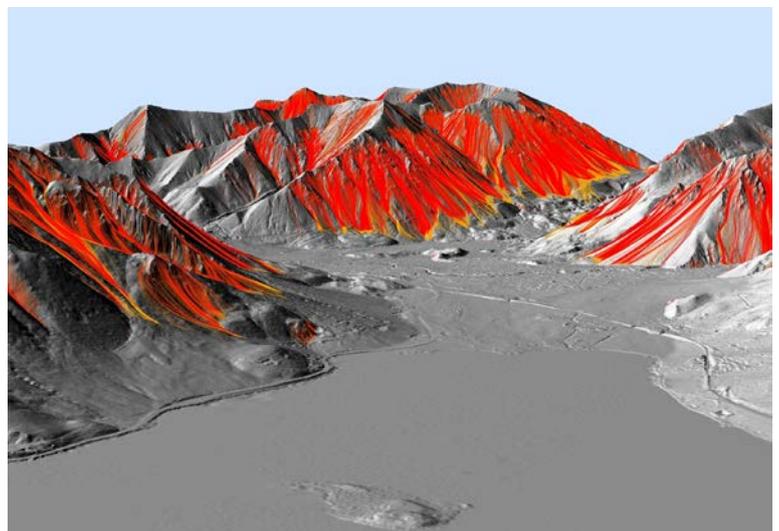


Abb. 56: Numerische Steinschlagmodellierung auf Basis von Laserscandaten (Tegernsee, LfU Bayern, www.bis.bayern.de; Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodaten.bayern.de; aus: ZDGG 2010: 1)

rot: Potenzielle Steinschlagtrajektorien unter Berücksichtigung des Waldes

gelb: Potenzielle Steinschlagtrajektorien ohne Berücksichtigung des Waldes

Beispiel: Gefahrenhinweiskarten der Länder

Die Bundesländer haben bereits für verschiedene Themen Gefahrenhinweiskarten erstellt. Einen guten Überblick geben Möbus, Ruch und Starke (Möbus/Ruch/Starke 2009).

In Bayern werden die geogenen Gefährdungen (Steinschlag, Felsstürze, Rutschungen und flachgründige Hangabbrüche sowie Subrosion) in Gefahrenhinweiskarten abgebildet (s. Abb. 57). Das Projekt: „Georisiken im Klimawandel“ des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit weist inzwischen vier Gefahrenhinweiskarten in Bayern aus. Neben empirischen Untersuchungen bilden hier häufig Modellsimulationen eine wichtige Grundlage für die Abgrenzung der Gefahrenbereiche. Über das Bodeninformationssystem Bayern (BIS-BY) sind die Georisiken auch im Internet einsehbar. (www.bis.bayern.de)

Der Ausschnitt aus der Gefahrenkarte des HLUH Hessen (s. Abb. 58) bezieht sich auf potenzielle Georisiken infolge von Verkarstungserscheinungen. Im Sulfatkarst kommt es durch den Grundwassereinfluss zu Sulfatlösungen im Untergrund und damit zur Hohlrumbaue mit der Gefahr von Erdfällen. In Abhängigkeit von Tiefe und Mächtigkeit der verkarstungsfähigen Sedimentgesteine, des Ausmaßes bereits erfolgter Lösungserscheinungen sowie der Mächtigkeit überlagernder Deckschichten wurde eine Abstufung hinsichtlich des Auftretens rezenter Erdfälle in der Gefahrenhinweiskarte vorgenommen. Weitere

Verkarstungserscheinungen, der Chloridkarst (Zechstein) infolge von Lösungsprozessen an Salzlagerstätten oder der Karbonatkarst des Muschelkalkes, sind nicht dargestellt.

Setzungen können unterschiedliche Ursachen haben, etwa nachträgliche Verdichtungen von unverfestigten Auffüllungen durch neue Auflasten bei Bauvorhaben, die Drainage stark wasserhaltiger feinkörniger Sedimentgesteine oder die Zersetzung organischer Lockergesteine (Schlick, Torf) im Bereich von Auen oder Mooregebieten.

Hebungen entstehen meist durch das Quellen von gipshaltigen Gesteinen oder durch die Auskristallisation von Sulfatmineralen in pyritführenden Schichten. Beide Prozesse sind mit Volumenvergrößerungen und damit Hebungerscheinungen verbunden.

In Rheinland-Pfalz treten Rutschungen (durch Schwerkraft bedingte Massenbewegungen) besonders häufig gekoppelt an die geologischen Formationen des Hunsrückschiefers (Tonschiefer) des Devons, an den Prallhängen der Mittelmosel, im Bereich der Ton- und Schluffsteine des Permokarbon im Saar-Nahe-Becken und an den tertiären Schichten des Mainzer Beckens auf (Website LGB RLP – Hangstabilitätskarten). In den Karten ist zwischen nachgewiesenen Rutschungen und rutschanfälligen Gebieten unterschieden. Erstere wurden über die Geländemorphologie, Bohrprofile o.ä. ermittelt. Die meisten Rutschungsgebiete befinden sich im Ruhezustand. Die größte Aktivität wird für das 5.000 bis 7.500 Jahre zurückliegende feuchte, durch starke Niederschläge geprägte Atlantikum vermutet (Website LGB RLP – Hangstabilitätskarte Mittelmosel).

Abb. 57: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte für geologische Gefährdungen in Bayern (LfU Bayern, www.bis.bayern.de; Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodaten.bayern.de)

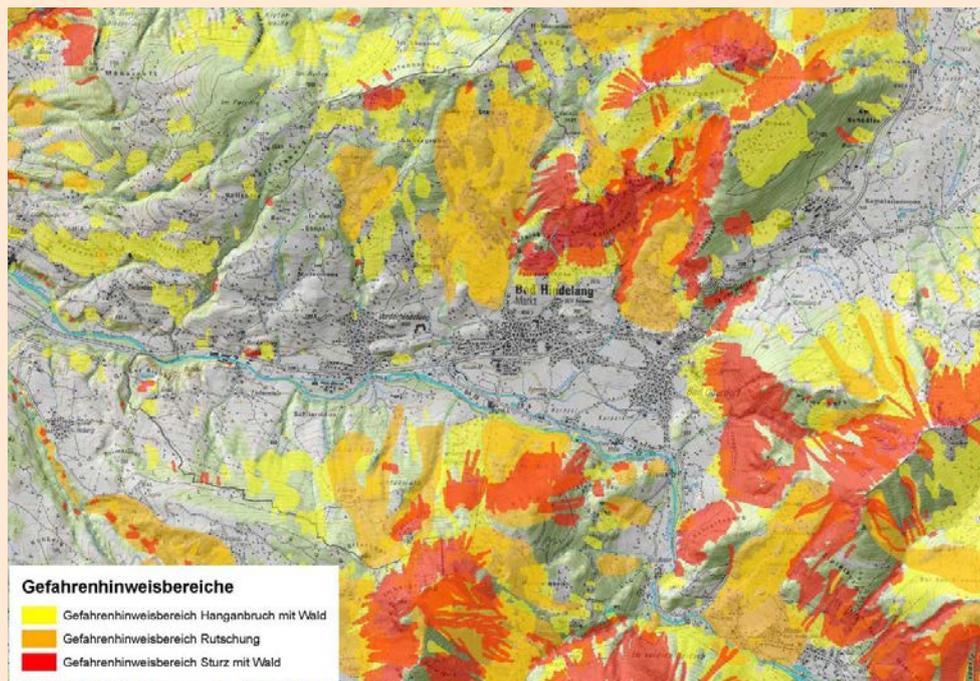


Abb. 58: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte Subrosion des HLUG Hessen (Möbus/Ruch/Starke 2009: 3)

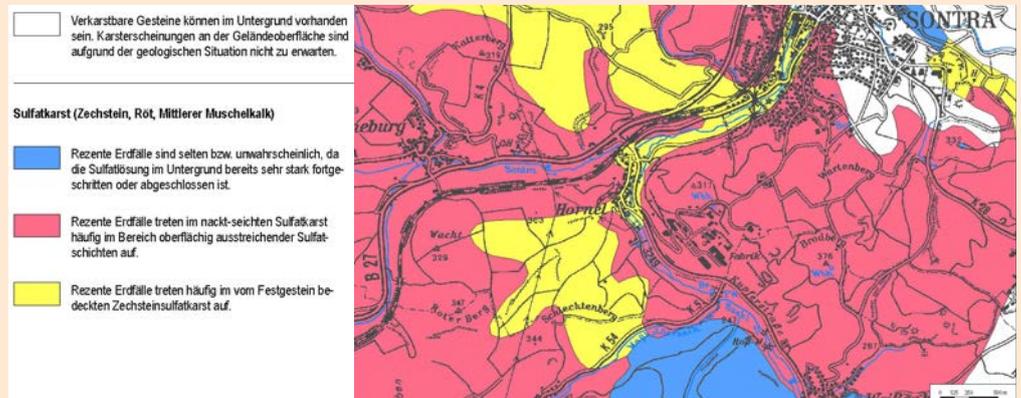


Abb. 59: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte „Setzungen/Hebungen“, LGRB Baden-Württemberg (Möbus/Ruch/Starke 2009: 3)

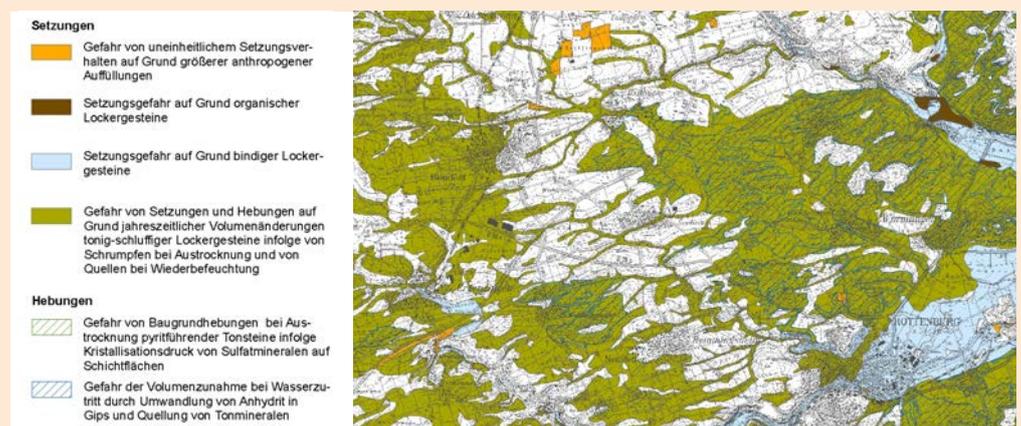
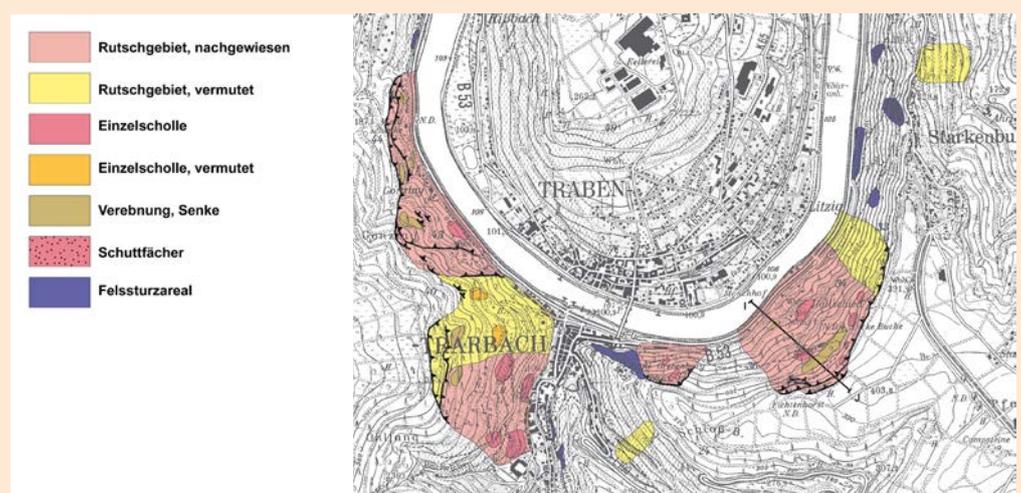


Abb. 60: Ausschnitt aus der Hangstabilitätskarte Mittelmosel des LGB Rheinland-Pfalz (Rogall/Möbus 2005)



Beispiel: Der Regionalplan Neckar-Alb

Der Regionalplan Neckar-Alb (Regionalverband Neckar-Alb 2013) bietet ein Beispiel für die Integration von Gefahrenhinweisen in den regionalplanerischen Kontext. Von besonderer Bedeutung ist die exemplarische Umsetzung im Rahmen der Instrumente der Regionalplanung. Rutschungsgefährdete Bereiche sind hier (zusammen mit anderen Aspekten) als Vorbehaltsgebiete für Bodenerhaltung im Sinne eines Grundsatzes festgelegt:

„Zum Schutz des Bodens und wichtiger Bodenfunktionen sind Vorbehaltsgebiete für Bodenerhaltung festgelegt und in der Raumnutzungskarte dargestellt. In den Vorbehaltsgebieten für Bodenerhaltung hat der Schutz der Böden bei der Abwägung mit konkurrierenden raumbedeutsamen Nutzungen ein besonderes Gewicht. [...] In den stark rutschungsgefährdeten Bereichen sind destabilisierende Eingriffe in den Boden zu unterlassen oder, wenn Eingriffe unumgänglich sind, Maßnahmen zur Hangsicherung zu treffen.“ (Regionalverband Neckar-Alb 2013: 83)

In der Begründung (Regionalverband Neckar-Alb 2013: 84) heißt es: „Zum Schutz des Bodens und der Bodenfunktionen sind Vorbehaltsgebiete für Bodenerhaltung nach folgenden Kriterien festgelegt: [...] Rutschungsgefährdung: In der Region Neckar-Alb sind aufgrund der geologischen Verhältnisse insbesondere Bereiche am Rand und im Vorland der Schwäbischen Alb durch Rutschungen gefährdet.“

Auf der Zeitachse sind langsame Gleitbewegungen des Bodens von abrupt auftretenden Massenabgängen zu unterscheiden, wobei kaum

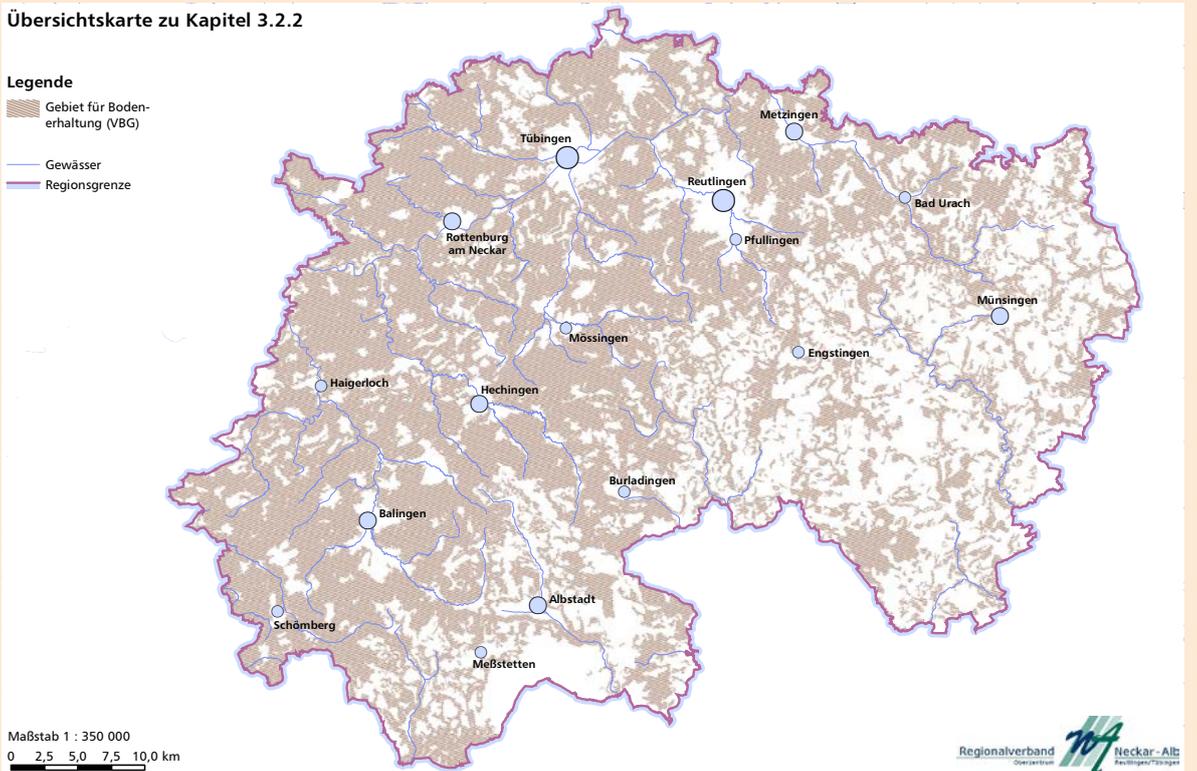
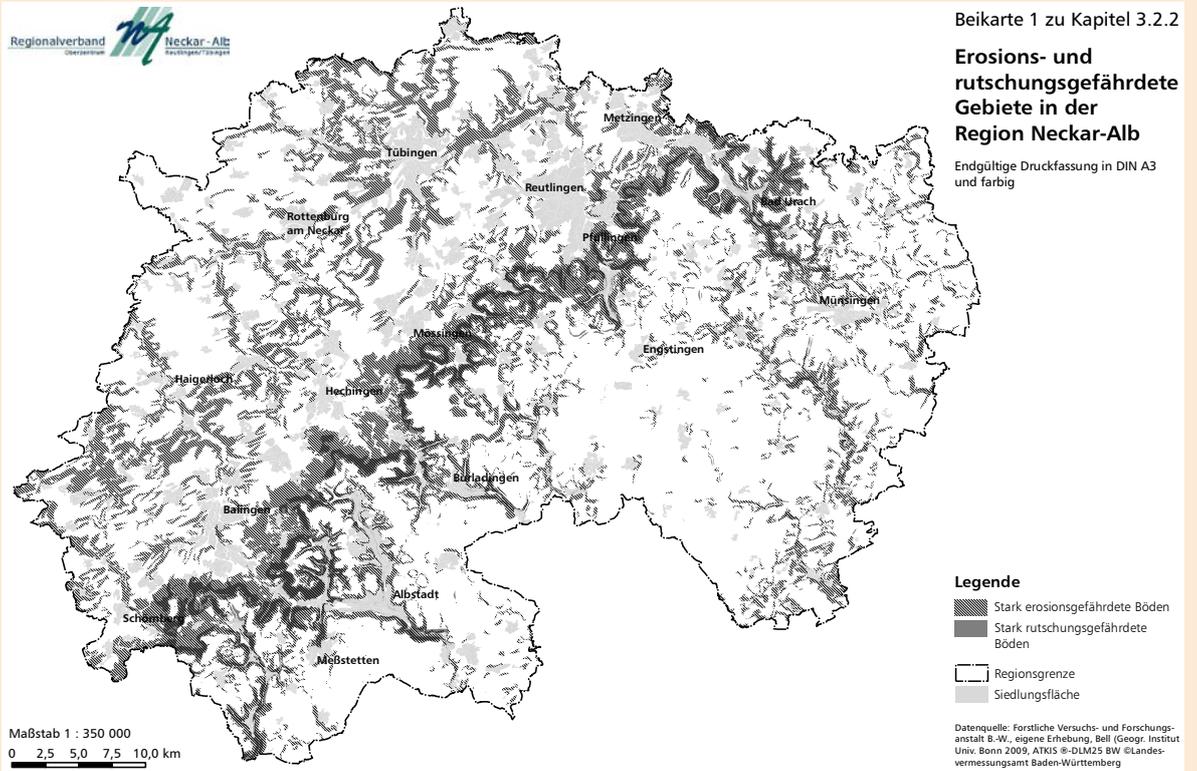
prognostizierbar ist, wann die langsamen, gleichmäßigen Prozesse sich abrupt beschleunigen. Der Klimawandel wirkt sich vielfältig auf diese Prozesse aus. Seine Wirkungen sind hierbei entweder unmittelbar (z.B. veränderte Niederschlags- und Schneeverhältnisse) oder mittelbar (z.B. durch die Destabilisierung von Hängen durch Sturmwurf). Aktuelle Forschungsergebnisse prognostizieren eine steigende Häufigkeit von diesen gravitativen Massenbewegungen in Folge des Klimawandels.

Eine planerische Vorsorge ist neben der Erhaltung des Bodens und der Bodenfunktionen auch für den Schutz von Siedlungs- und Verkehrsflächen wichtig. Aus diesen Gründen sind stark rutschungsgefährdete Bereiche (s. Beikarte 1 zu Kapitel 3.2.2) in die Vorbehaltsgebiete für Bodenerhaltung einbezogen.

Damit erhalten Fachbehörden und Kommunen Informationen über die Lage solcher Gebiete und können im Falle von Planungen Erfordernisse für besondere geologische Untersuchungen ableiten. Durch die Freihaltung stark rutschungsgefährdeter Bereiche von Bebauung und Infrastruktureinrichtungen – und damit von destabilisierenden Eingriffen – kann die Rutschungsgefahr und damit auch das Risiko von Schäden an bestehenden Baukörpern und Infrastruktureinrichtungen vermieden oder vermindert werden. Eine Inanspruchnahme dieser Gebiete bedarf einer besonderen Begründung. Bei den stark rutschungsgefährdeten Bereichen handelt es sich maßgeblich um Hanglagen mit tonreichen Böden, für die im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts ILEWS (Integrated Landslide Early Warning Systems) eine besonders hohe Rutschungsgefährdung ermittelt wurde. Sie wurden unabhängig von der derzeitigen Bodennutzung auf der Grundlage einer nachgewiesenen Hangrutschungsgefährdung abgegrenzt.“

Abb. 61 (rechts oben): Erosions- und rutschungsgefährdete Gebiete in der Region Neckar-Alb (Regionalverband Neckar-Alb 2013: 86)

Abb. 62 (rechts unten): Gebiete für Bodenerhaltung (Vorbehaltsgebiete) in der Region Neckar-Alb (Regionalverband Neckar-Alb 2013: 88)





5.3.5 Küstenschutz

Ausgangslage

Küstenregionen gehören aufgrund ihrer Siedlungs-, Erholungs- und Verkehrsfunktionen sowie ihrer Dynamik durch die Schnittstelle zwischen Meer- und Landfläche zu den Bereichen, die besonders sensibel auf veränderte Rahmenbedingungen reagieren. Voraussetzung für die soziale und wirtschaftliche Entwicklung von Küstenregionen ist ein funktionierender Küstenschutz, der den Schutz vor Überflutungen bei Sturmfluten sicherstellt und den Küstenrückgang durch Erosion unterbindet, dessen Gewährleistung jedoch erhebliche finanzielle Anstrengungen erfordert. Um auch langfristig ein möglichst gefahrloses Leben und Wirken des Menschen und eine nachhaltige Nutzung der Küstenregionen zu ermöglichen, muss der Küstenschutz auch unter einem zukünftig veränderten Klima funktionieren (MKRO 2013: 17f).

Bei den durch den Klimawandel ausgelösten Veränderungen steht der bis zum Jahr 2100 zwischen 18 und 59 cm (IPCC 2007: 45) prognostizierte Meeresspiegelanstieg im Vordergrund. Zu dessen Auswirkungen gehört in erster Linie die Überflutung von nicht geschützten Flächen. Neben den direkten Auswirkungen auf die Küstenbereiche hat der Meeresspiegelanstieg auch Auswirkungen auf die an die Küstengewässer angeschlossenen Gewässersysteme. Zusammenfassend führt der Meeresspiegelanstieg zu folgenden wesentlichen Auswirkungen (Regionaler Planungsverband Vorpommern 2011: 66; MKRO 2012: 24):

- Überflutung von nicht geschützten Flächen
- Zunahme von Landverlusten durch Erosion auf den Inseln und an der Küste
- Gefährdung von Siedlungsbereichen, Einzelanlagen, Gewerbeflächen, Infrastrukturanlagen
- Gefährdung der Energieversorgung
- Gesundheitliche Probleme durch Extremereignisse (Überflutung)
- Erhöhter Aufwand des Küstenschutzes
- Einschränkung der Siedlungsentwicklung; auch im Zusammenspiel mit anderen Flächenansprüchen (Land- und Forstwirtschaft, Naturschutz)
- Einschränkung der Naherholungsflächen

- Anstieg der Entwässerungsproblematik, Überlastung von Entwässerungssystemen
- Verschiebung der Brackwasserzone und Zunahme der Grundwasserversalzung und die damit verbundene veränderte Nutzung landwirtschaftlicher Flächen

Darüber hinaus sind weitere Auswirkungen des Klimawandels an der Küste relevant (MKRO 2012: 24):

- Änderung der Häufigkeit und Intensität von Stürmen und Sturmfluten
- Zunahme extremer Niederschlagsereignisse und höherer Abflüsse aus dem Binnenland
- Anstieg der Temperaturen und in der Folge veränderte z.T. intensivere Nutzungen z.B. durch Tourismus
- Zunahme der Nähr- und Schadstoffeinträge über die Flüsse in das Küstenmeer

Regelungsbedarf der Regionalplanung

Die Vielzahl der Nutzungs- und Schutzansprüche in den Küstenregionen erfordert einen hohen Koordinierungsaufwand, um potenziellen Nutzungskonflikten und Risiken zu begegnen. Hier kann insbesondere die Raumordnung eine Leitfunktion wahrnehmen, wobei sich vor dem Hintergrund des sich wandelnden Klimas einige besondere Handlungsschwerpunkte ergeben (MKRO 2012: 18ff).

Der Küstenschutz hat zur Aufgabe, durch geeignete aktive und passive Maßnahmen die Küsten vor Überflutungen zu schützen und Küstenerosion zu unterbinden. Überflutungen und Küstenerosion stehen im Zentrum der regionalplanerischen Klimafolgenbewertung, da sich der diesbezügliche Handlungsbedarf direkt aus dem Zusammenwirken von Klimasignal und der regionalen Sensitivität ergibt. Der Abschnitt „Küstenschutz“ konzentriert sich daher in erster Linie auf Küstenerosion und Sturmgefährdung (MKRO 2013: 20f):

Freihaltung von Pufferzonen an ungeschützten Erosionsküsten: Sandige Küsten und Steilufer sind der Erosion ausgesetzt, die langfristig zu einem Rückgang der Küstenlinie führt. Durch Küstenschutzmaßnahmen kann der Erosion entgegengewirkt werden, anderenfalls müssen die auf diese Weise gefährdeten Bereiche von nicht angepassten Nutzungen großräumig freigehalten werden. So lassen sich

vorsorglich potenzielle Schäden vermeiden und Freiräume für ggf. später erforderliche Schutzmaßnahmen sichern. Neben der Festlegung von Sicherheitsabständen (Pufferzonen) in erodierenden Küstengebieten als Vorranggebiete kommt auch eine Zonierung mit entsprechender Einteilung in Vorrang- und Vorbehaltsgebiete oder die Freihaltung von anderen Nutzungen durch Ausweisung Regionaler Grünzüge infrage. Innerhalb dieser Pufferzonen sind ggf. temporär kompatible Nutzungen weiterhin möglich. Voraussetzung dafür ist eine entsprechende Fachplanung des Küstenschutzes.

Risikominimierung in sturmflutgefährdeten Bereichen:

An der Nord- und Ostsee erfolgt der Schutz vor Sturmfluten hauptsächlich durch Deiche und Siele (Küstenschutz). Der Küstenschutz wird als Gemeinschaftsaufgabe von Bund und Ländern wahrgenommen (Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“; § 1 GAKG). Die gesetzlichen Grundlagen für den Bau von Anlagen und Deichen sowie Nutzungsverbote sind in den Wasser- und Deichgesetzen der Küstenbundesländer verankert. Sturmfluten und der Anstieg von Sachwerten führen zur Risikohöherung, der im Rahmen einer vorsorglichen Planung sowohl in nicht ausreichend sturmflutgeschützten als auch in sturmflutgeschützten Küstengebieten zu begegnen ist (Janssen 2005: 456).

Kein Küstenschutzsystem kann einen absoluten Schutz vor Überflutungen infolge von Sturmfluten gewährleisten, da diese stets nur auf einen definierten Sicherheitsstandard ausgelegt sind. Daher ist eine **ergänzende Risikominimierung in sturmflutgeschützten Küstengebieten** sinnvoll. Als Vorsorgemaßnahmen, die instrumentell über textliche Festsetzungen oder die Darstellung von Risikogebieten bzw. nachrichtliche Übernahme von risikogefährdeten Bereichen gemäß EU-HWRL umgesetzt werden können, sind hier zu nennen (MKRO 2013: 21):

- **„Festlegung von überflutungsgefährdeten Bereichen hinter Küstenschutzanlagen:** Risikogebiete gemäß § 73 WHG sollen auf Grundlage von § 5 BauGB im Flächennutzungsplan vermerkt werden. In den Regionalen Raumordnungsprogrammen können die Risikogebiete nachrichtlich dargestellt werden. Zur Sensibilisierung der hinter Küstenschutzanlagen lebenden Bevölkerung kann die Überflutungsgefährdung durch Ausweisung

von potenziell gefährdeten Bereichen aufgezeigt werden. Die verbesserte Wahrnehmung der jeweiligen Betroffenheit ermöglicht ein verbessertes Katastrophenmanagement.

- **Anpassung von Infrastruktur an den Katastrophenschutz:** Im Falle des Versagens von Küstenschutzanlagen können z.B. in Dammlage geführte Straßenverbindungen Evakuierungen sowie die Erreichbarkeit der Schadensstellen erheblich verbessern. Diese können bei geeigneter Linienführung zu einer Polderbildung führen, um so die Gefährdung von Bereichen mit besonders hohem Schadenspotenzial zu reduzieren.
- **Nutzungsregelungen in besonders tief liegenden Gebieten:** In solchen Gebieten ist im Versagensfall die Gefahr einer intensiven, länger andauernden Überflutung besonders hoch. Möglichkeiten der Risikominimierung bestehen in Nutzungsbeschränkungen oder der Aufhöhung besonders gefährdeter Flächen.“

Nicht alle sturmflutgefährdeten Bereiche sind durch Schutzanlagen gesichert. Durch Vorgaben für die Errichtung von Infrastruktur, baulichen Anlagen und sonstigen Nutzungen in diesen Bereichen können Schadenspotenziale und auch eine Gefährdung von Menschen für ein festgesetztes Bemessungsereignis vermieden oder vermindert werden. Bei der **Risikominimierung in nicht ausreichend sturmflutgeschützten Gebieten** ist zu beachten, dass diese Nutzungen der Umsetzung von Küstenschutzmaßnahmen nicht entgegenlaufen dürfen. Die Sicherung entsprechender Gebiete kann durch die Darstellung von Vorbehaltsgebieten sowie textliche Festsetzungen erfolgen.

Neben dem Umgang mit den direkten Klimafolgen Erosion und Sturmflut wird es in der Regionalplanung zukünftig auch darum gehen, den für den Küstenschutz erforderlichen Raum und den Zugriff auf das erforderliche Material (Sand und Klei) sicherzustellen sowie zu einem verstärkten Problembewusstsein beizutragen (MKRO 2013: 18). Die sich daraus ergebenden Handlungserfordernisse sind somit dem Bereich der Verbesserung der Anpassungskapazität zuzuordnen (MKRO 2013: 18ff):

- **Raumbedarf für Klei- und marine Sandentnahmestellen für Küstenschutz zwecke sichern:** „Der Bedarf an

Klei für zukünftige Deichbaumaßnahmen wird wegen des zu erwartenden fortdauernden Meeresspiegelanstiegs langfristig bestehen bleiben. [...] Zur Sicherung der von Erosion bedrohten Küstenabschnitte stellen Strand- und Vorstrandaufspülungen wesentliche nachhaltige Küstenschutzmaßnahmen dar“ (MKRO 2013: 18f). Sandentnahmestellen müssen daher ebenfalls langfristig abgesichert sein. In den potenziellen Gewinnungsgebieten sind vielfältige andere Raumanprüche (Siedlungsflächen, Naturschutz, Tourismus etc.) vorhanden. Durch die Darstellung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten kann die Sicherung von Gewinnungsgebieten für Klei und Sand im Küstenvorfeld erfolgen. Dies setzt eine entsprechende Fachplanung des Küstenschutzes voraus (MKRO 2013: 20).

- **Freihaltung von Bereichen vor und hinter Küstenschutzanlagen von konkurrierenden Nutzungen:** Werden Küstenschutzanlagen erhöht und verstärkt, entsteht in der Regel zusätzlicher Raumbedarf. Insbesondere in Siedlungsbereichen unmittelbar landseitig der Küstenschutzanlagen kann es daher zu Nutzungskonflikten kommen. „Seeseitig von Küstenschutzanlagen können solche Konflikte vor allem im Bereich von Häfen oder touristischen Nutzungen oder mit dem Naturschutz entstehen. Eine raumordnerische Flächensicherung kann die für die Küstenschutzplanungen erforderlichen Flächen von Bebauung und anderen z.T. auch nur schwer revidierbaren Nutzungen langfristig freigehalten. [...] Die Sicherung entsprechender Gebiete vor und hinter Küstenschutzanlagen kann durch Darstellung von Vorrang- oder ggf. von Vorbehaltsgebieten erfolgen. Voraussetzung ist auch hier eine entsprechende Fachplanung des Küstenschutzes“ (MKRO 2013: 20).

Weitere Handlungsbereiche wie der Anstieg der Entwässerungsproblematik bzw. die Überlastung von Entwässerungssystemen, die Verschiebung der Brackwasserzone und die Zunahme der Grundwasserversalzung oder der Anstieg der Temperaturen und in der Folge veränderte, z.T. intensivere Nutzungen z.B. durch Tourismus, werden an dieser Stelle nicht weiter vertieft, da hier die Instrumente der Regionalplanung nur eine eingeschränkte Wirkung entfalten oder die Themen über andere Handlungsbereiche abgedeckt sind (z.B. Tourismus).

Grundsätzlicher methodischer Ansatz der Klimafolgenbewertung

Im Folgenden wird das grundsätzliche Vorgehen bei der Bewertung der direkten Klimafolgen im Bereich der Meeresküsten – Erosion und Sturmfluten – skizziert. Beim Schutz vor Erosion und Sturmfluten geht es darum, Abschätzungsgrundlagen zu ermitteln, aufgrund derer sich die Darstellung von Inhalten in Regionalplänen sowie die Anwendung anderer Instrumente „rechtssicher“ begründen lassen. Rechtssicherheit lässt sich nur über eine Klimafolgenbewertung erzielen, die auf Grundlage des rezenten Klimas geschieht und räumlich explizite Aussagen macht. Im Kern der Analyse steht entsprechend dem in Kapitel 5.2 beschriebenen allgemeinen Vorgehen daher in der ersten Phase ein GIS-gestützter Ansatz, der – jeweils für den Bereich Küstenerosion sowie Sturmflut – im Folgenden in den Schritten 2 bis 4 beschrieben wird. Schritte 5 und 6 beziehen die Veränderung des zukünftigen Klimas in die Betrachtung ein, gehen aber über den Status der rechtssicheren Abschätzung hinaus.

Eine Phase zur Spezifizierung des Untersuchungsrahmens kann dem Ansatz vorgeschaltet werden (Schritt 1). Da dieser Schritt für Küstenerosion und Sturmfluten methodisch auf die gleiche Weise durchgeführt werden kann, wird dieser Schritt vorangestellt.

Schritt 1: Identifizierung der wesentlichen Wirkzusammenhänge zwischen Klimawandel und Küstenerosion/Sturmfluten

Je nach Vorwissen innerhalb der Region kann zunächst eine Phase zur grundsätzlichen Spezifizierung des Untersuchungsgegenstandes vorgeschaltet werden, im Rahmen derer die wesentlichen Wirkzusammenhänge zwischen Klimawandel und Küstenerosion bzw. Sturmfluten identifiziert werden. Methodisch kann dieser Schritt in Form eines Workshops unter Beteiligung von Vertretern der Regionalplanung, der relevanten Fachplanungen (insb. Landschaftsplanung) sowie externer Experten durchgeführt werden. Ausgangspunkt können die Ergebnisse aus dem zuvor durchgeführten Screeningverfahren (s. Kap. 4) sein. Dieser Schritt dient dazu, den Untersuchungsgegenstand so einzugrenzen, dass nur die wesentlichen Zusammenhänge in den späteren GIS-Analysephasen untersucht werden,

was letztlich einem effizienten Einsatz von Ressourcen dient. Im Ergebnis werden die wesentlichen Wirkzusammenhänge in Form einer Liste, einer Wirkmatrix oder über Wirkketten dargestellt. Bei entsprechendem Vorwissen oder Vorarbeiten kann dieser Schritt auch entfallen.

Abschätzung der Betroffenheit gegenüber Küstenerosion (s. Abb. 63)

Schritt 2: Analyse zur Abschätzung gegenwärtig erosionsgefährdeter Bereiche

In diesem Schritt erfolgt zunächst die Bestimmung des örtlichen Sedimenttransports und morphologischer Veränderungen durch die Verknüpfung von Strömungs- und Seegangsmodellen. Über eine weitere Modellverknüpfung lassen sich Abrasion und Deposition quantifizieren. Beispielhaft für die Analyse des örtlichen Sedimenttransports und morphologischer Veränderungen wird hier das Vorgehen im Rahmen des RADOST-Projekts skizziert (RADOST 2013b). Eine detailliertere Beschreibung des Ansatzes findet sich bei Schlamkow (2010: 43).

Das Ergebnis dieses Schritts sind Aussagen zu den ausgewählten Untersuchungsbereichen über den gegenwärtigen Sedimenttransport am Küstenabschnitt. D.h., es können zukünftige morphologische und naturräumliche Veränderungen auf Basis rezenter Eingangsdaten (Strömungs- und Windverhältnisse) abgeschätzt werden. Dies lässt sich in einer GIS-basierten Karte festhalten.

Schritt 3: GIS-Analyse zur Abschätzung der Sensitivität gegenüber Küstenerosion

Als Kategorien für die Abschätzung der Sensitivität sind Siedlungsbereiche (Wohnen, Gewerbe), Infrastruktur (Straßen, Schienen, aber auch soziale Infrastruktur) sowie weitere küstenschutzfachlich bedeutende Bereiche (Klein- und Sandentnahmebereiche, Raumbedarf für technischen Küstenschutz) zu betrachten. Neben diesen gefährdeten Bereichen sind auch Einrichtungen, von denen im Falle einer Schädigung durch Küstenerosion Folgeschäden ausgehen können, in die Sensitivitätsabschätzung mit einzubeziehen. Das Ergebnis der GIS-basierten Sensitivitätsanalyse ist eine

Karte mit Gebieten, die aufgrund hoher Bevölkerungsdichten oder Einwohnerzahlen und/oder aufgrund vorhandener empfindlicher Einrichtungen eine besondere Sensitivität aufweisen.

Schritt 4: Abschätzung der aktuellen Betroffenheit gegenüber Küstenerosion

In diesem Schritt erfolgt GIS-basiert die Verknüpfung der Ergebnisse der Schritte 2 und 3. Das Ergebnis dieses Schritts ist die Bestimmung der räumlichen Betroffenheit von Umweltgütern und Nutzungen.

Die Schritte 2 bis 4 stellen den Kern des Referenzverfahrens zum Umgang mit Küstenerosion dar und dienen der rechtssicheren Abgrenzung von Gebieten zur Sicherung der räumlichen Entwicklung.

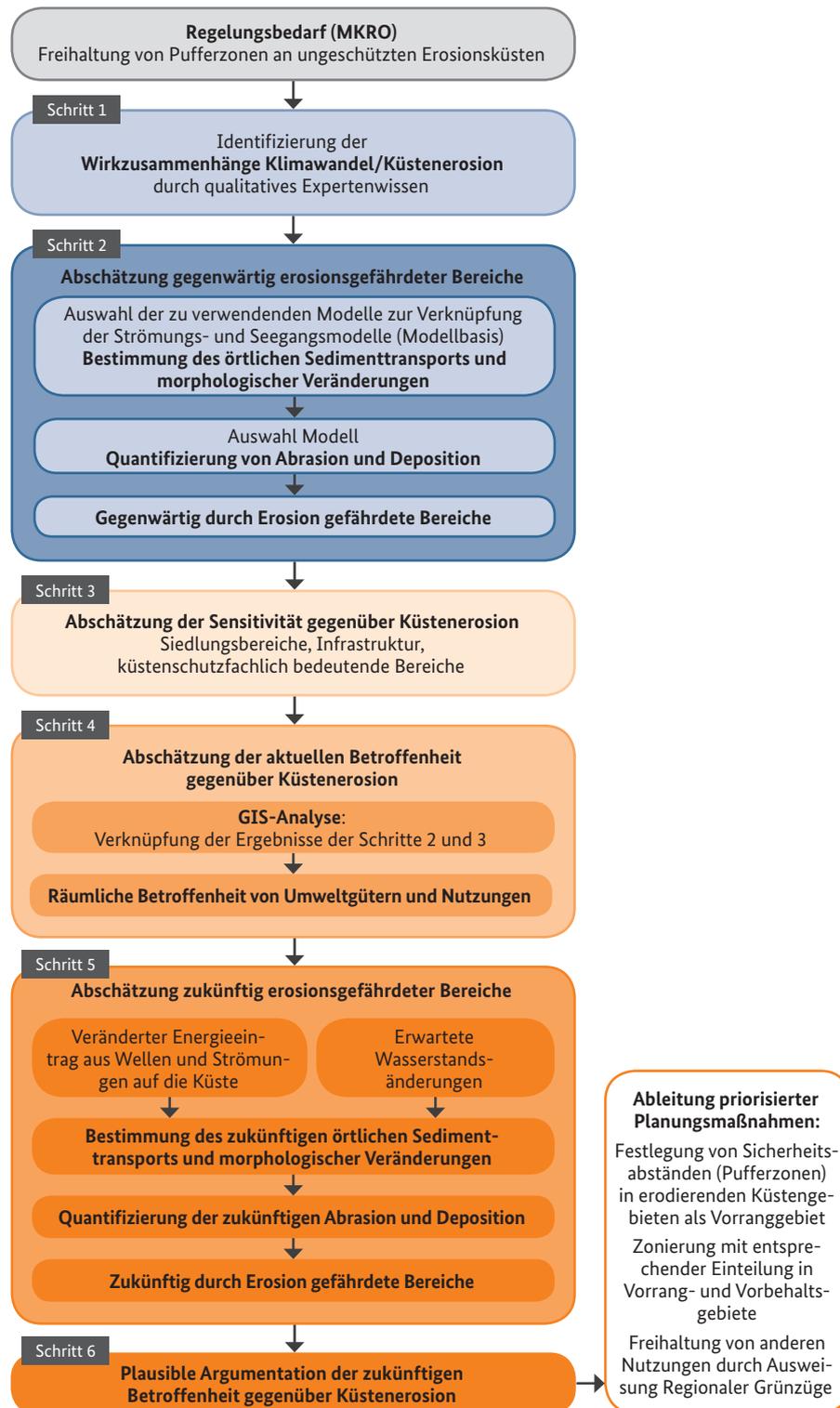
Schritt 5: Abschätzung zukünftig erosionsgefährdeter Bereiche

Im Rahmen des Projekts RADOST wurden zur Abschätzung der zukünftig erosionsgefährdeten Bereiche an den Küsten – aufbauend auf dem unter Schritt 2 skizzierten Ansatz – veränderte Rahmenbedingungen in das Modell eingespeist, nämlich der veränderte Energieeintrag aus Wellen und Strömungen auf die Küste sowie der erwartete Meeresspiegelanstieg. Ergebnis dieses Schritts sind Aussagen zur veränderten Sedimenttransportkapazität und eine Abschätzung zukünftiger morphologischer und naturräumlicher Veränderungen auf Basis veränderter Klimaparameter. Dies lässt sich in einer GIS-basierten Karte festhalten. Eine detailliertere Beschreibung des Ansatzes findet sich bei Schlamkow/Dreier (2011a/b; 2012a/b).

Schritt 6: Plausible Argumentation der zukünftigen Betroffenheit gegenüber Küstenerosion

Auf Grundlage der Ergebnisse aus Schritt 5 wird unter Annahme der vermuteten Veränderung der Siedlungsbereiche und Infrastruktur sowie weiterer küstenschutzfachlich bedeutender Bereiche die zukünftige Betroffenheit gegenüber der Küstenerosion abgeschätzt. Da zu Veränderungen der sozioökonomischen Faktoren kaum belastbare Aussagen möglich sind, werden hier plausible Annahmen getroffen.

Abb. 63: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Freihaltung von Pufferzonen an ungeschützten Erosionsküsten“ (eigene Darstellung)



Beispiel Küstenerosion: RADOST

Als Beispiel für die Abschätzung von Erosionsgefährdung in Küstenbereichen wird im Folgenden der Ansatz aus dem KLIMZUG-Projekt RADOST vorgestellt. Das Beispiel umfasst jedoch nicht die Verschneidung mit Sensitivitätsdaten und macht daher auch keine Aussagen zur Betroffenheit. Eine Verknüpfung mit der Regionalplanung bzw. ihren Instrumenten ist in diesem Beispiel ebenfalls nicht erfolgt. Dennoch kann der Ansatz als Ausgangspunkt für eine spätere raumplanungsrelevante Abschätzung der Küstenerosion gewählt werden.

Im Projekt RADOST – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste (2009-2014) – wird im Teilgebiet „Hydrodynamik und Sedimenttransporte“ der Frage nachgegangen, wie sich Wasserstände, Strömungen, Seegang und Sedimenttransporte auf den verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen in Zukunft entwickeln werden. Als Grundlage für die Entwicklung von Strategien und Optionen für den Küsten- und Hochwasserschutz wird der zu erwartende hydrodynamische Einfluss (Wasserstände, Seegang und Strömungen) auf die Küsten analysiert. Für diese Arbeiten werden Seegangs- und dreidimensionale Strömungs- und Transportmodelle auf einer für küstenwasserbauliche Fragestellungen erforderlichen kleinräumigeren Skala genutzt. Szenarien zu Veränderungen des Sedimenttransports im Küstenbereich werden simuliert und im Hinblick auf veränderte Erosions- und Akkumulationsbereiche analysiert und bewertet (RADOST 2013c). Die Analyse des örtlichen Sedimenttransports und morphologischer Veränderungen geschieht in folgenden Schritten (RADOST 2013b; Schlamkow 2010: 43):

1. Zunächst wurden großräumige Seegangs- und Strömungssimulationen für die gesamte Ostsee als Grundlage für kleinräumige Berechnungen durchgeführt. Die kleinräumigen Simulationen werden höher aufgelöst für die westliche Ostsee und die darin befindlichen Fokusgebiete durchgeführt und bilden die Grundlage für die Bestimmung der örtlichen Sedimenttransportkapazitäten und die Abschätzung der daraus resultierenden morphologischen Veränderungen der Küste. Die ermittelten Veränderungen der hydrodynamischen Bedingungen werden in Abhängigkeit von dem gewählten Szenario statistisch bewertet und auf Signifikanz geprüft.
2. In einem zweiten Schritt werden der veränderte Energieeintrag aus Wellen und die daraus resultierenden Strömungen auf die Küste als Folge der betrachteten möglichen Klimaänderungen, ausgehend von Daten des regionalen Klimamodells Cosmo-CLM (Rockel et al. 2008, Lautenschlager et al. 2009), für (a) mittlere Verhältnisse ebenso wie für (b) extreme Einzelereignisse genommen und mit der zu erwartenden Wasserstandsentwicklung in der westlichen Ostsee verknüpft.
3. Auf Grundlage der hydrodynamischen Simulationsrechnungen werden mit ingenieurwissenschaftlichen und -praktischen Modellen auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen die örtlichen Sedimenttransportraten ermittelt und darauf aufbauend Abschnitte mit Abrasion und Deposition identifiziert.

Ein Ergebnis der genannten Untersuchungen sind Aussagen zu den gegenwärtigen und künftigen Sedimenttransportkapazitäten in den ausgewählten Untersuchungsbereichen. D.h., es können zukünftige morphologische und naturräumliche Veränderungen auf Basis rezenter Eingangsdaten (Strömungs- und Windverhältnisse) abgeschätzt werden.

Im Rahmen des Projekts RADOST werden für die Abschätzung klimawandelbedingter möglicher Veränderungen der Sedimenttransportraten geänderte Randbedingungen für die Berechnung verwendet, nämlich der veränderte Energieeintrag aus Wellen und der daraus resultierenden Strömungen auf die Küste sowie Szenarien des zukünftigen, regionalen Meeresspiegelanstiegs. Für die Berechnung des Seegangs werden meteorologische Randbedingungen des regionalen Klimamodells Cosmo-CLM sowie Randbedingungen aus den großräumigen Seegangssimulationen für die gesamte Ostsee einbezogen (Schlamkow/Dreier 2011a: 61; 2011b: 67): Für das verwendete regionale Klimamodell Cosmo-CLM stehen Winddaten der Simulationsläufe für die Gegenwart (Simulationsläufe für das 20. Jahrhundert werden nachfolgend mit C20 bezeichnet) sowie für die Zukunft (SRES-Emissionsszenarien A1B und B1; Nakićenović et al. 2000) zur Verfügung. Das regionale Klimamodell wurde mit Randbedingungen des gekoppelten, globalen Atmosphäre-/Ozeanmodells ECHAM5/MPI-OM (Max-Planck Institut für Meteorologie, Hamburg) angetrieben. Die Simulationsdaten für die Gegenwart liegen in drei Realisierungen C20_1 bis C20_3 über einen Zeitraum von 1960 bis 2000 vor, wovon jedoch nur die ersten beiden Realisierungen in die Seegangssimulationen einbezogen werden. Die Seegangssimulationen werden auf Grundlage eines mittleren Wasserstands durchgeführt.

Anschließend werden die Auswirkungen der Veränderung der Seegangparameter in den Szenarienzläufen A1B und B1 für jeweils einen gleitenden Zeitraum von 30 Jahren innerhalb des 21. Jahrhunderts (2001-2100) im Vergleich zum Referenzlauf C20 (1971-2000) am Beispiel des küstenparallelen Sedimenttransports an der Küste von Warnemünde berechnet.

An der Küste von Warnemünde nehmen die nach Westen gerichteten Sedimenttransportkapazitäten (Q_{left} , Abb. 64a) ab, während die nach Osten gerichteten Sedimenttransportkapazitäten (Q_{right} , Abb. 64b) zunehmen. Insgesamt wurde eine Intensivierung des nach Osten gerichteten Netto-Sedimenttransports (Q_{net} , Abb. 64c), für alle betrachteten Emissionsszenarien in einer Größenordnung zwischen 28% und 43% zum Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) berechnet. Eine Erklärung für diese Entwicklung ist die zukünftige Veränderung des Energieeintrags auf die Küste durch den Seegang als Folge des Klimawandels. An der Küste von Warnemünde kann es zu einer Zunahme der mittleren signifikanten Wellenhöhen (30 Jahresmittel) um bis zu 5% und zu einer Veränderung der mittleren Wellenanlaufriechungen um bis zu 6° hin zu mehr westlichen Wellenanlaufriechungen zum Ende des 21. Jahrhunderts kommen.

Weitergehende Informationen

RADOST, Hydrodynamik und Sedimenttransporte:
<http://klimzug-radost.de>

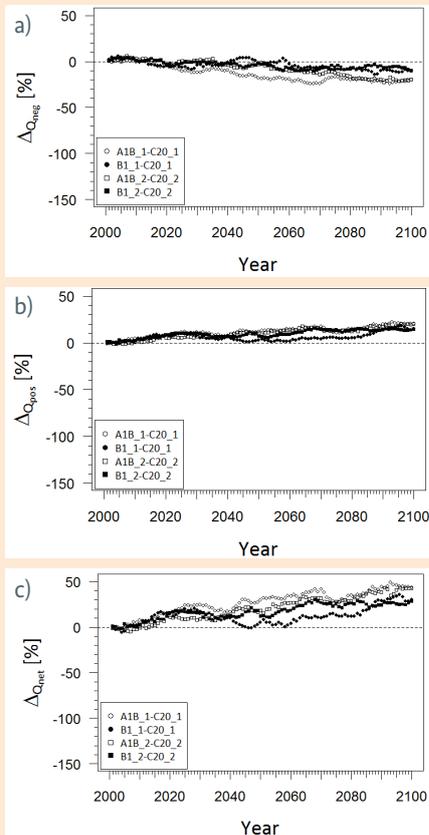


Abb. 64: Veränderung der nach Westen bzw. Osten gerichteten Sedimenttransportkapazitäten (a: ΔQ_{neg} bzw. b: ΔQ_{pos}) sowie der Netto-Sedimenttransportkapazitäten (c: ΔQ_{net}) über Zeitabschnitte von 30 Jahren, für die Emissionsszenarien A1B und B1, bezogen auf den Referenzzeitraum C20 (1971-2000) an der Küste von Warnemünde (RADOST 2013)

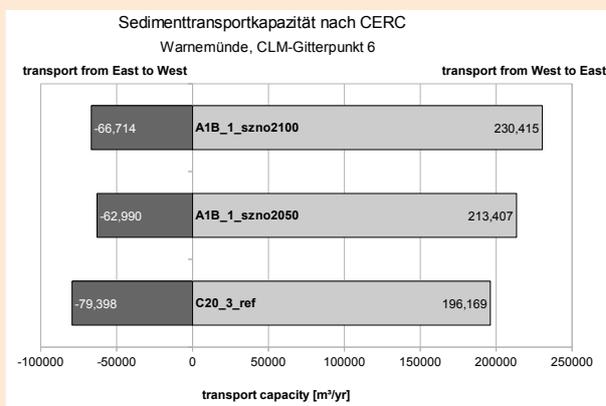


Abb. 65: Sedimenttransportkapazität im CLM-Szenarienlauf A1B-1 für das Szenario 2050 (2021-2050) sowie 2100 (2071-2100) im Vergleich zum CLM-Referenzlauf C20-3 (1971-2000), Warnemünde (Schlamkow/Dreier 2011b: 67)

Abschätzung der Betroffenheit gegenüber Sturmfluten (s. Abb. 66)

2. Schritt: Analyse zur Abschätzung gegenwärtig sturmflutgefährdeter Bereiche

Bei der Abschätzung der gegenwärtig sturmflutgefährdeten Bereiche erfolgt zunächst die Übernahme des durch die Fachplanungen gemessenen bzw. berechneten Scheitelwerts des größten Sturmflutereignisses der Vergangenheit als Referenzwert. Dieser Wert stellt auch die wesentliche Grundlage für das Bemessungshochwasser dar, welches für die Bemessung von Küstenschutzanlagen herangezogen wird. Während das Bemessungshochwasser noch Aufschläge (säkularer Anstieg, Klimaeffekt) enthält, stellt der höchste gemessene Sturmflutwasserstand einen konservativen, auf rezenten Daten beruhenden Ansatz dar.

Sodann erfolgt die Abschätzung der Überflutungsgefährdung über die Auswahl eines geeigneten Wirkmodells. Bestimmende Variablen sind Gelände, Bathymetrie (Gestalt des Meeresbodens), Lage und Höhe der Deichlinien sowie das Vorhandensein und die Höhe von Tide und Fließgewässern. Die Abschätzung sollte auch für den Fall des Versagens von Küstenschutzeinrichtungen vorgenommen werden, um Grundlagen zum Umgang mit hochwassergefährdeten Bereichen hinter den Deichen zu erhalten.

Ergebnis ist eine GIS-basierte Karte über gegenwärtig durch Sturmflut gefährdete Bereiche, idealerweise mit Aussagen zur Fläche, Tiefe, Strömungsrichtung und -geschwindigkeit der potenziellen Überflutung.

3. Schritt: GIS-Analyse zur Abschätzung der Sensitivität gegenüber Sturmfluten

In diesem Schritt erfolgt die Abschätzung der gegenwärtigen Sensitivität gegenüber Sturmfluten in Abhängigkeit von Nutzungstypen (z.B. Wohnen, Gewerbe, Infrastruktur) und Vermögenswertkategorien (z.B. Wohnkapital, Hausrat, PKW-Werte, Anlagevermögen usw.). Voraussetzung ist, dass diese durch ein Sturmflutereignis direkt

geschädigt werden und sich zudem monetär bewerten lassen können. Neben dieser Bestimmung der allgemeinen Schadenspotenziale muss eine räumliche Zuordnung der potenziellen Schäden erfolgen.

Das Ergebnis der GIS-basierten Sensitivitätsanalyse ist eine Karte mit Gebieten, die aufgrund hoher Werte (Einwohner, Vermögenswerte) eine besondere Sensitivität aufweisen.

4. Schritt: Abschätzung der aktuellen Betroffenheit gegenüber Sturmfluten

In diesem Schritt erfolgt GIS-basiert die Verknüpfung der Ergebnisse der Schritte 2 und 3. Das Ergebnis dieses Schritts ist die Bestimmung der räumlichen Betroffenheit von Umweltgütern und Nutzungen. Die Schritte 2 bis 4 stellen den Kern des Referenzverfahrens zum Umgang mit Sturmfluten dar und dienen der rechtssicheren Abgrenzung von Gebieten zur Sicherung der räumlichen Entwicklung.

5. Schritt: Abschätzung zukünftig sturmflutgefährdeter Bereiche

Ausgangspunkt zur Abschätzung auch der zukünftig sturmflutgefährdeten Bereiche an den Küsten ist zunächst eine Anpassung des Bemessungshochwassers durch die Fachplanungen an die veränderten Rahmenbedingungen infolge des Klimawandels. Beim Bemessungshochwasser handelt es sich um ein nach definierten Kriterien festgeleg-

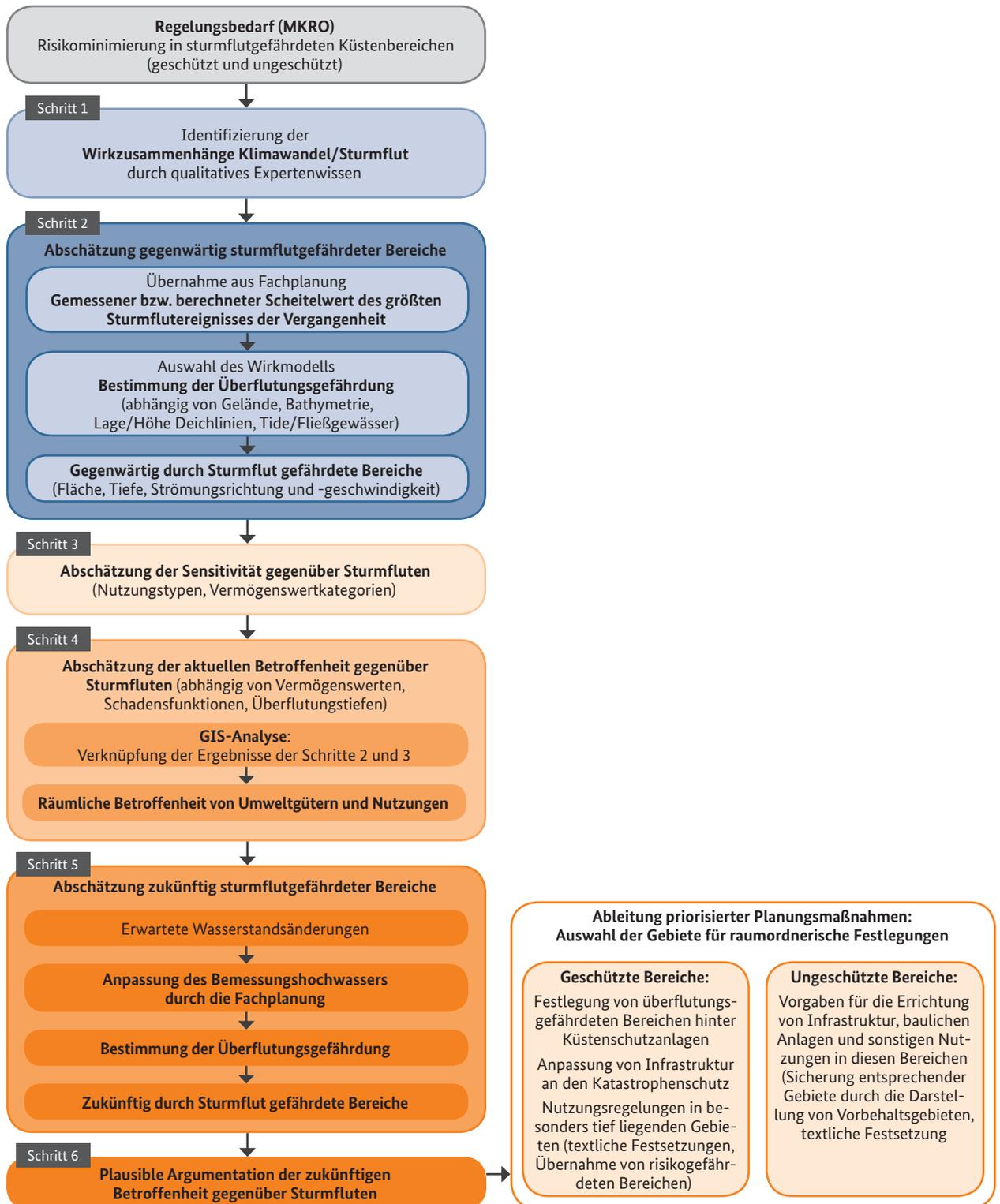
tes Sicherheitsmaß, das höher liegt als bisher eingetretene Sturmflutwasserstände. Dennoch kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass auch Sturmflutereignisse oberhalb des Bemessungswasserstandes eintreten (NLWKN 2007: 13). Das Bemessungshochwasser ist regional unterschiedlich, da einerseits der lokal jeweils höchste gemessene Sturmflutwasserstand zur Grundlage genommen wird und andererseits unterschiedliche Zuschläge eingerechnet werden (z.B. Klimazuschlag von 0,5 m für 1990 bis 2100 in Schleswig Holstein [MELUR 2012: 60] und Anstiegsbetrag von 0,2-0,3 m für 1870 bis 2070, ohne Klimawandeleffekt in Mecklenburg-Vorpommern [MLUVMV 2009: 48]).

Im Rahmen des Projekts KRIM (s. S. 136) wurden hierfür – aufbauend auf dem unter Schritt 2 skizzierten Ansatz – veränderte Rahmenbedingungen in das Modell eingespeist, nämlich um 55 cm erhöhte Tidewasserstände. Ergebnis dieses Schritts sind Aussagen zur Lage und Stärke (Tiefe, Strömungsgeschwindigkeit und -richtung) der Sturmflutgefährdung hinter den Deichen.

6. Schritt: Plausible Argumentation der zukünftigen Betroffenheit gegenüber Küstenerosion

Auf Grundlage der Ergebnisse aus Schritt 5 wird unter Annahme der vermuteten Veränderung der Nutzungen und Vermögenswerte die zukünftige Betroffenheit gegenüber Sturmfluten abgeschätzt. Da eine belastbare Veränderung der sozioökonomischen Faktoren nur schwer möglich ist, werden hier plausible Annahmen getroffen.

Abb. 66: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Risikominimierung in sturmflutgefährdeten Küstenbereichen“ (eigene Darstellung)



Beispiel Sturmflut: KRIM

Im Rahmen des Projekts KRIM – Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste (2001-2004) wurde ein Ansatz zur Abschätzung von potenziellen Schäden infolge von Sturmfluten unter veränderten Klimabedingungen entwickelt. Im Teilprojekt II „Klimaänderung und Küstenschutz“ des Vorhabens wurde eine dynamische Überflutungssimulation für acht Fokusflächen durchgeführt. Dabei wurde für jede Fokusfläche die Überflutungsausbreitung für den Ist-Zustand (Status quo) mit Hilfe einer abgelaufenen Sturmflut (z.B. 03.01.1976) ermittelt. Zusätzlich wurde für sieben der acht Fokusflächen ein Klimaszenario aufgestellt (um 55 cm erhöhte Tidewasserstände), um die Auswirkungen des ansteigenden Wasserstands auf den Überflutungsprozess abschätzen zu können (Mai et al. 2004: ii). Die Analyse wurde in mehreren Schritten durchgeführt.

Analyse des Versagens von Küstenschutzanlagen: Die qualitative Analyse des Versagens von Küstenschutzanlagen erforderte die Identifikation der maßgebenden Versagensmechanismen (technisches und menschliches Versagen bzw. Managementfehler, Sabotage sowie höhere Gewalt). Diese Vorausabschätzungen stellen die Grundlage für die Abschätzung potenzieller Schäden dar (Mai et al. 2004: 5, 45).

Quantifizierung des Vermögensbestandes auf Gemeindeebene: Die hier durchgeführte Schadenspotenzialanalyse zielt vornehmlich auf die Ermittlung von Werten, die bei einer Sturmflut direkt geschädigt werden und sich zudem monetär bewerten lassen (Mai et al. 2004: 78). Als Indikatoren wurden gewählt: Einwohner, Wohnkapital, Hausrat, PKW-Werte, Anlagevermögen, Vorratsvermögen, Bruttowertschöpfung, Viehvermögen, öffentliche Freiflächen, Straßen, Bahnlinien, Bodenwerte (Mai et al. 2004: 91).

Verortung des Vermögensbestandes: Im nächsten Schritt wurde versucht, sich der realen Wertverteilung anzunähern, indem die erhobenen Wertkategorien auf ihnen entsprechenden Flächennutzungen verortet wurden. Die Basis für diese räumliche Modellierung bilden dabei die digitalen Flächennutzungsdaten (Digitales Landschaftsmodell – DLM) des Amtlich Topographisch-Karthographischen Informationssystems (ATKIS). Die Nutzungsklassifikation des DLM wird durch den Objektartenkatalog (ATKIS-OK, AdV 2002) wiedergegeben. Die topographischen Erscheinungsformen der Landschaft werden dabei klassifiziert und in Objektbereiche, -gruppen und -arten aufgeteilt. Die erhobenen Wertkategorien (Einwohner und verbundene Werte, verschiedene Wirtschaftsbereiche, Bodenwerte) werden den ATKIS-Objektarten logisch zugeordnet. (Mai et al. 2004: 94).

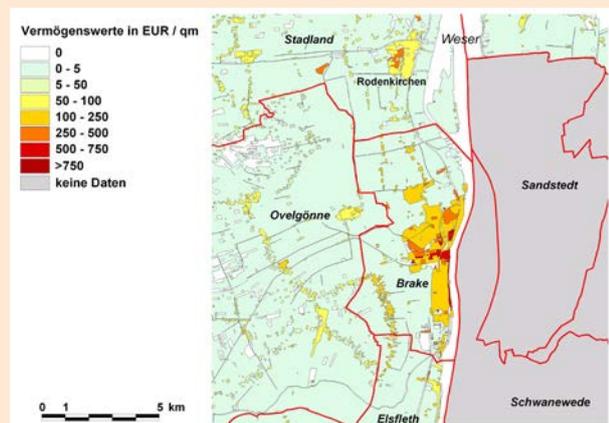
Technische Umsetzung im GIS: Die technische Umsetzung der räumlichen Modellierung der sozioökonomischen Werte erfolgt mit Hilfe der GIS-Software ArcView. Bei der räumlichen Modellierung jeder Wertkategorie werden die entsprechenden ATKIS-Objektarten aus dem Gesamtdatensatz separiert und zu einem Polygon bzw. bei Straßen und Bahnen zu einer Linie zusammengefügt, um ihnen die erhobenen Werte zuweisen zu können (Mai et al. 2004: 98). Abb. 67 zeigt für die Fokusfläche Brake die Verteilung der aufsummierten Vermögenswerte.

Ermittlung von Überflutungsflächen: Die Festlegung der Flächen, die im Falle eines Versagens des Schutzsystems von einer Überflutung betroffen sein können, ist Grundvoraussetzung für die Berechnung des zu erwartenden Schadens. Um die Ausdehnung der Überflutung realitätsnäher bestimmen zu können, wurden in diesem Projekt die Überflutungsflächen mit dem zweidimensionalen Finite-Differenzen Model MIKE21 des Danish Hydraulic Institute (DHI) errechnet (Basis: Geländehöhenmodell (DGM), Einbindung der Lage als auch der Höhen der Deichlinien, Tideverhältnisse bzw. Abflussmengen der Fließgewässer, ggf. Einfluss eines Flusses).

Um die Auswirkungen eines ansteigenden Meeresspiegels auf die Überflutungstiefe und -ausdehnung abschätzen zu können, wurde zudem für jede Fokusfläche ein Klimaszenario aufgestellt. Ausgehend vom „worst case“ des Third Assessment Report des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2001) wurde für das Bezugsjahr 2050 ein um 55 cm erhöhter Meeresspiegel angenommen. Zur Erstellung der Simulationen der Klimaszenarien wurde die in den jeweiligen Ist-Szenarien verwendete Tidekurve um 55 cm erhöht (Mai et al. 2004: 120; s. Abb. 68).

Schadensberechnung: Der auf einer überfluteten Fläche entstehende Schaden ist abhängig von der Überflutungstiefe. Dieser Zusammenhang zwischen Schadensgrad und Höhe der Überflutung kann durch sogenannte Wasserstands-Schadensfunktionen beschrieben werden. Die Schadensberechnung basiert auf der Verschneidung der während der Überflutung maximal erreichten Wassertiefe, den Vermögenswerten auf den betroffenen Flächen sowie den von der Vermögenswertkategorie abhängigen Schadensfunktionen. Zur automatisierten Verschneidung dieser drei Parameter wurde das Anwender-Tool „Loss-Calculator“ innerhalb des Geographischen Informationssystems ArcView entwickelt. Im „Loss-Calculator“ werden zunächst die von der Überflutung betroffenen Nutzungstypen (z.B. Wohnbauflächen) bestimmt und die maximalen Überflutungstiefen auf diesen Flächen zugewiesen. Als Datengrundlage der Nutzungstypen wird das um die Vermögenswertkategorien erweiterte ATKIS-DLM verwendet.

Abb. 67: Verteilung der Vermögenswerte in Brake (Mai et al. 2004: 101)



Der Gesamtschaden einer Überflutung berechnet sich schließlich aus der Summe der Schäden je betroffenem Nutzungstypen (Mai et al. 2004: 109; s. Abb. 69).

Ergebnisse: Die Bedeutung des Klimawandels für den Küstenschutz ist mit Hilfe der Methodik der Risikoanalyse untersucht worden. Dabei zeigte sich, dass für das in diesem Projekt angenommene Klimaszenario eines erwarteten Wasserstandsanstiegs um 0,5 m und eine Intensivierung der Windgeschwindigkeit um 7% im Mittel zu einer Erhöhung der Versagenswahrscheinlichkeit der Küstenschutzsysteme durch Wellenüberlauf – je nach Untersuchungsgebiet – um 400 bis 600% führt. Hierbei wird deutlich, dass die Stadt Bremen mit einer um das Sechsfache ansteigenden Versagenswahrscheinlichkeit eine hohe

Sensitivität bei Klimawandel aufweist. Zudem führt der Klimawandel zu einer Erhöhung des bei Versagen des Küstenschutzsystems zu erwartenden Überflutungsschadens. Die Schadenszunahme variiert je nach Untersuchungsgebiet von 10 bis 70%. Hier ist bei Klimawandel besonders die Insel Wangerooge betroffen. Das aus Versagenswahrscheinlichkeit und Überflutungsschaden berechnete Risiko erhöht sich dementsprechend bei dem angenommenen Klimawandel um 500 bis 700% (Mai et al. 2004: 208)

Weitergehende Informationen

KRIM, Teilprojekt Küstenschutz:
www.krim.uni-bremen.de/tpkuestenschutz.html

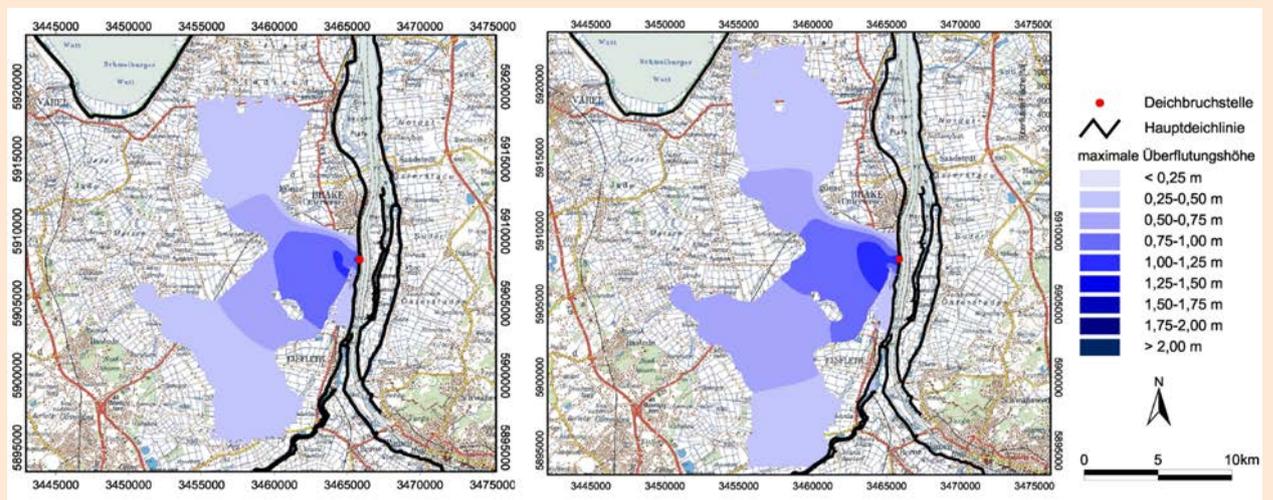
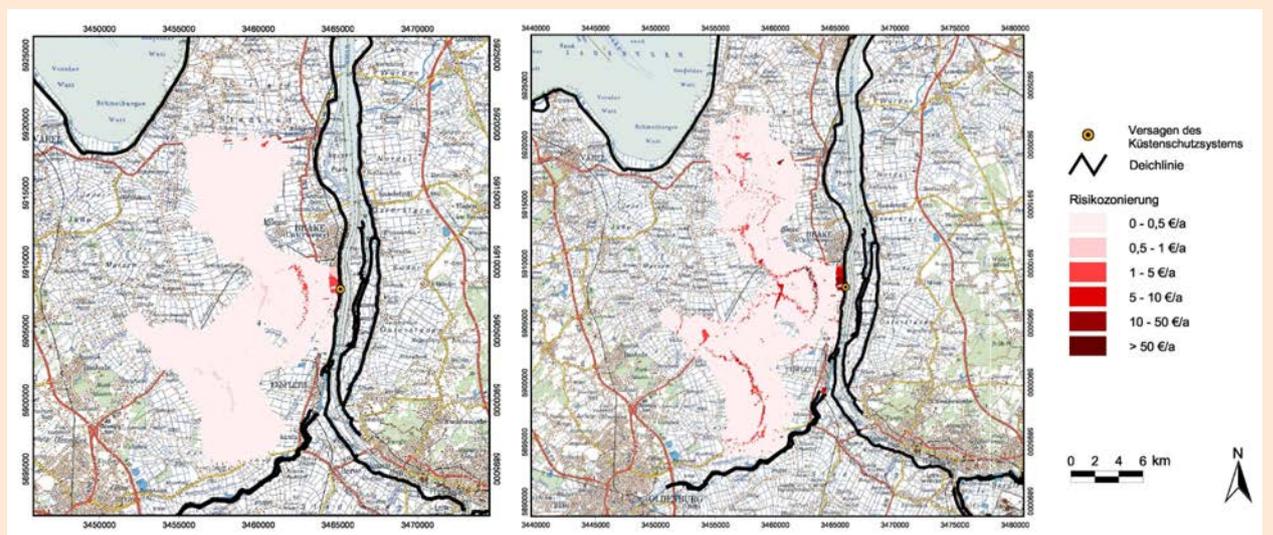


Abb. 68: Überflutungssimulation der Sturmflut vom 29.10.1996 für die Fokusfläche Brake mit Verteilung der maximalen Überflutungshöhen (links) sowie des Klimaszenarios (+ 55 cm; rechts) (Mai et al. 2004: 121f)

Abb. 69: Risikozonierung für die Fokusfläche Brake (Ist-Szenario links, Klimaszenario rechts) (Mai et al. 2004: 163)





5.3.6 Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen

Ausgangslage

Der Klimawandel beeinflusst die Arten und Lebensgemeinschaften in vielfältiger Weise, da die Wirkketten auf zahlreiche Aspekte des Ökosystems Einfluss nehmen können. Folgende Wirkungen stehen dabei im Vordergrund (nach Leuschner/Schipka 2004, Korn/Epple 2006, Klotz/Kühn 2007, in: Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a: 9f):

- „Veränderungen im Jahres- und Lebenszyklus, z.B. die Verschiebung phänologischer Phasen höherer Pflanzen durch eine verlängerte Vegetationsperiode (früherer Blattaustrieb, Blühbeginn etc.) oder ein verändertes Wanderverhalten bei Zugvögeln (frühere Ankunft im Brutgebiet, späterer Wegzug im Herbst etc.).“
- Auswirkungen auf den Wasser- und Nährstoffhaushalt der Lebensräume, z.B. könnten Torfböden durch steigende Temperaturen und (saisonal) abnehmende Niederschläge bzw. Dürreperioden entwässert werden, wodurch sich eine verstärkte Mineralisation und erhöhte Nährstoffverfügbarkeit ergibt.
- Direkte Beeinflussung des Stoffwechsels der Arten durch die Änderungen von Temperatur und Wasserverfügbarkeit, sowie indirekte Auswirkungen über sonstige Habitatveränderungen, die aus dem Klimawandel resultieren (z.B. Nährstoffverfügbarkeit, Vegetationsstruktur, Nahrungsangebot). Diese Einflüsse können die Konkurrenzverhältnisse beeinflussen und so die Abundanz von Arten bzw. die Dominanzstruktur in Lebensgemeinschaften verändern.
- Arealveränderungen, z.B. infolge von Erwärmung eine Arealexpansion sub-/mediteran und atlantisch verbreiteter Arten nach Norden bzw. Nordosten oder eine Arealregression bei glazialen Reliktarten.“

Der Klimawandel ist dabei nur ein verändernder Faktor, da aktuell und in Zukunft zahlreiche andere, v.a. anthropogene Einflüsse wie Flächenverbrauch und Landnutzungen, Stoff- und Energieeinträge auf Arten und Lebensgemeinschaften wirken. Auch die MKRO (2013) greift die vorgenannten Aspekte auf und betont dabei insbesondere die Verschiebung von Lebensräumen für Pflanzen- und Tierarten.

Die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt des Bundesumweltministeriums (BMU 2007: 55) fordert in einer ihrer Zielsetzungen im Kontext von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel „die vermehrte Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Biodiversitätsverlust und Klimawandel in allen Bereichen gesellschaftlichen Handelns“.

Seitens des Naturschutzes sind vor allem folgende Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel relevant (nach Korn/Epple 2006, Badeck et al. 2007, MUNLV 2007 und Jessel 2008, in: Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a: 10):

- Pflege und Entwicklung klimaempfindlicher Lebensräume und -gemeinschaften auf ausreichend großer Fläche sowie
- ein wirksamer Biotopverbund, der klimabedingte Ausweichbewegungen ermöglicht.

Regelungsbedarf der Regionalplanung

Vor dem Hintergrund der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (Bundesregierung 2008) sieht auch das Handlungskonzept der MKRO (2013) die Etablierung von Biotopverbundsystemen, die Reduktion der Landschaftszerschneidung und die Erhöhung ihrer Durchlässigkeit als geeignete Mittel zur Anpassung an den Klimawandel an.

Die Sicherung eines regions- und länderübergreifenden, funktional zusammenhängenden Netzes ökologisch bedeutsamer Freiräume und die Erweiterung der vorhandenen naturschutzfachlich bedeutsamen Kernflächen hochwertiger Biotopausstattung um weitere Freiflächen primär anderer Nutzung der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft bilden einen wesentlichen Handlungsschwerpunkt.

Diese Flächen können über die Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten (Natur- und Landschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Hochwasserschutz etc.) sowie über Regionale Grünzüge und Grünzäsuren gesichert werden.

Die Minimierung weiterer Zerschneidungen soll durch die Bündelung von Infrastrukturen, Vermeidung der Siedlungsdispersion, durch raumstrukturelle Festlegungen und die Sicherung großräumig unzerschnittener Räume erreicht werden.

Insbesondere vor dem Hintergrund der Unsicherheit, wie sich der Klimawandel im Kontext weiterer anthropogener Einflüsse auf Arten und Lebensräume auswirken wird, betont die MKRO die Bedeutung der länderübergreifenden Sicherung eines Biotop- und Freiraumverbundes.

Die Ziele und Instrumente der Regionalplanung wie die Sicherung eines regions- und länderübergreifenden, funktional zusammenhängenden Netzes ökologisch bedeutsamer Freiräume – etwa durch Vorrangflächen für den Naturschutz – sind keine Instrumente, die spezifisch der Anpassung an den Klimawandel dienen. Die Schaffung eines Biotopverbundes zielt auf die Sicherung von Arten und Lebensgemeinschaften im Allgemeinen – unabhängig davon, welchen Anteil der Klimawandel an der aktuellen bzw. zukünftigen Gefahr für die Schutzobjekte besitzt. Eine Ausdehnung des ökologischen Netzes ist dabei eine sinnvolle, aber generelle Strategie, auf zunehmende Umweltstressoren zu reagieren, um die Biodiversität und die Lebensräume für Tiere und Pflanzen besser zu sichern. Ein „ökologisches Netz“ mit Schutzgebieten und Biotopverbänden nur im Hinblick auf besonders klimasensible Arten und Lebensgemeinschaften hin auszurichten wäre angesichts anderer Wirkfaktoren nicht zielführend.

Grundsätzlicher methodischer Ansatz der Klimafolgenbewertung

Die potenziellen Auswirkungen auf Arten und Lebensgemeinschaften einschließlich der Verschiebung von Lebensräumen von Tieren und Pflanzen sind komplexer Art und daher auch einer Klimafolgenbewertung schwer zugänglich. Änderungen von Temperatur, Niederschlag, die Zunahme von Extremereignissen und den in den vorstehenden Handlungsfeldern beschriebenen Wirkfolgen wie Hochwasserereignisse, Trockenheit oder Hitze stellen den Ausgangspunkt für vielfältige Wirkketten dar. Mit Blick auf die Empfindlichkeit von Arten und Lebensgemeinschaften handelt es sich um individuelle und aufgrund örtlicher Standortbedingungen einzigartige Strukturen und Objekte, die als Betrachtungsgegenstand in Frage kommen.

Arten und Lebensgemeinschaften sind durch einen aktuellen, lokal unterschiedlichen Erhaltungszustand geprägt, beeinflusst von vielen Umweltfaktoren. Zudem weisen Pflanzen, v.a. aber Tierarten individuelle Schutz- und Anfälligkeitsfaktoren auf, die die Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen mitbestimmen. Die dem Organismus innewohnende Anpassungsfähigkeit entzieht sich ebenfalls einer verallgemeinernden regionalen Analyse. Dementsprechend sind alle bekannten Methoden der Klimafolgenbewertung für Arten und Lebensgemeinschaften mit großen Unsicherheiten behaftet.

Klimafolgenbewertungen im Bereich des Naturschutzes setzen meist auf Expertenurteile über die erwarteten Folgen. Typisierungen und Kategorisierungen von Arten, Lebensgemeinschaften oder Lebensraumkomplexen bilden dabei die Grundlage, die deren Individualität und die Einzigartigkeit von Standorten unberücksichtigt lassen müssen (Wilke et al. 2011).

Aufgrund der Komplexität der Analysen wird anders als bei anderen Handlungsfeldern der MKRO im Themenfeld „Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen“ kein generalisierter methodischer Ansatz dargestellt. Am Beispiel der Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen (Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a-c) wird dargestellt, wie sich der Ansatz

im Sinne des Grundansatzes des Methodenhandbuchs für die Regionalplanung weiterentwickeln ließe. Der Ansatz beschränkt sich dabei nicht auf einzelne Artengruppen oder Lebensraumtypen, sondern bezieht sich auf das komplexe Themenfeld der Biodiversität. Die Ergebnisse lassen sich direkt für Planungsmaßnahmen auf regionaler Ebene nutzen.

Die Pilotstudie geht folgenden Fragestellungen nach (Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a: 10):

1. „Auf welche Lebensräume und Arten lässt sich in Nordrhein-Westfalen bereits ein Einfluss durch den Klimawandel erkennen und welche Lebensräume und Arten sind voraussichtlich zukünftig besonders betroffen?
2. In welcher Weise (Wirkpfade, positive/negative Auswirkungen) sind die klimaempfindlichen Arten und Lebensräume durch den Klimawandel betroffen?
3. Für welche Arten und Lebensräume sind Habitatvernetzung bzw. Biotopverbund eine geeignete Anpassungsstrategie des Naturschutzes an den Klimawandel?
4. Welche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel können zur Erhaltung der Biodiversität in Nordrhein-Westfalen empfohlen werden? Wie kann der Biotopverbund in Nordrhein-Westfalen gestaltet und weiterentwickelt werden, um für bestimmte Arten und Lebensräume als wirkungsvolle Anpassungsmaßnahme zu funktionieren?
5. Welche Synergien ergeben sich mit anderen Handlungsfeldern? Welche Konflikte entstehen mit anderen Handlungsfeldern und welche Lösungsansätze gibt es?“

Methodisch werden zunächst die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf der Grundlage der Klimaszenarien hergeleitet. Dies entspricht in der Logik des Methodenhandbuchs einer Bestimmung des Klimasignals.

Anschließend wird die generelle Empfindlichkeit von Arten und Lebensraumtypen über die Auswertung von Literaturquellen und Expertenvoten eingeschätzt. In der sogenannten Wirkprognose werden die Ergebnisse aus der Empfindlichkeitsanalyse weitergehend ausgewertet. Durch die Bildung von Reaktionstypen werden Lebensraumtypen und Arten gleicher Reaktion etwa auf Temperaturveränderungen zusammenfassend dargestellt und der Typ am Beispiel einer Art exemplarisch erläutert.

Die Methodik der Pilotstudie zeigt mit Blick auf die Instrumente der Regionalplanung eine besondere Relevanz, weil im Rahmen der Bewertung die Verbundfähigkeit eingestuft wird. Es wird geklärt, „für welche Arten Maßnahmen, die allgemein unter dem Begriff ‚Biotopverbund‘ zusammengefasst werden können, als Anpassungsstrategie an den Klimawandel in Frage kommen“ (Behrens/Fartmann/Hölzel 2009c: 28).

Gleichwohl die Verbreitung der Arten bei der Beurteilung in Form von Arealkarten berücksichtigt wird, kann nicht von einer Betroffenheitsermittlung im Sinne des Methodenhandbuchs für regionale Klimafolgenbewertung ausgegangen werden, da die standörtlichen Bedingungen keine Berücksichtigung finden. Die Studie bleibt somit auf der Ebene der Beurteilung der Empfindlichkeit. Für die regionale Klimafolgenbewertung bedarf es an dieser Stelle einer weitergehenden standörtlichen Begutachtung (Erhebung), um die tatsächliche Betroffenheit zu klären. Auf dieser Grundlage könnten Biotopverbundsysteme im Sinne einer Klimaanpassung effektiver ausgestaltet werden.

Die Vorgehensweise wird mit Blick auf die Pilotstudie im Sinne der Grundlogik des Methodenhandbuchs nachfolgend weiterentwickelt und im Überblick erläutert.

Schritt 1: Ableitung der Klimasignale aus den Klimaszenarien

Aus der Vielzahl modellierbarer Klimaparameter wurden auf Grundlage einer Experteneinschätzung die relevanten Auswirkungen abgeleitet (s. Tab. 11).

Tab. 11: Voraussichtliche Auswirkungen des Klimawandels in verschiedenen Lebensräumen in Nordrhein-Westfalen (eigene Auswahl und Darstellung nach Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a: 28f)

Auswirkungen des Klimawandels	Lebensräume																							Quellenangabe
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Stärkeres und häufigeres Hochwasser durch Starkniederschläge		•	•	•					•					•										
Erhöhte Erosion und Sedimentfracht nach Starkregen		•	•	•										•		•					•	•		
Im Sommer und Herbst häufigere Niedrigwasserstände und geringere Quellschüttung bis hin zur zeitweisen Austrocknung	•	•	•	•					•					•							•			
Anstieg der Wassertemperatur	•	•	•																					
Erhöhte Nähr- und Schadstoffkonzentrationen bei geringer Wasserführung im Sommer	•	•	•																		•			
Geringerer Sauerstoffgehalt im Sommer, u.a. in Folge erhöhter Temperaturen	•	•	•																		•			
Keine oder nur dünne bzw. zeitweilige Eisdecke im Winter		•	•																		•			
Verstärktes Wachstum von Algen und Makrophyten durch veränderten Nährstoff- und Temperaturhaushalt	•	•	•						•															
Zunahme der Häufigkeit von Fischsterben bei Schadstoffeinträgen in Fließgewässern wegen fehlender Verdünnung (u.a. Spülstoffe in der Kanalisation nach längeren Trockenphasen)		•																						
Starke Fluktuationen des Grundwasserspiegels	•	•	•	•	•		•		•	•		•	•	•	•	•					•			
Ausgeprägte Trockenphasen im Sommer und Herbst, aufgrund der negativen Wasserbilanz	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
„Mikroklimatische Abkühlung“ im Frühjahr: frühere Vegetationsentwicklung führt in Kombination mit hohen Stickstoffeinträgen zur einem früheren und schnelleren Biomasseaufwuchs; sich gut erwärmende Streu wird schnell von frischem („kühlem“) Grün überwachsen, offene Bodenstellen werden ebenfalls schnell überwachsen										•	•	•	•	•	•									WallisDeVries & van Swaay 2006
In Trockenphasen verstärkte Humus- und Torfmineralisation, erhöhte Nährstofffreisetzung und Eutrophierung		•	•	•					•	•				•										
Verringerte Nährstoffverfügbarkeit („Oligotrophierung“) während der längeren Trockenphasen im Sommer						•				•	•	•	•			•	•							
Früherer Beginn von Mahd und Beweidung											•	•	•	•										
Längere Vegetationsperiode ermöglicht häufigere Schnitte von Wiesen													•											
Zunahme von Schneebruch, Windwurf und Hagelschäden durch das vermehrte Auftreten von klimatischen Extremereignissen							•																	
Zunahme von Insektenkalamitäten (Borkenkäfer, Frostspanner)				•	•	•	•	•																
Starke Ausbreitung von Neozoen und Neophyten	•	•	•	•				•	•						•	•				•	•	•		
Veränderung von Strukturen im Wald durch Laurophyllisierung (Zunahme immergrüner Gehölze wie Ilex aquifolium, Hedera helix und Prunus laurocerasus)					•	•	•	•																
Zunahme Waldbrand				•	•	•																		

Legende LRT:

- | | | | |
|-----|--|----|--|
| 1 | Quellen | 12 | Magerwiesen und -weiden (mäßig feuchte bis trockene Standorte) |
| 2 | Fließgewässer, Kanäle, Gräben | 13 | Fettwiesen und -weiden |
| 3 | Stillgewässer | 14 | Feucht-/Nasswiesen und -weiden |
| 4 | Feucht- und Nasswälder (Auenwald, Moorwald, Bruchwald) | 15 | Säume, Hochstaudenfluren (nasse bis trockene Standorte) |
| 5 | Laubwälder wechselfeuchter bis mäßig trockener Standorte | 16 | Äcker, Weinberge |
| 6 | Laubwälder trockener Standorte | 17 | Felsbiotope (Felsen, Block- und Schutthalde) |
| 7 | Nadelwälder | 18 | Höhlen und Stollen |
| 8 | Kleingehölze, Alleen, Bäume, Gebüsche, Hecken | 19 | Gärten, Parkanlagen, Siedlungsbrachen |
| 9 | Moore und Sümpfe | 20 | Abgrabungen |
| 10 | Heiden (trockene Heide und Feuchtheide) | 21 | Halden, Aufschüttungen |
| 11a | Kalkmagerrasen | 22 | Deiche und Wälle |
| 11b | Silikatmagerrasen | 23 | Gebäude |

Schritt 2: Bestimmung der Empfindlichkeit von Tierarten, Farn- und Blütenpflanzen sowie FFH-Lebensraumtypen und § 62-Biotopen

Die Empfindlichkeitsanalyse wird auf Basis von Literaturrecherchen und Experteneinschätzungen vorgenommen.

Empfindlichkeitsanalyse bei den Tierarten

Im Hinblick auf die Tierarten(gruppen) wurde die Empfindlichkeit dabei auf mehreren Ebenen beurteilt: Unter dem Aspekt Temperaturveränderung wurde die Gesamtauswirkung der Temperaturveränderung auf die jeweilige Art bewertet. Diese schließt differenzierte Bewertungen nachfolgender Kategorien, z.B. Einfluss der Temperatur auf den Lebenszyklus, mit ein. Durch die Wahl dieses Indikators soll eine einfachere Vermittlung der Ergebnisse im planerischen Kontext gewährleistet werden. Gleiches gilt für die Niederschlagsveränderung und deren Auswirkung auf die Arten. Mit Blick auf das Klimasignal wird die Empfindlichkeit für den Lebensraum weitergehend eingeschätzt. Es erfolgt zudem eine Bewertung der Areale hinsichtlich Arealgröße (Expansion, Regression), Lage des Areals und Arealverschiebung (Himmelsrichtungen, Höhenlage), Fragmentierung bisher zusammenhängender Areale sowie hinsichtlich der Zusammenführung derzeit fragmentierter Areale.

Der Lebenszyklus wird auf Veränderungen von Entwicklungsphasen (Dauer, Verschiebung im Jahresverlauf, Aufenthaltsdauer in Lebensräumen, etwa für die Ei-, Larval-, Imaginal-, Laich-, Brut-, Rast- oder Überwinterungshabitate), die veränderte Mortalität in empfindlichen Entwicklungsphasen sowie die Änderungen bei der Reproduktion eingestuft. Hinzu kommt eine Beurteilung der Desynchronisation von Entwicklungsphasen im Kontext anderer Habitateinflüsse, wie beispielsweise die Nahrungsverfügbarkeit für Jungvögel zum Zeitpunkt der Aufzucht oder die Veränderung der Konkurrenz zwischen den Arten, etwa durch Einwanderung.

Folgende Angaben besitzen zudem einen hohen Informationswert für nachfolgende Arbeitsschritte: Dies sind der Rote Liste-Status der Art, das Ausbreitungspotenzial (aktive und passive Ausbreitung mit Ausbreitungsvektor, Aktionsdistanz der Art) sowie die Verbundabhängigkeit. Letzteres beinhaltet eine Einstufung, ob die Ausbreitung der Art von Korridoren oder Trittsteinen geeigneter Lebensräume abhängig oder unabhängig ist (und somit Biotopverbünde einen Ausbreitungsvorteil für die Art bedingen). Ein Beispiel für die Artengruppe der Amphibien und Reptilien zeigt Tab. 12.

Tab. 12: Empfindlichkeit der Amphibien und Reptilien in Nordrhein-Westfalen gegenüber dem Klimawandel (eigene Auswahl und Darstellung nach Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a: 143)

	Rote Liste NRW	Ausbreitungspotenzial	Vektor	Verbundabhängigkeit	Temperaturveränderung	Niederschlagsveränderung	Lebensraum: Land	Lebensraum: Gewässer	Areal	Lebenszyklus	Gesamtbewertung mit Begründung (Schlüsselfaktor/en)	Experteneinschätzung	Quellen
Amphibien													
Bergmolch – <i>Mesotriton alpestris</i>	*	m	nein	t	0	-	0	0	0	0	Die häufige, weit verbreitete und ökologisch wenig spezialisierte Art wird vermutlich kaum negativ durch die Klimaveränderung beeinflusst.	ja	Blab (1978), Hachtel et al. (2006), Schäfer (1993)
Erdkröte – <i>Bufo bufo</i>	*	m	nein	t	0	0	0	0	0	0	Auf die sehr häufige und ökologisch kaum spezialisierte Art sind kaum negative oder positive Auswirkungen durch die Klimaveränderung zu erwarten.	ja	Beebee et al. (2002), Blab (1978), Heusser (1968), Günther & Geiger (1996), Reading (2007)

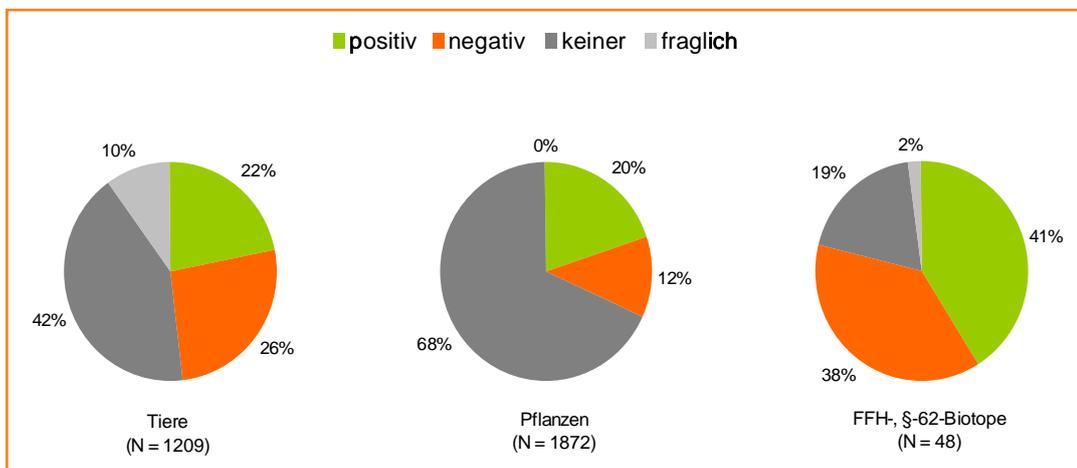
Tab. 13: Empfindlichkeit der Farn- und Blütenpflanzen in Nordrhein-Westfalen gegenüber dem Klimawandel (eigene Auswahl und Darstellung nach Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a: 143)

Name	Rote Liste NRW	Reaktion auf Klimaveränderung			Landschaftsmatrix: Stickstoffzahl	Mobilitätspotenzial		Gesamtbewertung
		Arealtyp	Temperaturzahl	Feuchtezahl		Ausbreitung	Strategie	
Hauptkriterium: Arealtyp								
Anagallis tenella (L.) L.	1	+	0	-	-	0	0	0
Apium inundatum (L.) Rchb. f.	2	+	0	0	-	+	0	+
Barbarea intermedia Boreau	n	+	0	0	+	+	+	++
Carex binervis Sm.	*	+	0	0	-	0	0	+
Carex laevigata Sm.	3	+	0	-	0	0	0	0

Tab. 14: Empfindlichkeitsanalyse der FFH-Lebensraumtypen und der § 62-Biotoptypen (eigene Auswahl und Darstellung nach Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a: 207)

Kürzel	Lebensraum	Rote Liste NRW	Wasserhaushalt	Nährstoffhaushalt	Biotische Interaktionen	Störungsregime	Areal	Gesamtbewertung mit Begründung
1340*	Salzstellen im Binnenland (§ 62)	1	+	+	+	0	+	Trockenphasen im Sommer begünstigen Salzzakkumulation und verringern Produktivität
2310	Trockene Sandheiden mit Calluna und Genista (§ 62)	2	+	+	+	+	+	Trockenphasen wirken systemerhaltend, fördern konkurrenzschwache Arten und reduzieren Eutrophierungseffekte
2330	Dünen mit offenen Grasflächen mit Corynephorus und Agrostis (§ 62)	2	++	++	+	+	+	Trockenphasen wirken systemerhaltend und verzögern Sukzession
3110	Oligotrophe Stillgewässer des Flach- und Hügellandes mit Vegetation der Littorelletalia uniflorae (§ 62)	2	+	0	0	0	0	Häufigere Trockenphasen fördern Entwicklung der Littorelleteaarten in trockenfallenden Randzonen der Gewässer
3130	Oligo- bis mesotrophe stehende Gewässer mit Vegetation der Littorelletalia uniflorae und/oder der Isoëto-Nanojuncetea (§ 62)	2	+	0	0	0	0	Häufigere Trockenphasen fördern Entwicklung der Littorelleteaarten in trockenfallenden Randzonen der Gewässer

Abb. 70: Gesamtbilanz der Empfindlichkeitsanalyse: Anteile indifferenter, positiv oder negativ beeinflussbarer Arten, Biotope, Lebensräume (Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a: 213)



Empfindlichkeitsanalyse bei Farn- und Blütenpflanzen

Die Grundlogik der Bewertung bei den Farn- und Blütenpflanzen ist ähnlich der bei den Tierarten und wird ebenfalls durch Experteneinschätzung durchgeführt. Die Bewertungskriterien beruhen auf den Zeigerwerten von Ellenberg (1991), welche die Standortansprüche der Arten hinsichtlich Temperatur, Feuchte, Nährstoffbedarf etc. anzeigen, auf dem Arealtyp (Verbreitungsschwerpunkte nach Oberndorfer 1983) und der Ausbreitungsstrategie nach Frank/Klotz (1990). Die Bewertung wird in einem mehrstufigen Prozess vorgenommen, der in einer Gesamtbewertung mündet. Diese unterscheidet zwischen indifferentem, positivem oder negativem Einfluss des Klimawandels auf die Art (s. Tab. 13).

Empfindlichkeitsanalyse der FFH-Lebensraumtypen und der § 62-Biotoptypen

In einem weiteren Schritt werden auch die Biotope und Lebensräume hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit eingestuft. Die Bewertungskriterien basieren auf den Faktoren Wasserhaushalt, Nährstoffhaushalt, biotische Interaktionen, Störungsregime und Areal. Diese decken sich mit den bereits in Tab. 11 dargestellten Einflüssen, werden an dieser Stelle jedoch differenzierter bewertet (s. Tab. 14).

In der Gesamtbilanz der Empfindlichkeitsanalyse werden die Anteile indifferenter, positiv oder negativ beeinflussbarer Arten, Biotope und Lebensräume durch den Klimawandel aufgezeigt (s. Abb. 70).

Weitere Differenzierungen werden für die einzelnen Artengruppen oder hinsichtlich verschiedener Einzelkriterien (klimasensible Rote Liste-Arten, temperaturabhängige Arten etc.) vorgenommen. Ein als Wirkprognose bezeichneter Arbeitsschritt gliedert die Ergebnisse der Empfindlichkeitsanalyse in für die Planung handhabbare Strukturen. So werden Lebensraumtypen und Arten mit gleicher Reaktion, z.B. auf Temperaturveränderungen, als Reaktionstyp zusammengefasst dargestellt und der Reaktionstyp am Beispiel einer Art exemplarisch erläutert. Auch für Habitatkomplexe werden Bewertungen vorgenommen.

Schritt 3: Standörtliche Erhebung der Tierarten, der Vegetation, der Biotope und Lebensraumtypen (wurde in der Pilotstudie nicht vorgenommen)

Eine allerdings recht aufwändige vor Ort-Erhebung der Tierarten, der Vegetation, der Biotope und Lebensraumtypen und die anschließende Bewertung des aktuellen Erhaltungszustandes könnte vor dem Hintergrund der beschriebenen Methodik die Basis für die Betroffenheitsanalyse durch den Klimawandel ermöglichen.

Schritt 4: Ableitung eines Biotopverbundes als effektive Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel

Grundlage für diesen Schritt ist die Experteneinschätzung zur Betroffenheit einer Art durch den Klimawandel (in der Pilotstudie die Bestimmung eines Handlungserfordernisses auf Basis der Empfindlichkeit der Art). Besteht ein Handlungserfordernis für die Anpassung an den Klimawandel, entscheiden Verbundabhängigkeit und Ausbreitungsfähigkeit einer Art darüber, ob ein auf die Art ausgerichteter Biotopverbund eine effektive Anpassungsmaßnahme darstellt. Die Einschätzung für die zahlreichen Tier- und Pflanzenarten erfolgt wiederum über ein Expertenvotum. Im Hinblick auf die Tierarten werden folgende Zuordnungen getroffen (Behrens/Fartmann/Hölzel 2009c: 29):

1. „Biotopverbund lokal geeignet, d. h. für Räume $\leq 1 \text{ km}^2$.
2. Biotopverbund regional oder landesweit geeignet, d.h. für Räume $> 1 \text{ km}^2$.
3. Biotopverbund nicht erforderlich, weil zurzeit kein Handlungsbedarf („Klimagewinner“) bzw. kein besonderer Handlungsbedarf („Klimaverlierer“) besteht.
4. Biotopverbund nicht erforderlich: Die Art wird in Nordrhein-Westfalen nicht durch Ausweichbewegungen auf den Klimawandel reagieren, die Zielsetzung ist daher nicht relevant.
5. Biotopverbund nicht erforderlich: Die Vorkommen der Art und/oder der Lebensräume, die für eine (Wieder-)Besiedlung in Frage kommen, sind in Nordrhein-

Westfalen so isoliert, so dass die Umsetzung eines „Klimawandel-Biotopverbundes“ aufgrund der Habitatansprüche der Art, der anthropogenen Landnutzung oder der hohen Kosten unrealistisch ist.

6. Biotopverbund nicht erforderlich, mehrere der unter 3. bis 5. aufgelisteten Gründe treffen zu.“

Zusammenfassend ergibt sich für die Tierarten in Nordrhein-Westfalen folgende Bilanz: Von den 1209 betrachteten Tierarten der Empfindlichkeitsanalyse besteht für 315 Tierarten Handlungsbedarf, wobei die Biotopverbundstrategie für 102 Arten eine geeignete Maßnahme darstellt. Besonderer Handlungsbedarf und damit eine Ausdehnung aktueller Biotopverbundplanungen besteht davon für 61 Arten, von denen sich 28 Arten für eine lokale und 33 Arten für eine regionale Biotopverbundplanung eignen. Die Frage der Notwendigkeit einer lokalen oder regionalen Biotopverbundplanung ist dabei abhängig vom lokalen bzw.

regionalen Ausbreitungspotenzial, der Habitatbindung und dem Aktionsradius der Art (s. Tab. 15).

Im Ergebnis werden Listen von Tierarten herausgegeben, für die die Etablierung eines Biotopverbunds eine wirksame Anpassungsstrategie darstellt (Behrens/Fartmann/Hölzel 2009c: 32). Diese bilden dann die Grundlage für regionale Biotopverbundplanungen, die mit Hilfe raumordnerischer Instrumente gesichert werden können.

Weitergehende Informationen

Pilotstudie: www.umwelt.nrw.de

Teil 1: Fragestellung, Klimaszenario, erster Schritt der Empfindlichkeitsanalyse – Kurzprognose

Teil 2: zweiter Schritt der Empfindlichkeitsanalyse – Wirkprognose

Teil 3: Vorschläge für eine Anpassungsstrategie

Tab. 15: Gesamtbilanz für die Tierarten in Nordrhein-Westfalen (eigene Auswahl und Darstellung nach Behrens/Fartmann/Hölzel 2009c: 29)

Legende:

Verbundabhängigkeit:

- k Ausbreitung der Art abhängig von „echten“ Korridoren aus kontinuierlichen, häufig linearen Habitaten
- t Ausbreitung der Art zumindest abhängig von nicht kontinuierlichen Habitatnetzen bzw. „Trittstein-Habitaten“

Ausbreitungspotenzial:

- s sehr gering
- g gering
- m mittel
- h hoch

Biotopverbund:

- lok lokal geeignet, d. h. für Räume $\leq 1 \text{ km}^2$
- reg auf regionaler oder landesweiter Ebene geeignet, d. h. für Räume $> 1 \text{ km}^2$

		Verbundabhängigkeit	Ausbreitungspotenzial	Biotopverbund?
Weichtiere				
<i>Bithynia leachi</i>	Kleine Schnauzenschnecke	k	g	reg
<i>Margaritifera margaritifera</i>	Flussperlmuschel	k	g	reg
<i>Pisidium amnicum</i>	Große Erbsenmuschel	k	m	reg
<i>Pseudanodonta complanata</i>	Abgeplattete Teichmuschel	k	m	reg
<i>Pseudotrichia rubiginosa</i>	Ufer-Laubschnecke	k	g	reg
<i>Sphaerium rivicola</i>	Fluss-Kugelmuschel	k	m	reg
<i>Sphaerium solidum</i>	Dickschalige Kugelmuschel	k	m	reg
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	Gemeine Kahnschnecke	k	h	reg
<i>Viviparus viviparus</i>	Stumpfe Flußdeckelschnecke	k	h	reg
Laufkäfer				
<i>Agonum ericeti</i>		k	s	lok
<i>Amara infima</i>		k	s	lok
<i>Amara quenseli</i>		t	h	lok
<i>Bembidion nigricorne</i>		k	s	lok
<i>Callistus lunatus</i>		t	h	reg
<i>Carabus clatratus</i>		k	g	lok
<i>Carabus nitens</i>		k	g	lok

Beispiel: INTERREG IVB-Projekt „HABIT-Change“

Ein gutes Beispiel für eine Klimafolgenabschätzung für FFH-Lebensräume stellt das HABIT-CHANGE-Projekt, ein Interreg IVB-Projekt im Central Europe-Programm, dar. Hier wurde für FFH-Lebensraumtypen der Schutzgebiete ebenfalls eine Empfindlichkeitsanalyse auf Basis der Zeigerwerte nach Ellenberg sowie weiterer Kriterien vorgenommen. Die Klimasensibilität beruht dabei vor allem auf der Einschätzung der Anzahl der im Lebensraumtyp vorkommenden pflanzlichen Kälte- und Feuchtezeiger. Eine Erhebung der tatsächlich vorkommenden Arten im Untersuchungsgebiet ist auch hierbei notwendig.

Weitergehende Informationen

www.landschaft.tu-berlin.de/menue/forschung

www.habit-change.eu

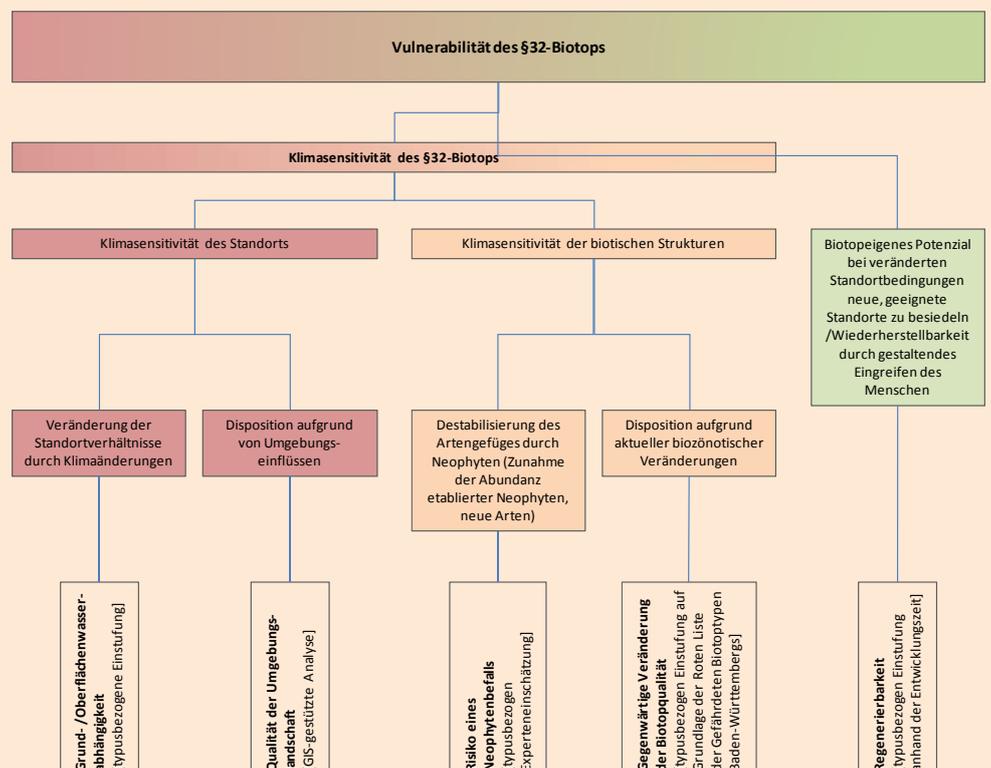
Weitere gute Beispiele, die im Vergleich zur dargestellten Studie von Behrens/Fartmann/Hölzel 2009 jedoch nur selektive Aspekte der Verschiebung von Lebensräumen und Pflanzen abbilden und daher weniger aufwändig erarbeitet werden können, sind u.a. die Beispiele der KlimaMORO-Regionen Stuttgart und Mittelhessen sowie der MARISCO-Ansatz der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

Beispiel: KlimaMORO-Region Stuttgart

Ein Beispiel für die Einbeziehung zusätzlicher, örtlich konkreter Faktoren in die Vulnerabilitätsanalyse zeigt das Beispiel der KlimaMORO Region Stuttgart für nach § 32 NatSchG Baden-Württemberg besonders geschützte Biotope.

Den methodischen Ansatz der GIS-Analyse zeigt Abb. 71: Neben der Wasserabhängigkeit der Biotoptypen werden auch aktuelle Umgebungseinflüsse und Entwicklungstendenzen, d.h. weitere Gefahren für die Verwundbarkeit der Lebensräume integriert. Mit Hilfe logischer Verknüpfungen und der Bildung von räumlichen Schwerpunkten wird eine Karte der verwundbaren Biotope entwickelt.

Abb. 71: Schema der Betroffenheitsanalyse zu geschützten § 32-Biotopen (Weis/Siedentop/Minnich 2011: 25)



Beispiel: KlimaMORO-Region Mittelhessen

Ein Beispiel einer funktional ausgestalteten Biotopverbundplanung wurde in Mittelhessen (Projektteam Biotopverbund, Regierungspräsidium Gießen 2011) durchgeführt. Aus den in Mittelhessen durch den Klimawandel besonders betroffenen Vegetationstypen wie feuchtes Grünland- und Waldgesellschaften der Mittelgebirge, Moore, sonstige Feuchtgebiete und Gewässer wurde in einem ersten Schritt eine Zielartenauswahl feuchter Grünlandgesellschaften getroffen und eine Biotopverbundplanung umgesetzt.

Über eine spezielle GIS-Analyse werden nah beieinander liegende Habitatflächen zu funktionalen Raumeinheiten aggregiert und so potenzielle Ausbreitungsmöglichkeiten für die Arten feuchter Grünländer simuliert.

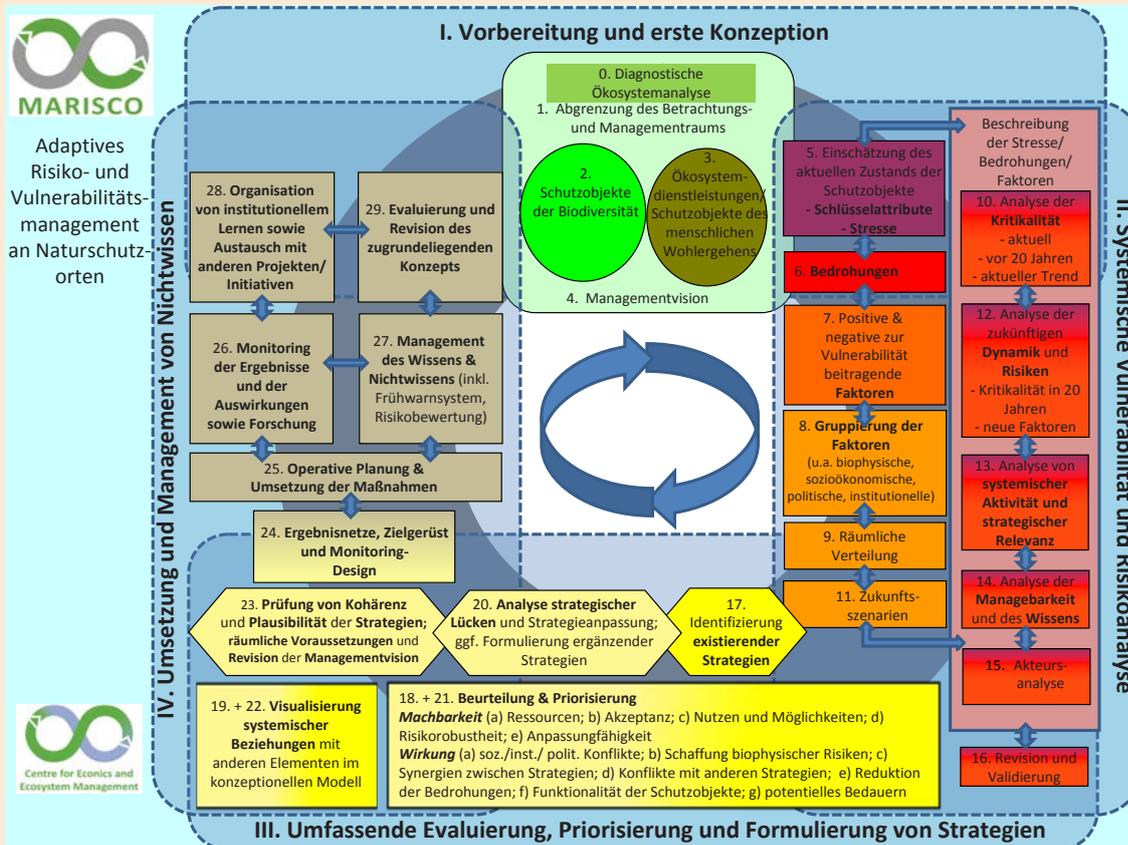
Weitergehende Informationen

KlimaMORO-Region Mittelhessen: www.klimamoro.de

Beispiel: Die MARISCO-Methode zur öko- systembasierten Anpassung an den Klimawandel (Centre for Ecnics and Ecosystem Management, Eberswalde)

Die MARISCO-Methode (Adaptives Risiko- und Vulnerabilitätsmanagement an Naturschutzorten) des Centre for Ecnics and Ecosystem Management knüpft beim Umgang mit Klimawandelrisiken im Rahmen eines ganzheitlichen Ökosystemmanagements an den Ansatz des adaptiven Naturschutzes an. MARISCO kam bereits weltweit in einer Vielfalt von Naturschutz-Kontexten zum Einsatz. In Deutschland wird sie aktuell im Verbundvorhaben Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin (INKA BB) u.a. zur Einführung einer dynamisch-adaptiven Herangehensweise in die Landschaftsrahmenplanung des Landkreises Barnim (Brandenburg) angewendet.

Abb. 72: MARISCO – Adaptives Risiko- und Vulnerabilitätsmanagement an Naturschutzorten (Ibisch/Hobson, im Druck)



Die Durchführung der eigentlichen Klimafolgenbewertung wird nicht beschrieben, da die Methodenwahl bei diesem adaptiven Managementsystem vom verfügbaren Wissen abhängt. Der Ansatz bietet einen systematischen Rahmen, um auf der Grundlage einer Vulnerabilitätsanalyse geeignete Strategien zu entwickeln. Wichtige methodische Schritte der systemischen Situationsanalyse sind hierbei die Ermittlung von aktuellen und zukünftigen Stressen einzelner Schutzobjekte (z.B. Wälder, Moore oder auch Komplexsysteme wie ein Schutzgebiet), der sie hervorruhenden direkten Bedrohungen und der diesen zugrundeliegenden Vulnerabilitätsfaktoren.

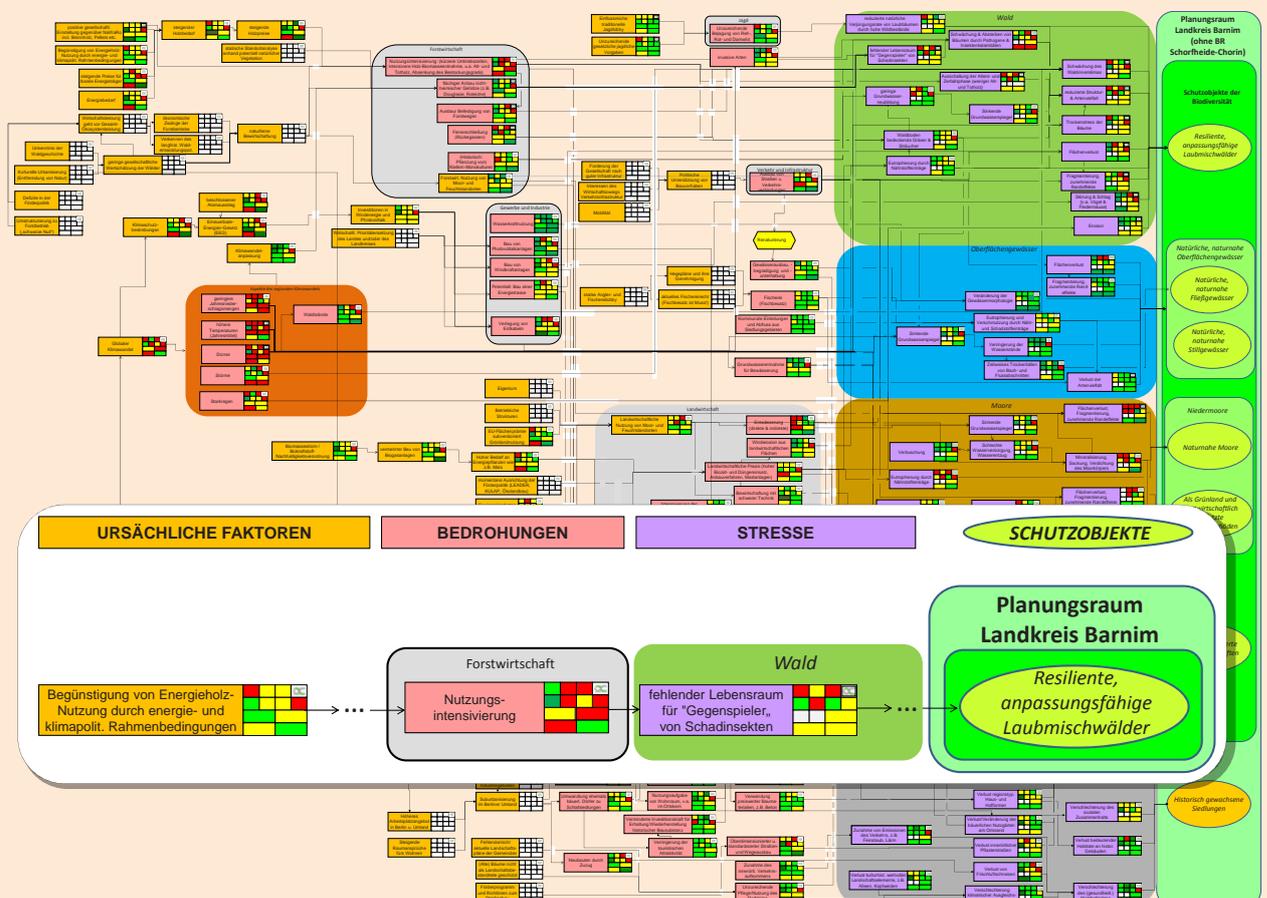
Neben biophysisch bedingten Herausforderungen werden z.B. auch sozioökonomische oder institutionelle Probleme erfasst. Zur Bewertung relevanter Expositionsfaktoren wird die Kritikalität (Wirkungsschwere und Unumkehrbarkeit bzw. Permanenz) eines Problems beschrieben und halbquantitativ bewertet (vierstufig: niedrig bis sehr hoch). Daneben werden seine Dynamik (Kritikalität vor 20 Jahren im Vergleich zu heute, aktueller Trend, in 20 Jahren) sowie die systemische Aktivität (relative Aktivität bzw. Passivität der Beeinträchtigung

bzw. des Stimulus im System) bewertet. Die Verrechnung dieser Werte ergibt die strategische Relevanz eines Problems. Die Einschätzung von Beeinflussbarkeit und verfügbarem Wissen erlaubt eine Reflektion des Nichtwissens, mit dem umgegangen werden muss, und leitet so zur Strategieentwicklung über. In Abhängigkeit der vorliegenden Daten und Erkenntnisse können den Bewertungen der Planungsgruppe, die auch lokale Akteure einschließen kann, Experteneinschätzungen und empirische Daten zugrunde gelegt werden. Insgesamt wird so das bestmögliche Wissen jeglicher Herkunft dokumentiert und strukturiert. Eine besonders wichtige Planungsphase betrifft die Abschätzung, inwiefern Strategien selbst vulnerabel sind bzw. neuartige Risiken und Vulnerabilitäten generieren.

Weitergehende Informationen

www.centreforeconomics.org
www.hnee.de

Abb. 73: Systemische Risiko- und Vulnerabilitätsanalyse der Biodiversität des Landkreises Barnim (Brandenburg).
 Einschub: Isolierte Kausalbeziehung aus dem Ursache-Wirkungsnetz (Strixner/Kreft/Ibisch, unveröff.)





5.3.7 Veränderungen im Tourismusverhalten

Ausgangslage

Beim Tourismus handelt es sich um ein vielschichtiges Phänomen, das in unterschiedlichen naturräumlichen Destinationen und zu unterschiedlichen Zwecken und Zeiten stattfindet. Daher ist der Tourismus in seiner Gesamtheit in vielerlei Hinsicht von einem sich ändernden Klima betroffen. Grundsätzlich ist die Nachfrage nach Reisezielen durchaus klima- und witterungsabhängig: So steigt nach lang anhaltenden Schlechtwetterperioden die Nachfrage nach Destinationen mit Sonnengarantie oder nach starkem Schneefall die Nachfrage nach Übernachtungsmöglichkeiten in Mittelgebirgsregionen. Im Speziellen lassen sich jedoch keine allgemeingültigen Aussagen treffen und die tatsächlichen Auswirkungen werden von Region zu Region stark variieren. Das sich wandelnde Klima wird dabei neben Risiken auch Chancen mit sich bringen (Job 2005: 1162; MKRO 2013: 30).

Im Allgemeinen wird angenommen, dass an der **Küste** erhöhte Luft- und Wassertemperaturen zu einer Saisonverlängerung, insbesondere der Badesaison, führen. So können touristische Infrastrukturen dann auch in der heutigen Nebensaison besser ausgelastet werden. Es kann auch angenommen werden, dass Tourismusarten, die mit überwiegendem Aufenthalt im Freien verbunden sind, wie Camping, Rad- und Wassertourismus, Zuwächse erfahren werden. Durch den zu erwartenden sommerlichen Hitzestress im mediterranen Raum kann es zusätzlich zu einer Verlagerung von Tourismusströmen aus dem Süden Europas v.a. an die deutschen Küsten kommen. Neben diesen Chancen sind für die Küstenbereiche an Nord- und Ostsee auch Risiken durch den Klimawandel zu erwarten. So kann in den Küstengewässern die Erhöhung der Wassertemperatur mit Veränderungen von Flora und Fauna einhergehen, z.B. mit starkem Wachstum der Algen- oder Quallenbestände. Der steigende Meeresspiegel wird zu Landverlust, verstärkter Küstenerosion und Strandabtrag, vor allem an den Inseln, führen. Hierdurch können sich die Kosten für Küstenschutz und Aufspülungen erhöhen bzw. touristische Einrichtungen durch Sturmflutereignisse direkt geschädigt werden (MKRO 2013: 30).

Daneben kann eine Erhöhung der Wassertemperaturen auch an **Binnengewässern** zu einer verringerten Wasserqualität führen. Der Wassertourismus kann darüber hinaus auch durch eine Abnahme der Sommerniederschläge und eine hitzebedingte höhere Verdunstung stark eingeschränkt werden (z.B. Trockenfallen von Bootsanlegeplätzen, Wasserverfügbarkeit für Schleusungen) (MKRO 2013: 30).

Die Einschätzungen in Bezug auf den **Wintertourismus** gehen eher davon aus, dass der Klimawandel vor allem Risiken hervorrufen wird. Hier werden in erster Linie die Abnahme der Frosttage und die geringere Schneesicherheit zu einer verringerten Nachfrage in den Mittelgebirgen und den mittleren Alpenlagen führen. Bisherige Wintersportgebiete müssen daher neue touristische Angebote erschließen. Zudem wird sich der Skitourismus auf die höheren Lagen der Mittelgebirge und der Alpen konzentrieren, was durch die intensivere Flächeninanspruchnahme Überlastungserscheinungen zur Folge haben kann (MKRO 2013: 30).

Der **Städtetourismus** wird sich eher aus den Sommermonaten heraus (Hitzebelastung) in die Übergangsjahreszeiten verlagern. Es bietet sich die Chance, neue, **bioklimatisch begünstigte Erholungsgebiete** zu erschließen. So kann beispielsweise eine Verschiebung der Weinbaugrenze deutlich weiter nach Norden erhebliche Potenziale für den Tourismus und die Entwicklung ländlicher Räume mit sich bringen (MKRO 2013: 30).

Allerdings können durch Veränderungen im Landschaftsbild auch gerade im Bereich der naturnahen Erholung neue **Raumnutzungskonflikte** auftreten, z.B. durch den Ausbau von Windenergie- und Photovoltaikanlagen sowie durch eine Umstellung in der Landwirtschaft auf die Produktion nachwachsender Rohstoffe. Hierbei handelt es sich zwar um Maßnahmen des Klimaschutzes, diese werden bei zunehmendem Klimawandel jedoch größere Flächenkontingente beanspruchen (MKRO 2013: 30).

Regelungsbedarf der Regionalplanung

Grundsätzlich sind Kommunen sowie Tourismusunternehmen und -verbände aufgefordert, sich diesen Herausforderungen zu stellen. Gerade in diesem Handlungsfeld ist jedoch eine enge Zusammenarbeit aller Akteure erforder-

lich, da der Tourismus als Wirtschaftsbereich erheblichen Veränderungen und Schwankungen sowohl durch den Klimawandel als auch durch weitere Faktoren wie den demographischen Wandel oder die generelle Wirtschaftslage unterworfen ist.

Da es für den Tourismus keine behördliche Planungsinstanz gibt, findet Tourismusplanung im engeren Sinne nur über externe Consulting-Dienstleistungen statt, in deren Rahmen touristische Leitbilder für Regionen oder Städte entworfen oder Fremdenverkehrsentwicklungskonzepte und Standortgutachten erstellt werden (Job 2005: 1268). Dennoch ergibt sich für die Regionalplanung in einigen Bereichen Gestaltungsspielraum.

Investive Maßnahmen zur Entwicklung des Tourismus unterliegen der Beachtungspflicht aller berührten juristisch normierten Bereiche, wie z.B. Bauplanungs-, Naturschutz- oder Wasserrecht. Der Raumordnung als übergeordneter, überörtlicher und querschnittsorientierter Planung kommt dabei in zweifacher Hinsicht eine Rolle zu: Erstens handelt es sich beim Tourismus um ein generell zu koordinierendes Fachgebiet. Zweitens stellt die Landschaft eine fundamentale Ressource des Fremdenverkehrs dar, die mitunter durch touristische Projekte selbst stark beeinträchtigt werden kann (Job 2005: 1168). Gemeinsam mit den Akteuren der Tourismuswirtschaft sowie des Natur-, Gewässer- und Küstenschutzes sollten die sich abzeichnenden regionalen Veränderungen durch die Regionalplanung strategisch und konzeptionell aufgearbeitet werden. Dies erleichtert die zeitige Neuausrichtung der Tourismuswirtschaft auf die Aspekte, die sich aus Klima- und demographischem Wandel ergeben (MKRO 2013: 31).

Die Raumordnung kann

- mit der Festlegung von neuen Tourismusschwerpunkt- und -entwicklungsräumen in Raumordnungsplänen agieren,
- textliche Festlegungen zur qualitativen und quantitativen Tourismusentwicklung treffen (um damit zu einer vorausschauenden Lenkung von Fördermitteln beizutragen),

- bestehende Trassen der Schienenverkehrsinfrastruktur für eventuell spätere Nutzungen sichern,
- neue Investitionen und Infrastrukturen im Rahmen einer Standortsicherung raumordnerisch vorbereiten sowie
- durch die Abstimmung von Maßnahmen und Vorhaben zur Lösung von Konflikten zwischen Raumnutzungsansprüchen zum Klimaschutz (insbes. Inanspruchnahme von Flächen für erneuerbare Energien) und dem Schutz des Landschaftsbildes beitragen (MKRO 2013: 31).

Die Regionalplanung sollte dabei verstärkt ihre Koordinations- und Moderationsfunktion im Rahmen der Regionalentwicklung und des Integrierten Küstenzonenmanagements wahrnehmen (MKRO 2013: 31).

Grundsätzlicher methodischer Ansatz der Klimafolgenbewertung

Die potenziellen Auswirkungen auf die verschiedenen Tourismusarten und -destinationen sind sehr vielschichtig und daher auch einer Klimafolgenbewertung schwer zugänglich. Wie zuvor skizziert, stellen die Änderungen von Temperatur und Niederschlag sowie die Zunahme von Extremereignissen den Ausgangspunkt für vielfältige Wirkketten dar.

Klimafolgenbewertungen im Bereich des Tourismus beziehen sich zumeist auf ausgewählte Fragestellungen zum Winter- oder Sommertourismus und werden aufgrund der häufig unsicheren Daten um qualitative Informationen ergänzt (z.B. beispielhafte Abschätzung der Folgen für Bade- und Sommertourismus in Baden-Württemberg; Stock 2005: 107 ff).

Aufgrund der Komplexität der Analysen wird anders als bei anderen Handlungsfeldern der MKRO im Themenfeld „Veränderungen im Tourismusverhalten“ kein generalisierender methodischer Ansatz dargestellt, sondern unmittelbar auf gute Beispiele der Klimafolgenbewertung verwiesen.

Beispiel: Badetourismus in Baden-Württemberg

In diesem Beispiel wird ein Ansatz zur Quantifizierung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf Badetourismus am Bodensee geliefert. In der PIK-Studie (Stock 2005: 107ff) wurde eine Methode zur Untersuchung des Einflusses möglicher Klimaveränderungen auf den Badetourismus beispielhaft entwickelt.

Das methodische Vorgehen erfolgt in zwei Schritten: Im ersten Schritt wurden anhand von empirischem Datenmaterial tourismusrelevante Klimaparameter ermittelt. Dies waren die tägliche Maximaltemperatur, der Bewölkungsgrad und die tägliche Sonnenscheindauer. Die empirische Ermittlung von Schwellwerten für diese drei Klimaparameter führte zur Definition eines „potenziellen Badetages“. Im zweiten Schritt wurde die mögliche zukünftige Entwicklung dieser Klimaparameter (Zukunftsszenario) mit dem in der Vergangenheit beobachteten Verlauf (Basisszenario) verglichen. Dabei zeigte sich erwartungsgemäß, dass sich hinsichtlich der baderelevanten Klimaparameter in der Bodenseeregion im Zukunftsszenario höhere tägliche Maximaltemperaturen und besonders während der Sommersaison längere tägliche Sonnenscheindauern ergeben.

Das Ergebnis dieser Abschätzung lässt Aussagen darüber zu, wie sich für das Zukunftsszenario die Anzahl der „potenziellen Badetage“ und somit die Länge der Badesaison verändern wird. Das Ergebnis stellt sich für Baden-Württemberg in Abb. 74 dar. Eine ausführliche Darstellung des Ansatzes findet sich in der Studie „KLARA: Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung“, die von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) beauftragt und vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung bearbeitet wurde (Stock 2005: 110-119).

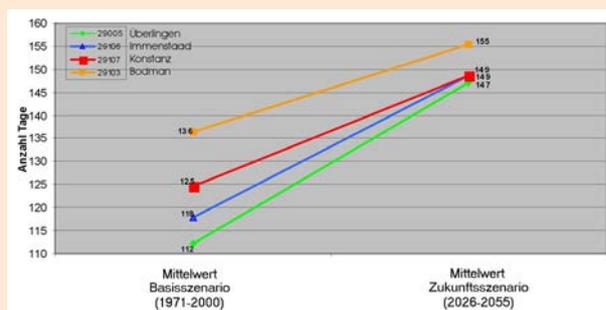
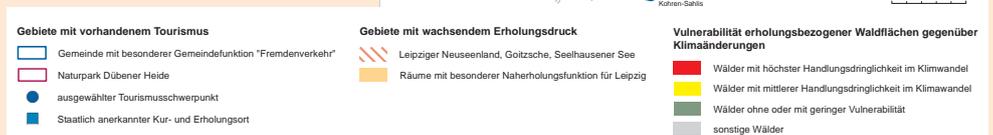


Abb. 74: Veränderung der Länge der Badesaison für die vier Stationen der Bodenseeregion. Die Werte (Länge der Badesaison, erster pot. Badetag, letzter pot. Badetag) sind dabei jeweils über den 30-jährigen Referenz- bzw. Zukunftszeitraum gemittelt. (Stock 2005: 119)

Abb. 75: Vulnerabilität erholungsbedeutsamer Räume in der Planungsregion Westsachsen (Schmidt et al. 2011, Karte 6_9)



Beispiel: Erholung in Westsachsen

In diesem Beispiel wird die erholungsbezogene Vulnerabilität mit dem Ziel betrachtet, regionale Handlungsschwerpunkte abzuleiten. In der KlimaMORO-Studie für Westsachsen (Schmidt et al. 2011: 140ff) wird ein allgemeiner Ansatz vorgestellt; einzelne Erholungsformen werden im Rahmen der vorliegenden Vulnerabilitätsanalyse hingegen nicht näher untersucht. Dies muss vertiefenden Planungen vorbehalten bleiben.

Das methodische Vorgehen gliedert sich in folgende Schritte:

(1) Exposition: Parameter sind die Überwärmung in dicht besiedelten Räumen (Hitzetage) sowie die Verringerung des Wasserdargebotes in Erholungsgebieten (klimatische Wasserbilanz). **(2) Sensitivität:** Diese wird in zweierlei Hinsicht ausgedrückt, d.h. erholungsbedingt anhand des aktuellen und zukünftigen Erholungsdrucks sowie nutzungsbedingt anhand der Sensitivität erholungsrelevanter Wälder sowie deren physischer und bioklimatischer Wirkung. **(3) Anpassungskapazität:** dargestellt als Verminderungskapazität im Bereich Walddubau/Waldbaustrategien. **(4) Vulnerabilität:** Diese wird als Risiko von Veränderungen der Erholungseignung in entsprechend frequentierten Bereichen ausgedrückt.

Das Ergebnis dieses Vorgehens wird kartographisch als Überlagerung erholungsrelevanter Räume mit der Vulnerabilität der Wälder Westsachsens dargestellt (s. Abb. 75). Eine Darstellung des Ansatzes findet sich in der Studie „Vulnerabilitätsanalyse Westsachsen“, die vom Regionalen Planungsverband Leipzig-Westsachsen beauftragt und von der TU Dresden, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsplanung, bearbeitet wurde (Schmidt et al. 2011: 145-146).

6. Szenarioverfahren

6.1 Wozu dienen Szenarioverfahren?

Szenarioverfahren dienen der Projektion möglicher zukünftiger Entwicklungen und der darauf aufbauenden vertieften Abschätzung von Betroffenheiten und Unsicherheiten. Dazu werden nicht nur veränderte Ausprägungen von Klimagrößen, sondern auch der parallel zu erwartende gesellschaftliche Wandel betrachtet: „Neben den Projektionen des Klimawandels sind auch Szenarien und Projektionen des gesellschaftlichen Wandels (vor allem Demographie, Wirtschaft, Technologie, Landnutzung) einzubeziehen, da die zukünftigen Einwirkungen des Klimawandels nicht auf die gesellschaftlichen Bedingungen der Gegenwart treffen werden“ (Schanze/Sauer 2012a: 17). Entsprechend beziehen sich diese Verfahren auf vielschichtige Inhalte, Zusammenhänge und Daten und stellen deshalb besondere methodische und planerische Anforderungen.

Die Ergebnisse spiegeln die wesentlichen Wirkzusammenhänge einschließlich der mittelbaren und mehrfachen Betroffenheiten wider und geben zudem die Unsicherheiten an. Das Verfahren eröffnet insofern die Chance zur Erar-

beitung langfristiger dynamischer Raumentwicklungskonzepte, die die fachübergreifenden Folgen des Klimawandels integrativ berücksichtigen. Es schafft damit Grundlagen für die formellen Instrumente der Regionalplanung im Hinblick auf Ausweisungen und deren Begründungszusammenhänge. Darüber hinaus bietet es sich zur vertieften Abschätzung der Klima(wandel)betroffenheit in besonders gefährdeten Regionen oder Teilräumen an, wobei unterschiedliche Zeithorizonte betrachtet werden können.

Während der Planungsverband Leipzig-West Sachsen Szenarien für konkrete Fragestellungen zu den Themen Wasserwirtschaft, Bergbaufolgelandschaft und Waldmehrung für die Regionalplanung bearbeitet, folgen Schanze/Sauer (2012a) mit ihrem Ansatz der speziellen steuerungsorientierten Szenariomethodik im Rahmen des REGKLAM-Projekts einer anderen Systematik. Im Vordergrund steht vor allem die Betrachtung umfassender Szenarien mit Blick auf den gesellschaftlichen Wandel. Das REGKLAM-Projekt bietet einen Rahmen für globale Prozesse und regionale Spezifika integrierender Entwicklungsszenarien. Auf dieser Grundlage werden Schlüsselprozesse und weitergehend Anpassungsoptionen zum Klimawandel am Beispiel der Modellregion Dresden herausgearbeitet.

6.2 Beispiele der Operationalisierung

6.2.1 Methodischer Ansatz und Fallbeispiel KlimaMORO II Region Leipzig-West Sachsen

Ein praxisnahes Beispiel für ein Szenarioverfahren in der Klimafolgenbewertung ist das Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ – Phase II: „Auswirkungen des Klimawandels auf den Südraum Leipzig unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Erholungsnutzung sowie der Anforderungen an Waldumbau und Waldmehrung.“

Die zukünftige Entwicklung des Südraums von Leipzig wird hier für spezifische Themenfelder, im Kern der zukünftigen Wasserhaushaltsentwicklung in der Bergbaufolgelandschaft, über ein Szenarioverfahren simuliert. Großräumige Entwicklungstendenzen und Schwankungsbreiten ausgewählter Bilanzgrößen des Wasserhaushalts werden vor dem Hintergrund von Klimaprojektionen bis zum Jahr 2100, Landnutzungsänderungen (Waldmehrung) sowie zukünftiger Änderungen wasserwirtschaftlicher Nutzungseinflüsse wie industrielle Wasserentnahmen und -einleitungen, Überleitungen aus Nachbareinzugsgebieten) analysiert (IBGW 2012).

Im Ergebnis werden durch die szenariobasierte Abschätzung der zukünftigen Wasserhaushaltsentwicklung für die Raumplanung eine Überprüfung und eine Präzisierung regionalplanerischer Festlegungen möglich. Dies betrifft im vorliegenden Beispiel regionalplanerische Festlegungen

- zu Umfang und Lage von Vorrang- / Vorbehaltsgebieten Waldmehrung bzw. Natur- und Landschaft,
- zu Anforderungen an Erholungsinfrastrukturen infolge veränderter Wasserspiegellagen in Restseen der Bergbaufolgelandschaft sowie
- zur Intensität von Gewässernutzungen aufgrund schwankender Wasserspiegelstände in Oberflächengewässern.

Szenarien

Das methodische Vorgehen basiert auf drei Entwicklungsszenarien, die im Hinblick auf den Wasserhaushalt (Grundwasserneubildung, Grundwasserflurabstände, Abflussregime der Fließgewässer, Restseeflutungen, Seespiegelhöhen und Überschusswassermengen als Indikatoren für die Bilanzierungen) modelliert wurden:

Entwicklungsszenario 1 modelliert ein räumliches Szenario für 2100 ohne Berücksichtigung des Klimawandels unter Einbeziehung von Klimaparametern der Klimanormalperiode von 1961 bis 1990. Hinsichtlich der Landnutzung sind die aktuelle Flächennutzung sowie Landnutzungsszenarien zu Braunkohleabbau, Restlochflutung, Rekultivierung und Sanierungsmaßnahmen sowie die Waldmehrungsplanung integriert. Zudem sind wirtschafts- und bergbaubedingte Grundwasser- und Oberflächenwasserentnahmen bzw. -einleitungen berücksichtigt (s. Abb. 76).

Entwicklungsszenario 2 beschreibt die gleichen Aspekte wie Szenario 1 vor dem Hintergrund des Klimawandels. Auf der Basis des Modells WETTREG 2010 sind anstelle der Klimadaten der Klimanormalperiode die Klimaparameter des Emissionsszenarios 2A1B für 2010 bis 2100 eingesetzt. Die prognostizierten Klimaänderungen wie steigende Durchschnittstemperaturen bei gleichzeitig deutlich abnehmenden Niederschlagsmengen sowie eine wachsende negative klimatische Wasserbilanz führen zu Veränderungen bei den Wasserhaushaltsgrößen wie Grundwasserneubildung, Grundwasserflurabstände, Abflussraten und Wasserständen der Oberflächengewässer (s. Abb. 77).

Entwicklungsszenario 3 beschreibt die gleichen Randbedingungen wie Szenario 2, jedoch unter Berücksichtigung um 25% reduzierter Waldmehrungsflächen gegenüber den vorgenannten Szenarien (s. Abb. 78).

Da die einzelnen Planungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten bis 2100 wirksam werden, besitzen die Szenarien einen dynamischen Aspekt, bei dem schrittweise Modellierungen (2050 und 2100) erfolgen.

Abb. 76: Szenario 1: Entwicklungsszenario für 2100 ohne Klimawandel (Klimanormalperiode 1961-1990) (Schottke 2012: 5)

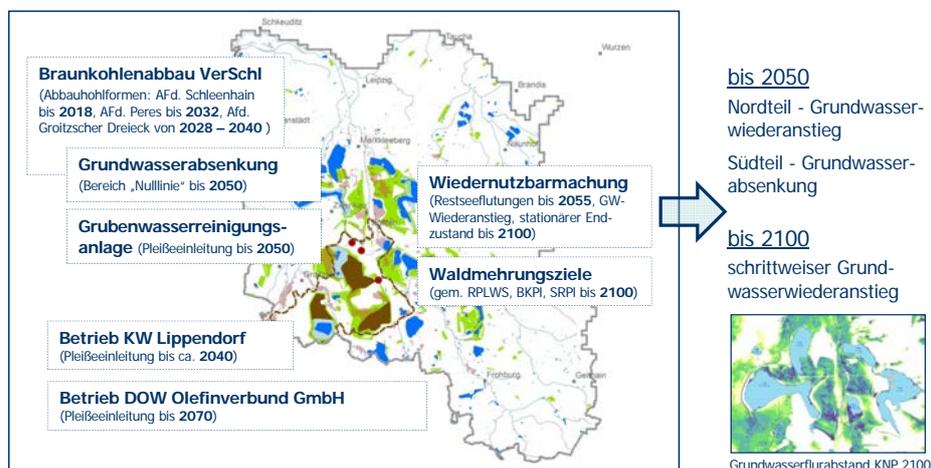


Abb. 77: Szenario 2: Entwicklungsszenario für 2100 einschließlich Klimawandel (Schottke 2012: 6, basierend auf WETTREG 2010 [LfULG])

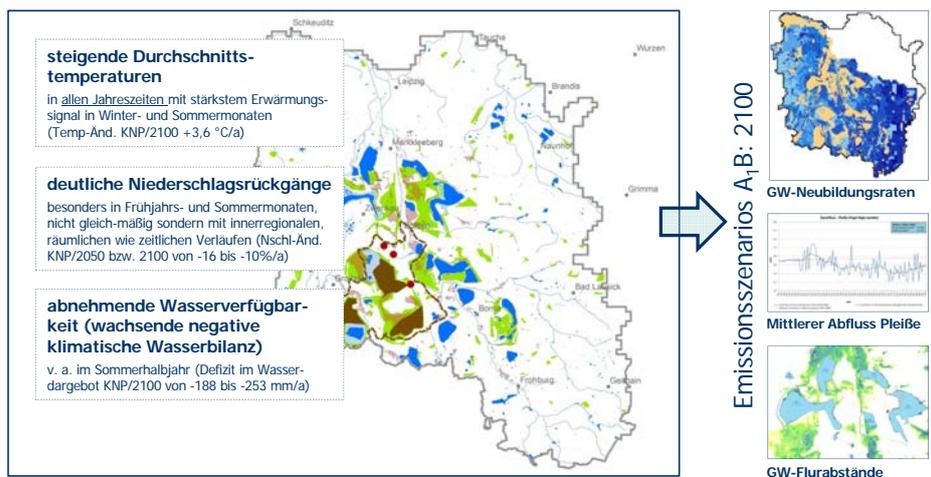
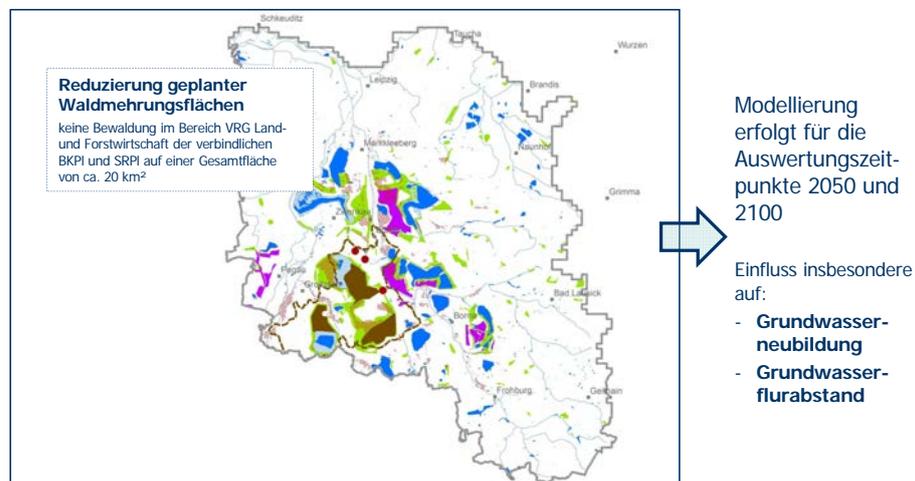


Abb. 78: Szenario 3: Variiertes Landnutzungsszenario für 2100 einschließlich Klimawandel (Schottke 2012: 7)



Operationalisierung

Klimamodell WETTREG 2010: Modelliert werden die Szenarien mit Hilfe des Klimamodells WETTREG 2010 (s. Kap. 5.2) sowie mit Hilfe von Wasser- bzw. Bodenwasserhaushaltsmodellen (s. Kap. 5.2 und 5.3.5). Zum Einsatz kommen sowohl ein Bodenwasserhaushaltsmodell (BWHM, basierend auf dem ArcEGMO-Modellsystem) als auch ein Grundwasserhaushaltsmodell (Hydrologisches Großraumwassermodell Süd, HGMS, basierend auf dem Programmsystem PCGEO-FIM).

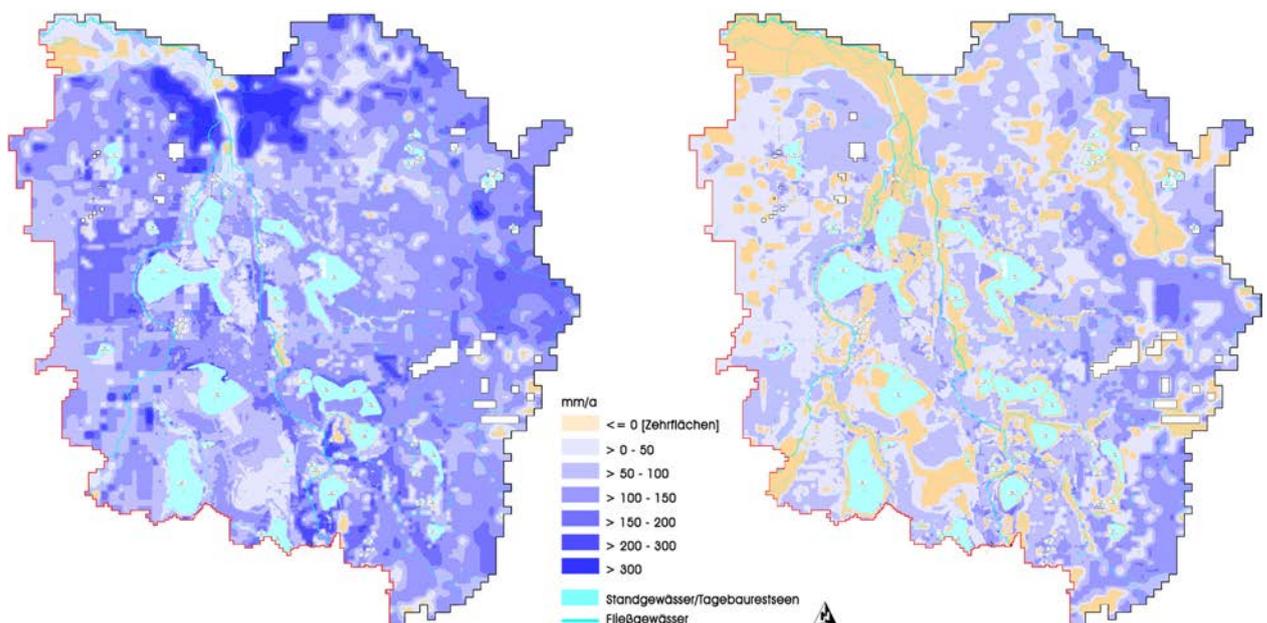
Bodenwasserhaushaltsmodell zur Beschreibung oberflächennaher Parameter wie Grundwasserneubildung, Grundwasserflurabstand und Oberflächenabfluss unter Berücksichtigung der Landnutzung: In das hochaufgelöste Bodenwassermodell werden, wie in Kap. 5.3.5 beschrieben, u.a. Klima- bzw. Witterungsdaten, geomorphologische Informationen sowie Landnutzungs- und Bodendaten und das Fließgewässersystem eingespeist. Im Ergebnis werden in Abhängigkeit der in den unterschiedlichen Szenarien variierten Landnutzungen und Klimaparameter die Fakto-

ren Grundwasserneubildung und Grundwasserflurabstand räumlich simuliert – unter den beschriebenen Randbedingungen sowohl für den aktuellen Referenzzeitraum als auch für die Zeitschnitte 2050 und 2100 (s. Abb. 79).

Grundwasserhaushaltsmodell zur Beschreibung zeitlich besser aufgelöster Grundwasserneubildung (auch tiefer liegender Schichten), der Zu- und Abströme und des Grundwasservorrates: Im Grundwasserhaushaltsmodell HGMS erfolgt die Bilanzierung von Grundwasserneubildung und Grundwasservorrat für tieferliegende Grundwasserkörper. Die zeitliche Variabilität der Grundwasserneubildung wird dabei präziser abgebildet als beim Bodenwasserhaushaltsmodell. Die Darstellung zeigt hier nicht die räumliche, sondern die mengenbezogene Entwicklung (s. Abb. 80).

Im Ergebnis kommt es sowohl in Szenario 1 als auch Szenario 2 zu einem bergbaulich bedingtem Anstieg des Grundwasservorrates, wobei im Klimawandelszenario der Anstieg deutlich geringer ausgeprägt ist, da die mittlere Grundwasserneubildung reduziert wird.

Abb. 79: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung für das Jahr 2100 ((IBGW 2012, Anlage 2_1 und Anlage 4_1) links: auf Grundlage der Klimadaten der Klimanormalperiode im Bezugszeitraum 1961-1990; langjähriges Gebietsmittel 85 mm/a rechts: auf Grundlage der projizierten Klimadaten des Emissionsszenarios A1B im Bezugszeitraum 2010-2100; langjähriges Gebietsmittel 37 mm/a



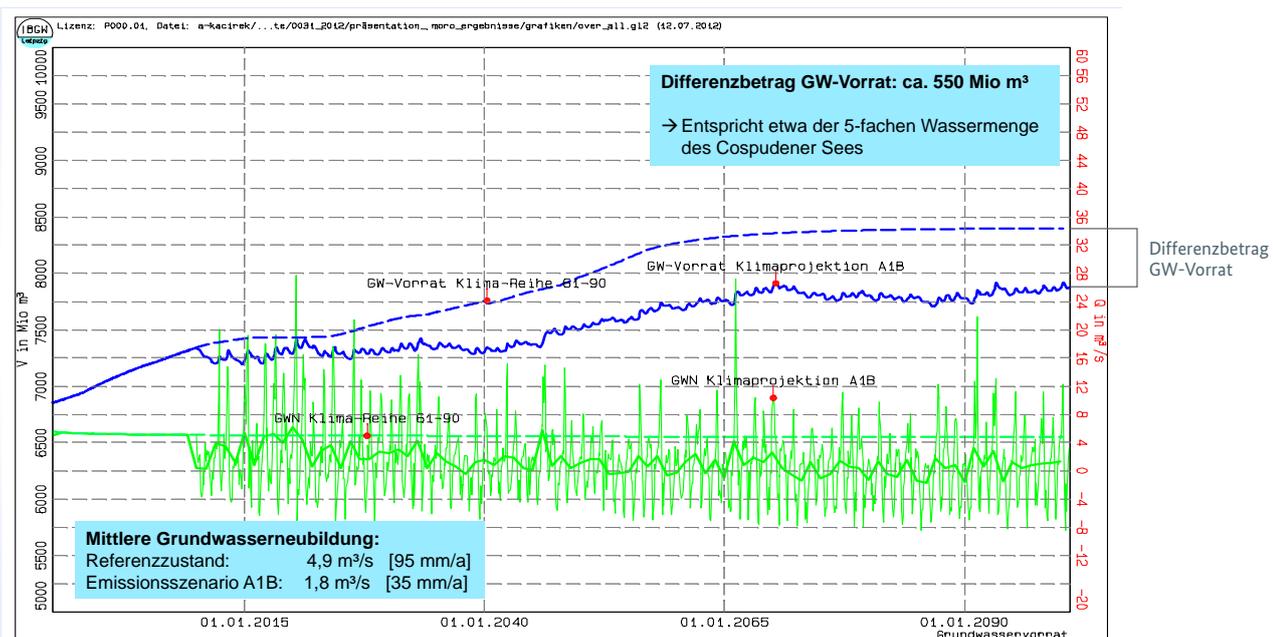
Räumlich ergeben sich hierdurch für die Szenarien 1 bis 3 unterschiedliche Grundwasserflurabstände, wobei in Bereichen mit Waldmehrung der Grundwasserflurabstand durch die vergrößerte Wasserzehrung gegenüber landwirtschaftlicher Nutzung zunimmt.

Berechnung der Durchflüsse an Fließgewässern und Ableitung der Wasserpegelstände: Die Auswirkungen der Veränderungen auf die Durchflüsse an den Fließgewässern werden anhand bekannter gemessener Pegelstände und Durchflussmengen vorgenommen. Mit Korrelations- und Regressionsrechnungen werden Schätzfunktionen zum Gewässerdurchflussverhalten gebildet, die die Grundlage für die Szenarien auf Basis der Änderungssignale bilden. Hintergrund ist, dass für das gesamte, über das Projektgebiet hinausgehende Einzugsgebiet der betrachteten Fließgewässer kein Niederschlagsabflussmodell zur Verfügung stand. In Bereichen wenig anthropogen beeinflusster Gewässerabschnitte ist der mittlere Abfluss (MQ) in Szenario 2 gegenüber Szenario 1 reduziert, in anderen Bereichen dagegen dominiert der Einfluss der Gewässerbewirtschaftung das Abflussgeschehen. Am Beispiel des Pegels Regis-Serbitz kommt es infolge des prognostizierten Klimawandels zu einem verringerten Durchfluss von $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$,

Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse werden in weiteren Schritten die Wasserstände der Fließgewässer berechnet. Sogenannte Schlüsselkurven für die einzelnen Fließgewässer verweisen auf das Verhältnis von schwankenden Durchflussmengen und Wasserstand. So führt am Beispiel des Pegels Regis-Serbitz an der Pleiße die klimawandelbedingte Reduktion des langjährigen mittleren Durchflusses um $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (von $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$) zu einer Reduzierung des Wasserstandes von 2 cm. Auf dieser Grundlage können dann auch Informationen zur Nutzbarkeit der Fließgewässer, z.B. zum Wassertourismus, abgeleitet werden.

Aufstellung limnologischer Bilanzen zur Berechnung der Wasserstände und Überschusswassermengen an Seen: Der Wasserhaushalt der Standgewässer wird als Limnologische Bilanz mit Hilfe der Berechnungen aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell und dem Grundwasserhaushaltsmodell erstellt. Dabei wird der Wasserzustrom, d.h. die Niederschläge über dem See, der landseitige Oberflächenzufluss und der Grundwasserzustrom gegenüber der Wasserzehrung (Verdunstung, Oberflächen- und Grundwasserabstrom) bilanziert. So können die Entwicklung des Seewasserspiegels sowie der anfallenden Überschusswassermengen für die einzelnen Szenarien dargestellt werden.

Abb. 80: Entwicklung des Grundwasservorrats im Südraum Leipzig (Kacirek/Rakete o.J.)



Am Beispiel Haselbacher See, einem bergbaulich beeinflussten kleineren, flachen See von 335 ha und durchschnittlich 7,5 m Tiefe im Südraum von Leipzig wird die Entwicklung deutlich (s. Abb. 81): Im Referenzzustand ist der See stark durch eine bergbaubedingte Grundwasserabsenkung geprägt. Als Ausgleich wird der See durch Wassereinleitungen gespeist, die 2045 jedoch eingestellt werden. Daher sinkt im Referenzzustand der Wasserspiegel über einen Zeitraum von etwa 10 Jahren um ca. 0,8 m bis sich dieser infolge des andauernden natürlichen Grundwasserzstroms langsam wieder die Höhe von 151 m über Normalhöhennull erreicht. In Szenario 2 sinkt vor dem Hintergrund des Klimawandels der Wasserspiegel nach Einstellung der Wassereinleitung in 2045 um etwa 3 bis 4 m ab. Die bergbaubedingte Grundwasserabsenkung und der klimawandelbedingte verringerte Wasserzustrom (geringerer Niederschlag, höhere Verdunstung, geringerer Grundwasserzustrom) wirken hier zusammen, so dass sich der Wasserstand auch bis 2100 nur auf ein Niveau 3 m unterhalb des Referenzwertes erholen kann.

Überschusswasser steht ab Mitte des Jahrhunderts in beiden Szenarien nicht mehr zur Verfügung. Bei tieferen und größeren Seen, ggf. mit anderen Wasserregimen wirkt sich der Klimawandel dagegen weniger stark aus.

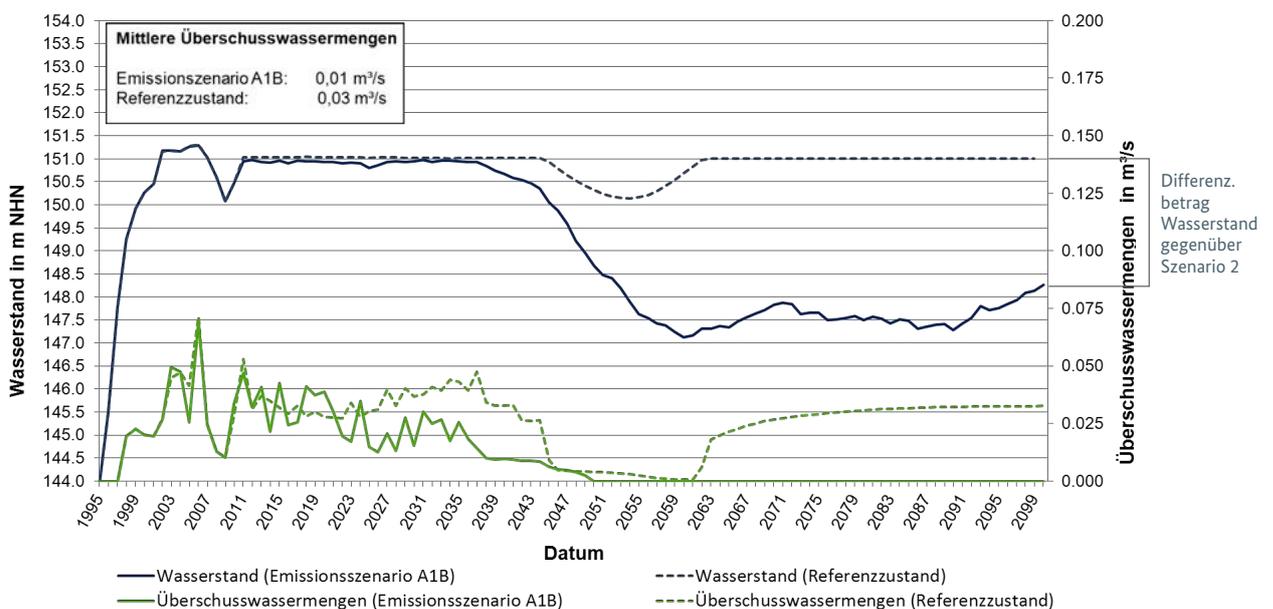
Fazit

Die für die Planung wasserwirtschaftlicher Modellierungen bestimmten Wasserhaushaltsmodelle eignen sich in der Regel nicht nur zur Modellierung von Planungsvarianten, sondern aufgrund ihrer Fähigkeit räumlich und zeitlich aufgelöster Simulationen auch zu prognostischen Szenariomentwicklung vor dem Hintergrund unterschiedlicher möglicher Zukünfte. Für die Raumplanung pragmatische Fragestellungen wie die Überprüfung von regionalplanerischen Festlegungen auf ihre Plausibilität zeigen die Optionen fortschrittlicher Planungspraxis auf.

Weitergehende Informationen

www.rpv-vestsachsen.de/projekte/moro/klimamorphose-i-2.html

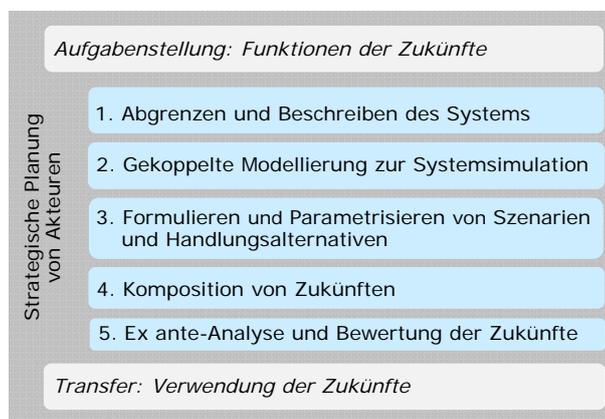
Abb. 81: Wasserstands- und Überschusswassermengenentwicklung des Haselbacher Sees im Referenzzustand und Emissionsszenario A1B (Jahresmittelwerte) (IBGW 2012:44)



6.2.2 Methodischer Ansatz „Regionale Zukünfte“ und Modellregion Dresden

Von Schanze und Sauer (2012b) wurde eine spezielle steuerungorientierte Szenariomethodik entwickelt, mit der den Anforderungen an das Szenarioverfahren entsprochen wird. Neben regionalen Klimaprojektionen sieht sie die gezielte Einbindung von ganzheitlichen Szenarien des gesellschaftlichen Wandels vor. Dazu werden qualitativen Masterszenarien (Storylines) jeweils konsistente quantitative Projektionen v.a. des demographischen, ökonomischen und technologischen Wandels sowie des Raumnutzungswandels zugeordnet. Die Klimaprojektionen mit den Projektionen des gesellschaftlichen Wandels sind Ausgangspunkt für die Abschätzung und Bewertung der zukünftigen Betroffenheit. Dabei werden vor allem die vom Klima maßgeblich beeinflussten Wirkzusammenhänge detailliert nach gekoppelten Wirkketten und Indikatoren behandelt. Des Weiteren können grundlegende Anpassungsmaßnahmen und -instrumente auf ihre Wirkungen speziell unter den verschiedenen Szenarien analysiert werden (Robustheit). Ziel der Methodik ist die Unterstützung des Zusammenwirkens von Entscheidungsträgern und Experten bei der Exploration und Steuerung der zukünftigen Stadt- und Regionalentwicklung. Dazu werden qualitative und quantitative Methodenbausteine in einer planerisch relevanten Weise miteinander kombiniert.

Abb. 82: Methodik „Regionale Zukünfte“ – Ablaufschema (Schanze/Sauer 2012b: 18)



Inhaltlich stellt die Methodik einen gezielten Zusammenhang zwischen den in Städten und Regionen autonom ablaufenden, d.h. planerisch nicht direkt beeinflussbaren Prozessen auf der einen Seite und den zielgerichteten Interventionen mittels Planung auf der anderen Seite her. Die autonomen Prozesse wie der Klimawandel, die Bevölkerungsentwicklung etc. werden als Szenarien behandelt, die zielgerichteten Interventionen wie die Ausweisung von Vorranggebieten als Handlungsalternativen. Diese grundlegende Unterscheidung beruht auf einem Informationsbedarf, der sich mit folgenden Fragen illustrieren lässt: Was könnte auf uns zukommen? Was können wir (dagegen) tun? Darüber hinaus werden weiterführende Fragen formuliert: Welche Folgen hat das, was auf uns zukommen könnte? Und wie wirken sich alternative Interventionen aus?

Die Methodik „parametrisierte regionale Zukünfte“ (kurz: „Regionale Zukünfte“) zielt auf die Beantwortung aller vier Fragen. Dazu ist es notwendig, das, was sich autonom ändern kann und das, was als Intervention in Betracht kommt, von den Folgewirkungen innerhalb des Systems von Städten und Regionen zu unterscheiden. Als Beispiel kann es darum gehen, Szenarien unter Einbeziehung der Zahl von Hitzetagen zu formulieren und diese mit Maßnahmen zur Erhöhung der Durchgrünung zu kombinieren. Auf dieser Basis lässt sich analysieren, wie sich die Szenarien oder die Handlungsalternativen, bzw. eine Kombination beider, auf die Hitzebelastung der Bewohner auswirken.

Um mehrere solcher (Folge-)Wirkungen einbeziehen zu können, werden die Systemzusammenhänge (s. Abb. 83) mit einer Reihe von Wirkketten abgebildet. Die sogenannten Schlüsselprozesse sind so miteinander verknüpft, dass sich auch mittelbare und mehrfache Wirkungen betrachten lassen. Ein Beispiel für einen solchen Schlüsselprozess ist der Zusammenhang von Niederschlag/Temperatur – Hochwassergefahr – Gebäude – Hochwasserrisiko. Im Fall dieses Schlüsselprozesses können Szenarien vor allem zu Änderungen der beiden Klimakenngrößen, aber auch zur Änderung der Vulnerabilität der Gebäude führen, wie z.B. durch die schrittweise Modernisierung von Gebäuden im Hinblick auf den Wärmeschutz. Mögliche Handlungsalternativen wären die Verringerung der Hochwassergefahr durch die Ausweisung von Retentionsraum oberstrom potenziell betroffener Gebäude oder die Festsetzung von Maßnahmen der Bauvorsorge gegenüber Hochwassereinwirkungen.

Abb. 83: Systemkonzept für Klimafolgenabschätzung und -anpassung (Schanze/Sauer 2012b: 21)

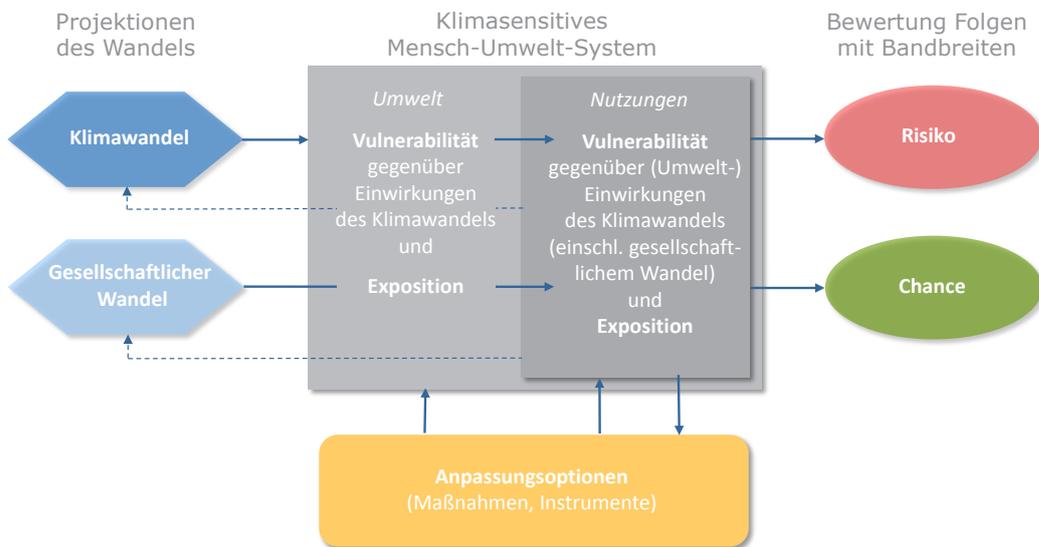
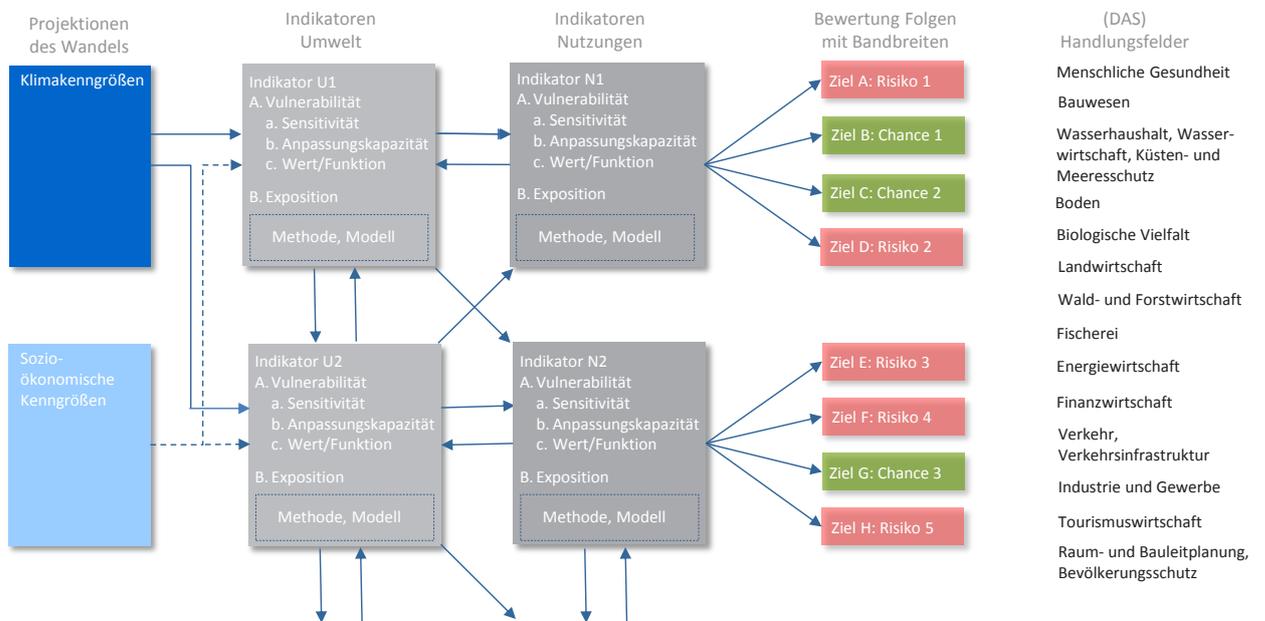


Abb. 84: Quantitative Abbildung von Wirkzusammenhängen mittels Schlüsselprozessen und Indikatoren (Schanze et al. (in Vorb.))



Die Fragen und die zu ihrer Erläuterung verwendeten Beispiele machen deutlich, dass sich die Szenarien und Handlungsalternativen nicht auf die Prozesse in Städten und Regionen selbst beziehen, sondern lediglich auf deren sich autonom ändernden oder bewusst geschaffenen Randbedingungen. Damit unterscheidet sich die Methodik von Ansätzen, bei denen die Szenarien den Zustand von Städten und Regionen selbst zum Gegenstand haben und nicht nur deren Randbedingungen.

Die Anwendung der Methodik „Regionale Zukünfte“ umfasst fünf aufeinander folgende Schritte (s. Abb. 82): (1) die Abgrenzung und Beschreibung des betrachteten urbanen oder regionalen Systems nach den einbezogenen Wirkungszusammenhängen, dem Bezugsraum und den betrachteten Zeitschnitten, (2) die Beschreibung und Abbildung dieses Systems mit verschiedenen Methoden und (Wirk-)Modellen, (3) das Formulieren und quantitative Aufbereiten (Parametrisieren) von konsistenten, kohärenten und plausiblen Szenarien des regionalen Wandels und von Handlungsalternativen der gesellschaftlichen Steuerung (s. Abb. 85), (4) die Komposition alternativer Zukünfte durch Kombination von Szenarien und Handlungsalternativen (s. Abb. 86), sowie (5) die Analyse der Folgen dieser Zukünfte mit den Methoden und Modellen für die Abbildung des Systems und deren anschließende Bewertung hinsichtlich Risiken und Chancen unter Bezug auf gesellschaftliche Normen sowie der Wirkungsweise der Handlungsalternativen nach Kriterien wie Robustheit etc.

Jeder der fünf Schritte hat seine spezifischen Anforderungen und ist durch wissenschaftliche und/oder planerische Methoden untersetzt. Hierzu gehören unter anderem die Systemanalyse mit Hilfe der Schlüsselprozesse (s. Abb. 84), die Qualifizierung von Annahmen, die konsistente Projektion von Parametern und die Operationalisierung von Handlungsalternativen, die Kombination von Zukünften, die Analyse und Bewertung der Zukünfte ex ante sowie die strukturierte Beteiligung verschiedener Akteure an allen fünf Schritten.

Zentrale Ergebnisse der Szenario-Methodik sind erstens die Angabe der Folgen der Szenarien für die mit den Schlüsselprozessen adressierten Raumnutzungen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen, zweitens die jeweilige Wirksamkeit von Handlungsalternativen sowie drittens die Robustheit der Handlungsalternativen über die verschiedenen Szenarien hinweg. Die Quantifizierung der Unsicherheit durch die Szenarien erlaubt die Angabe von Bandbreiten, welche unter anderem bei der Gebietsausweisung zugrunde gelegt werden können. Die Folgen der Szenarien werden unter Bezug auf die Leitbilder, Ziele und Grundsätze der Raumordnung als nachteilige Risiken oder vorteilhafte Chancen bewertet (Schanze/Daschkeit 2013).

Der Ansatz wurde in der Modellregion Dresden im Rahmen des KLIMZUG-Vorhabens „Entwicklung und Erprobung eines integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden“ (REGKLAM) erprobt und in der Vulnerabilitätsstudie Sachsen als Grundkonzept angewendet. Für die Modellregion Dresden wurden 14 Schlüsselprozesse mit ihrer Vernetzung betrachtet (Sauer/Schanze 2012: 166ff). Zum Klimawandel stehen Projektionen zu verschiedenen SRES-Szenarien zur Verfügung, die mit unterschiedlichen Regionalen Klimamodellen und mehrfachen Läufen von diesen (Realisierungen) erstellt worden sind. Die Gesamtheit aller Realisierungen bildet ein Ensemble, das die Bandbreite des möglichen Klimawandels abbildet. Im Hinblick auf die Szenarien des gesellschaftlichen Wandels wurden Masterszenarien sowie Projektionen zur gemeindebezogenen Bevölkerungsentwicklung, zur wirtschaftlichen Entwicklung sowie zum teilträumlich hoch auflösend konkretisierten Raumnutzungswandel erarbeitet. Einzelne Handlungsoptionen im Sinne von Klimaanpassungsmaßnahmen wurden abgeleitet und zu generellen Handlungsalternativen zusammengestellt. Zur Abstimmung sämtlicher Annahmen sowie planerischer Handlungsoptionen und -alternativen ist ein Beteiligungsprozess konzipiert worden.

Abb. 85: Szenarios des regionalen Wandels nach Storylines (Schanze/Sauer 2012a, übersetzt und verändert nach Luther/Schanze 2011: 1760)

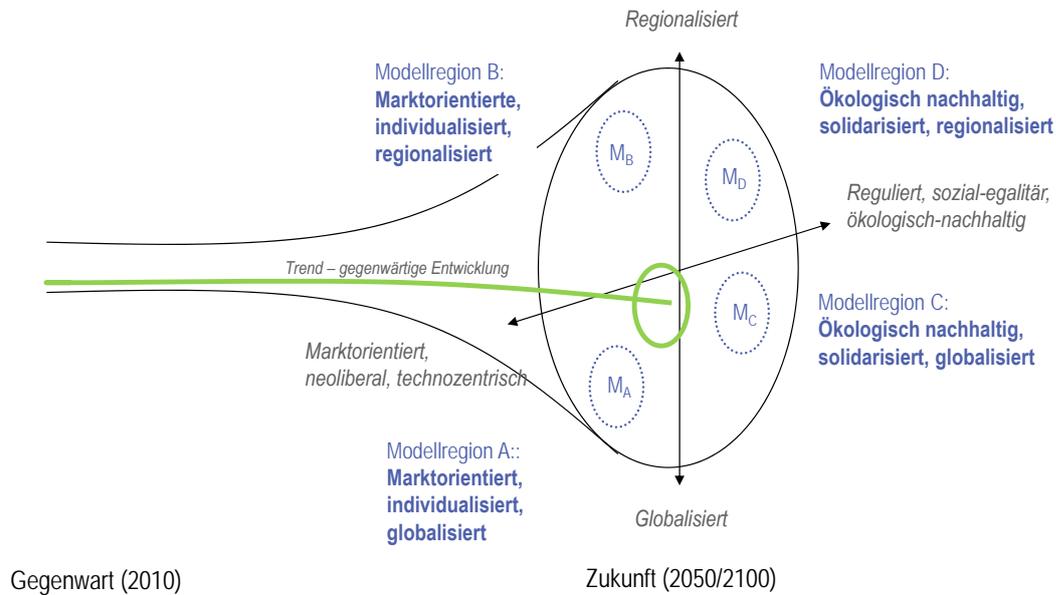
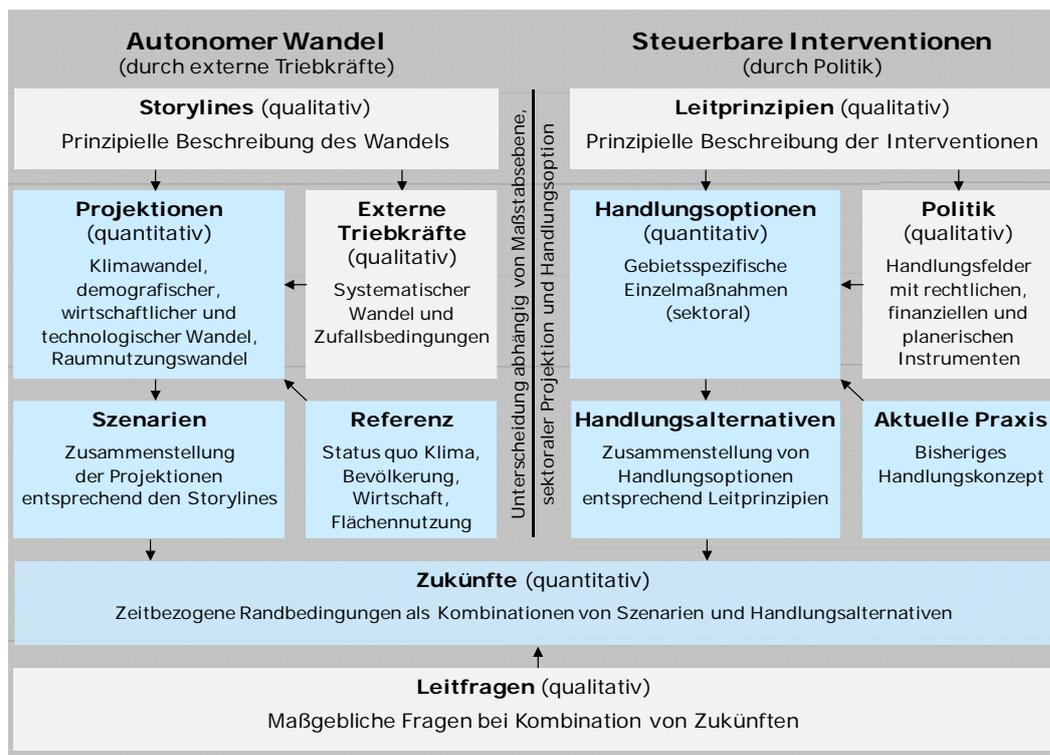


Abb. 86: Komponenten zur Bildung Regionaler Zukünfte (Schanze/Sauer 2012b: 24)



Anhand des Schlüsselprozesses „Lufttemperatur/Strahlung/Luftdruck/Windfeld-Bioklima-Gesundheit“ und des Indikators „bioklimatische Belastung“ lässt sich das Vorgehen nach der Methodik „Regionale Zukünfte“ in der Modellregion Dresden wie folgt verdeutlichen: Als Projektionen des Klimawandels werden mit Hilfe der Ensembles aus SRES-Szenarien und Regionalen Klimamodellen und unter zusätzlicher Einbeziehung des human-biometeorologischen Modells RayMan Physiologisch Äquivalente Temperaturen (PET) für die Hitzetage ausgewählter Zeiträume (Klimanormalperioden) berechnet (s. Abb. 87).

Parallel werden Projektionen des gesellschaftlichen Wandels erzeugt, in denen durch szenariobasierte kleinräumige Bevölkerungsvorausrechnungen mögliche demographische Entwicklungen von Gemeinden abgebildet werden (s. Abb. 88). Darauf aufbauend sind unter Einsatz von Flächenbedarfsansätzen mit Bezug zur BBSR-Wohnungsmarktprognose und des für die räumliche Allokation von Flächennutzungsänderungen geeigneten Modells DINAMI-CA räumlich differenzierte Projektionen des Raumnutzungswandels mit Fokus auf der Wohnbausiedlungsfläche erstellt worden (s. Abb. 89).

Im Hinblick auf die Vulnerabilität der Region werden Sensitivität, Werte/Funktionen sowie die Anpassungskapazität betrachtet. Als Sensitivität wird bei diesem Schlüsselprozess die Einstufung der PET (Wärmehaushalt des Menschen) in Belastungsklassen sowie der Wärmehaushalt von Gebäuden nach bauingenieurwissenschaftlichen Verletzbarkeitsklassen für Gebäudetypen bestimmt. Bezüglich Wert/Funktion steht die Anzahl der betroffenen Bevölkerung differenziert nach Altersgruppen im Vordergrund, die sich u.a. über den IÖR-Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung aus siedlungsstrukturell klassifizierten Baublockdaten ableiten lässt. Die Anpassungskapazität wird danach mit GIS-Analysen unter Einbeziehung von Ergebnissen zu vegetationsbedingten Abkühlungseffekten aus dem meteorologischen Grenzschicht-Modell HIRVAC in Verbindung mit Handlungsoptionen zur Erhöhung der Grünvolumendichte abgeschätzt.

Abb. 87: Bioklimatische Belastung (PET) für einen Beispielzeitraum unter Berücksichtigung vegetationsbedingter Abkühlungseffekte (Sauer/Schöder; in Vorb.)

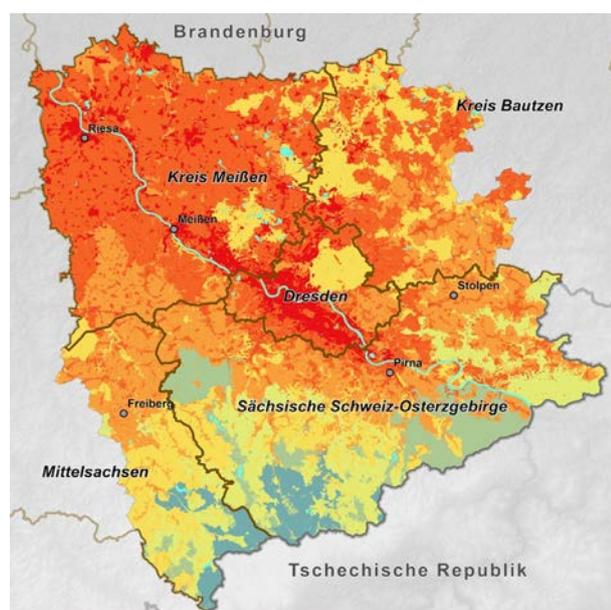
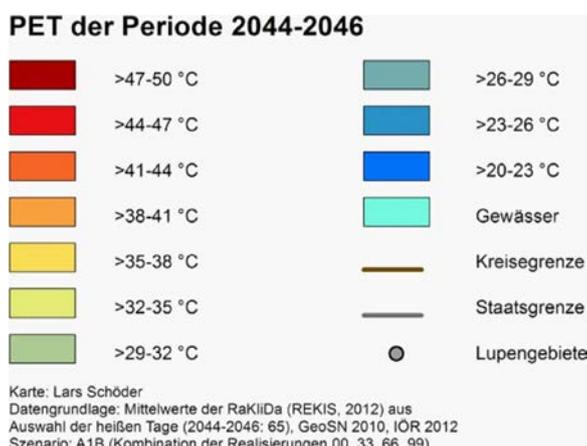


Abb. 88: Beispielhafte Projektion der Bevölkerungsentwicklung als Teil des gesellschaftlichen Wandels (Sauer et al. 2011).

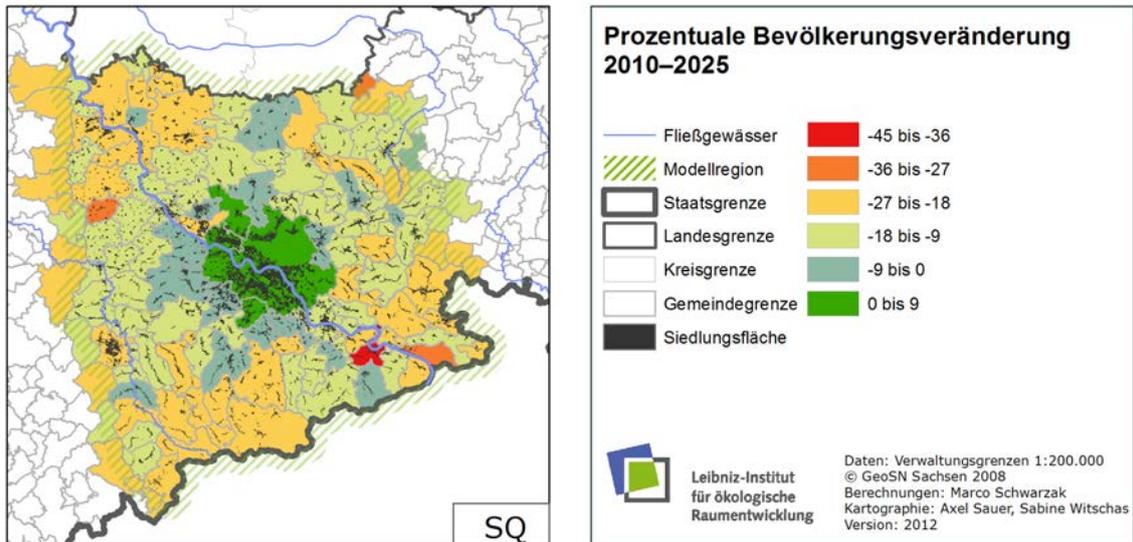
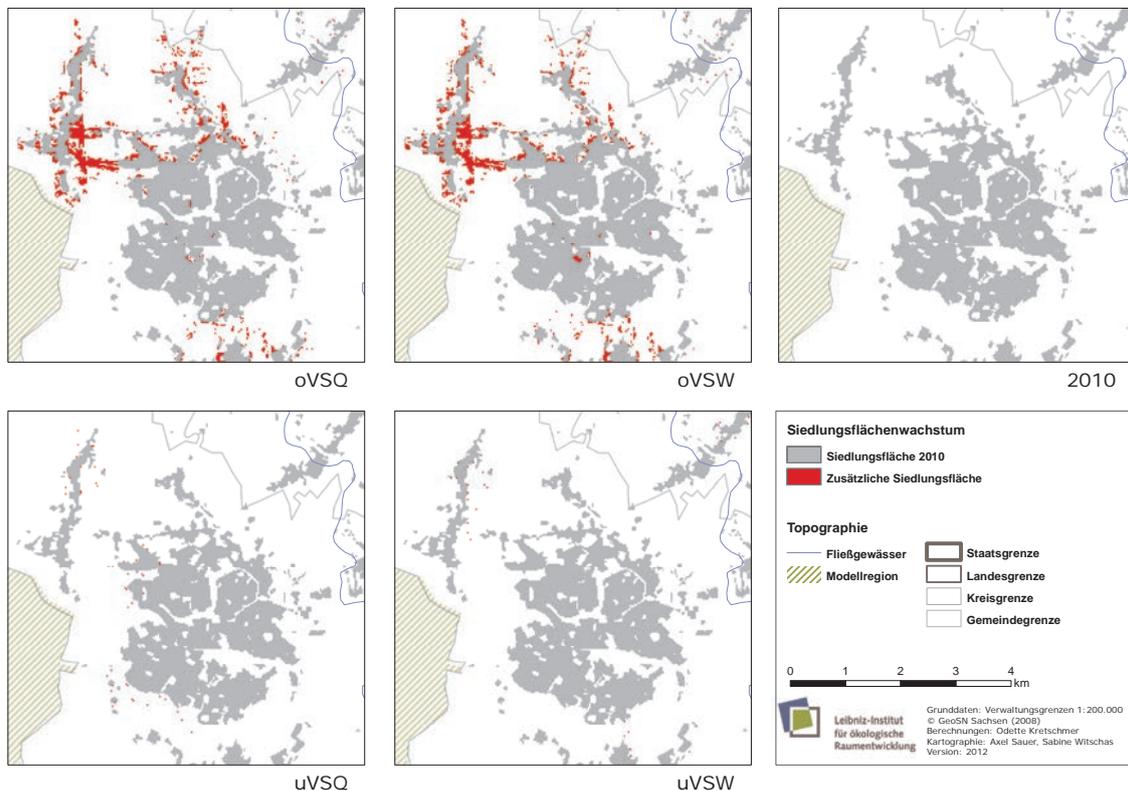


Abb. 89: Beispielhafte Projektion des Siedlungsflächenwachstums als Teil des gesellschaftlichen Wandels (Sauer et al. 2011)
 Mit dem Modell DINAMICA können mögliche Standorte für zukünftige Wohnbausiedlungsflächen simuliert werden. Grundlage für die Berechnungen sind Projektionen des Wohnbausiedlungsflächenbedarfs von verschiedenen Varianten der Bevölkerungsentwicklung (SQ: status quo, SW: jüngste Wanderungstendenz) sowie des Wohnungsbedarfs (uV: untere Variante, oV: obere Variante der BBSR-Wohnungsmarktprognose) abgeleitet wird.



7. Anwendungshinweise und Ausblick

7. Anwendungshinweise und Ausblick

Aktuelle Ereignisse wie die Hochwasserkatastrophen im Frühsommer 2013 zeigen die Notwendigkeit, in angemessener Art und Weise Vorsorge zu treffen. Der Auftrag, Vorsorge zu betreiben gilt selbstverständlich nicht nur für aktuell betroffene Handlungsfelder, sondern auch für diejenigen, in denen herausragende Ereignisse schon länger zurück liegen (Jahrhundertssommer 2003) sowie in denen es zukünftig potenziell zu erheblichen Veränderungen kommen kann.

Der Auftrag zur Vorsorge betrifft viele Sektoren, so auch die räumliche Planung. Mit dem Klimawandel und seinen projizierten Auswirkungen auf die Städte und Regionen in Deutschland wird sich das Erfordernis vorsorgenden Handelns noch verstärken.

Die Bundesraumordnung hat mit den Modellvorhaben der Raumordnung (MORO) „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“, kurz KlimaMORO, Strategien und Pilotprojekte zur Anpassung auf den Weg gebracht. Im Herbst 2013 wird die Phase II des KlimaMORO abgeschlossen. Die beteiligten Regionen und viele andere Forschungsaktivitäten und -projekte auf Bundes-, Länder- und regionaler Ebene leisten entscheidende Beiträge zum Aufbau von Grundlagendaten, methodischen Erkenntnissen wie auch von strategischen Ansätzen und Umsetzungsmaßnahmen.

Dieses Wissen wurde für das vorliegende Methodenhandbuch ausgewertet. Allerdings sind Forschung und Erprobung im Bereich der Klimaanpassung äußerst dynamisch: Vieles ist hier noch in Bewegung, vieles wird kontrovers diskutiert. Deshalb kann dieses Methodenhandbuch zur regionalen Klimafolgenbewertung kaum konsolidierte Verfahren anbieten. Gleichwohl fasst das Methodenhandbuch aktuelle Erkenntnisse zur Klimafolgenbewertung zusammen, macht Vorschläge zu einem gemeinsamen Grundverständnis von Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung und zu einer Harmonisierung zentraler Fachbegriffe. Es bietet einen konsistenten methodischen

Grundansatz über zentrale Handlungsfelder der Raumordnung hinweg an und integriert aktuelle Forschungsstände vor dem Hintergrund des raumordnerischen Handlungsrahmens.

Die Bundesraumordnung möchte damit die integrierende Rolle der räumlichen Planung im Bereich der Vorsorge und Klimaanpassung stärken, weiterentwickeln und die Akteure in den Regionen und Städten in ihrer Planungspraxis unterstützen. Das Methodenhandbuch soll weitere Impulse für den anhaltenden Diskurs zu Klimawandel und Anpassungsstrategien in Deutschland geben. Deshalb sind Kommentare aus Praxis und Wissenschaft ausdrücklich erwünscht, nicht zuletzt, um dieses erste Produkt einer Gesamtbetrachtung der regionalen Klimafolgenbewertung in der Regionalplanung gemeinsam mit den Ländern, Regionen und Städten weiterzuentwickeln.

Dies gilt über die tradierten Handlungsfelder der Raumplanung hinaus auch für mögliche weitere Handlungsfelder wie

- Land- und Forstwirtschaft,
- Bergbaufolgenlandschaft,
- das Querschnittsthema „Kritische Infrastrukturen“ oder
- im Einzelfall raumbedeutsame Klimafolgen wie Sturzflutgefahren.

Zudem sollten querschnittsorientierte Betrachtungen unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen in den einzelnen Sektoren, die Wechselbeziehungen zwischen unterschiedlichen Wandlungsprozessen, insbesondere den demographischen Wandel und die Bevölkerungsentwicklung, sowie informelle Planungen in Verbindung mit Governance-Prozessen zum Klimawandel thematisiert werden.

Die vorliegende Version 1.0 zeigt gut durchdachte und in sich schlüssige Ansätze mit praxistauglichen Handlungs-

empfehlungen. Dennoch wird an vielen Stellen offenbar, dass die Vielfalt an methodischen und strategischen Ansätzen wie auch die Vielfalt an regionalen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen ein bundesweit vereinheitlichtes Vorgehen für Klimafolgenbewertungen als schwieriges Unterfangen erscheinen lassen. Viele Methoden der Klimafolgenbewertung, die heute in Modellvorhaben und Forschungsprojekten zum Einsatz kommen, sind teilweise sehr aufwändig und in dieser Form von den Akteuren der Regional- und Stadtplanung nicht zu leisten. Die Aufbereitung im Methodenhandbuch soll deshalb darlegen, welchen Anforderungen Leistungen externer Experten in den spezifischen Handlungsfeldern der Raumordnung oder Beiträge der Fachplanungen und Fachbehörden genügen müssen, um die für die räumliche Planung erforderlichen Grundlagen zu liefern.

Das Methodenhandbuch zeigt auch, dass eine Systematisierung auf Basis einer konsistenten Grundlogik einen erheblichen Mehrwert erzielen kann. Dieser Mehrwert beschränkt sich nicht nur auf den Umgang mit einem hochkomplexen Thema in der konkreten Planungspraxis, sondern bezieht sich auch auf den Erfahrungsaustausch zwischen den Regionen und die Kommunikation im politischen und öffentlichen Raum. Insofern hofft die Bundesraumordnung, mit dem Methodenhandbuch und dem Webtool für das Screeningverfahren den Regionen eine weitergehende Hilfestellung für Klimafolgenbewertungen anbieten zu können.

Um sowohl das Methodenhandbuch als auch das Screeningtool weiterzuentwickeln, bietet sich als nächster Schritt eine Testphase in Modellregionen an. Dieser Praxistest soll dazu dienen, das Methodenhandbuch gemeinsam zu verbessern und an den aktuellen Forschungsstand sowie ggf. an die sich wandelnden Nutzerinteressen anzupassen. Zentrale Aufgabe bleibt es weiterhin, den Regionen und Städten den Einstieg in Strategien zur Klimaanpassung bzw. die Weiterentwicklung ihrer regionalen Praxis zu ermöglichen.



Im Spätsommer erschien die Broschüre „Heute Zukunft gestalten“. Diese richtet sich an kommunale und regionale Entscheidungsträger und die interessierte Öffentlichkeit und soll dazu motivieren, sich mit der Thematik regionaler Klimaanpassung auseinanderzusetzen. Neben ausgewählten Handlungsfeldern zeigt die Broschüre Erfolgsfaktoren für Anpassungsprozesse und stellt die Strategien der KlimaMORO-Modellregionen vor.

Weitere Informationen:
www.bmvbs.de/Raumentwicklungsstrategien
www.bmvbs.de/Klimafolgenbewertung
www.klimastadtraum.de

8. Quellen und weitergehende Links

8. Quellen und weitergehende Links

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Klimasignale, MKRO-Handlungsfelder und Anpassungsoptionen der Regionalplanung
- Abb. 2: KlimaMORO-Regionen der Phasen I und II
- Abb. 3: Themenbereiche der Klimageservice Leistungen des DWD
- Abb. 4: Der Deutsche Klimaatlas gibt einen Überblick über die zu erwartenden Klimaänderungen in Deutschland
- Abb. 5: Eine der vielen verfügbaren Klimakarten ist die Bioklimakarte von Deutschland. Sie gibt eine bioklimatische Bewertung hinsichtlich der Häufigkeit von Wärmebelastung und Kältereizen wieder (Zeitraum 1971-2000)
- Abb. 6: Das Downscaling von der globalen Skala auf die regionale bis zum Stadtklima mit Hilfe des Wirkmodells MUKLIMO_3
- Abb. 7: Schematische Darstellung möglicher alternativer Projektionen von Klima und Klimafolgen und der Beiträge verschiedener Unsicherheiten bei Multimodellrechnungen
- Abb. 8: Regionaler Klimaatlas Deutschland
- Abb. 9: Klimasignalkarten
- Abb. 10: Deutscher Klimaatlas
- Abb. 11: Beispiel für die sequenzielle Realisierung von Planinhalten: Deichbau in Schleswig-Holstein
- Abb. 12: Systemkomponenten der Klimafolgenanalysen
- Abb. 13: Systemkomponenten des Grundkonzeptes zur Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung
- Abb. 14: Klimafolgenbewertung als Planungsprozess verstehen
- Abb. 15: Das zweistufige Screeningverfahren
- Abb. 16: Startseite des Webtools für das Screeningverfahren
- Abb. 17: Online-Fragebogen und Infoboxen des Screening-Tools
- Abb. 18: Auf der Startseite des Webtools wird der Benutzer ausführlich in die Benutzung und Funktionsweise der Anwendung eingewiesen. Hier werden zudem Region (ggf. Teilraum) und Name sowie Handlungsfelder abgefragt.
- Abb. 19: Steckbrief regionale Klima(wandel)betroffenheit
- Abb. 20: Modelldiskretisierung am Beispiel eines hydrogeologischen Modells
- Abb. 21: Prozess der Entwicklung des hydrogeologischen Modells
- Abb. 22: Hochwasserbetroffenheit der Bevölkerung in Köln in Abhängigkeit der räumlichen Auflösung
- Abb. 23: Klimamodellierung für die Regionalplanung
- Abb. 24: Regionalisierung der Klimadaten mit dem FITNAH-Modell
- Abb. 25: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten“
- Abb. 26: Entwicklung von Modellhochwassern durch Erhöhung der Nebenflussganglinien ohne deren zeitliche Verschiebung
- Abb. 27: Beispiel für ein zweidimensionales Strömungsmodell
- Abb. 28: Unterschiede des Flächenumgriffes des HQ 100 der Gefahrenhinweiskarte im Vergleich zur Gefahrenkarte in Sachsen
- Abb. 29: Unterschiede des Flächenumgriffes des 10 m-Wasserstandes bei Extremhochwasser der Gefahrenhinweiskarte im Vergleich zur Gefahrenkarte in Sachsen
- Abb. 30: Vergleich zwischen dem Umgriff des wasserwirtschaftlich festgelegten Überschwemmungsgebietes HQ 100 zum Extremhochwasser 2002 am Beispiel von Dresden
- Abb. 31: Vorschlag für die Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten in Freital

- Abb. 32: Einflussfaktoren der Grundwasserneubildung
- Abb. 33: Änderung der jährlichen Summen der Verdunstung, der Grundwasserneubildung und des Abflusses im Vergleich der Durchschnitte der Jahre 1991-2010 und 2031-2050 für die großen Flusseinzugsgebiete
- Abb. 34: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Regionale Wasserknappheiten“, Teil Grund- und Bodenwasserhaushalt
- Abb. 35: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Regionale Wasserknappheiten“, Teil Fließ- und Stillgewässer
- Abb. 36: Grundwasserneubildung und Grundwasserflurabstand in der Klimanormalperiode
- Abb. 37: Differenz der Grundwasserneubildung in der Periode 2071-2100 zur Klimanormalperiode
- Abb. 38: Zeitlicher Verlauf der klimatischen Wasserbilanz in Niedersachsen projiziert mit WETTREG 2010
- Abb. 39: Veränderung der klimatischen Wasserbilanz während der Hauptvegetationsperiode vom Referenzzeitraum bis 2100
- Abb. 40: Differenz der Beregnungsbedürftigkeit in der Periode 2071-2100 zur Klimanormalperiode projiziert mit WETTREG 2010
- Abb. 41: Klimatische Wasserbilanz in der Klimanormalperiode 1961-1990), im Zeitraum 1991-2005 sowie in den Perioden 2041-2050 und 2091-2100 für die Szenarien B1, A1B und A2
- Abb. 42: Planungsräume im Klimawandel auf Grundlage der Klimaprojektionen
- Abb. 43: Klimatische Veränderung in Westsachsen
- Abb. 44: Bewertung der Betroffenheit landwirtschaftlicher Böden gegenüber Austrocknung
- Abb. 45: Karte der Betroffenheit landwirtschaftlicher Böden gegenüber Austrocknung
- Abb. 46: Das Modell SWIM
- Abb. 47: Simulation des Hochwasserschadens: Vergleich 1961-2000 zu 2041-2070 und 2041-2100
- Abb. 48: Simulation der Änderung des Wasserkraftpotenzials 2041/2060 gegenüber 1991/2010
- Abb. 49: Übersicht zum Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen“
- Abb. 50: Gesamtablauf der Vulnerabilitätsbewertung und vorgenommenen Aggregationsschritte
- Abb. 51: Verteilung der Vulnerabilität auf Standortebene unter Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte in der Region Stuttgart
- Abb. 52: Verteilung der Vulnerabilität in der Region Stuttgart auf Standortebene ohne Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte sowie Gesamtbewertung der Vulnerabilität der Gemeinden und Stadtbezirke
- Abb. 53: Vulnerabilität gesundheitsrelevanter Einrichtungen
- Abb. 54: Kaltluftströme zu verschiedenen Nachtzeiten und in verschiedenen Höhen
- Abb. 55: Bodennahe Lufttemperaturen zu unterschiedlichen Nachtzeiten und Analyseschritte der Ergebnisse für die Anwendung in der Regionalplanung
- Abb. 56: Numerische Steinschlagmodellierung auf Basis von Laserscandaten
- Abb. 57: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte für geologische Gefährdungen in Bayern
- Abb. 58: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte Subrosion des HLUG Hessen
- Abb. 59: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte „Setzungen/Hebungen“, LGRB Baden-Württemberg
- Abb. 60: Ausschnitt aus der Hangstabilitätskarte Mittelmosel des LGB Rheinland-Pfalz
- Abb. 61: Erosions- und rutschungsgefährdete Gebiete in der Region Neckar-Alb
- Abb. 62: Gebiete für Bodenerhaltung (Vorbehaltsgebiete) in der Region Neckar-Alb
- Abb. 63: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Freihaltung von Pufferzonen an ungeschützten Erosionsküsten“

- Abb. 64: Veränderung der nach Westen bzw. Osten gerichteten Sedimenttransportkapazitäten (a: ΔQ_{neg} bzw. b: ΔQ_{pos}) sowie der Netto-Sedimenttransportkapazitäten (c: ΔQ_{net}) über Zeitabschnitte von 30 Jahren, für die Emissionsszenarien A1B und B1, bezogen auf den Referenzzeitraum C20 (1971-2000) an der Küste von Warnemünde
- Abb. 65: Sedimenttransportkapazität im CLM-Szenarielauf A1B-1 für das Szenario 2050 (2021-2050) sowie 2100 (2071-2100) im Vergleich zum CLM-Referenzlauf C20-3 (1971-2000), Warnemünde
- Abb. 66: Ablauf des Referenzverfahrens im Handlungsfeld „Risikominimierung in sturmflutgefährdeten Küstenbereichen“
- Abb. 67: Verteilung der Vermögenswerte in Brake
- Abb. 68: Überflutungssimulation der Sturmflut vom 29.10.1996 für die Fokusfläche Brake mit Verteilung der maximalen Überflutungshöhen sowie des Klimaszenarios (+ 55 cm)
- Abb. 69: Risikozonierung für die Fokusfläche Brake
- Abb. 70: Gesamtbilanz der Empfindlichkeitsanalyse: Anteil indifferenter, positiv oder negativ beeinflussbarer Arten, Biotope, Lebensräume
- Abb. 71: Schema der Betroffenheitsanalyse zu geschützten § 32-Biotopen
- Abb. 72: MARISCO - Adaptives Risiko- und Vulnerabilitätsmanagement an Naturschutzorten
- Abb. 73: Systemische Risiko- und Vulnerabilitätsanalyse der Biodiversität des Landkreises Barnim (Brandenburg). Einschub: Isolierte Kausalbeziehung aus dem Ursache-Wirkungsnetz
- Abb. 74: Veränderung der Länge der Badesaison für die vier Stationen der Bodenseeregion. Die Werte (Länge der Badesaison, erster pot. Badetag, letzter pot. Badetag) sind dabei jeweils über den 30-jährigen Referenz- bzw. Zukunftszeitraum gemittelt
- Abb. 75: Vulnerabilität erholungsbedeutsamer Räume in der Planungsregion Westsachsen
- Abb. 76: Szenario 1: Entwicklungsszenario für 2100 ohne Klimawandel (Klimanormalperiode 1961-1990)
- Abb. 77: Szenario 2: Entwicklungsszenario für 2100 einschließlich Klimawandel
- Abb. 78: Szenario 3: Variiertes Landnutzungsszenario für 2100 einschließlich Klimawandel
- Abb. 79: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung für das Jahr 2100
- Abb. 80: Entwicklung des Grundwasservorrats im Südraum Leipzig
- Abb. 81: Wasserstands- und Überschussswassermengenentwicklung des Haselbacher Sees im Referenzzustand und Emissionsszenario A1B
- Abb. 82: Methodik „regionale Zukünfte“ – Ablaufschema
- Abb. 83: Systemkonzept für Klimafolgenabschätzung und -anpassung
- Abb. 84: Quantitative Abbildung von Wirkzusammenhängen mittels Schlüsselprozessen und Indikatoren
- Abb. 85: Szenarios des regionalen Wandels nach Storylines
- Abb. 86: Komponenten zur Bildung Regionaler Zukünfte
- Abb. 87: Bioklimatische Belastung (PET) für einen Beispielzeitraum unter Berücksichtigung vegetationsbedingter Abkühlungseffekte
- Abb. 88: Beispielhafte Projektion der Bevölkerungsentwicklung als Teil des gesellschaftlichen Wandels
- Abb. 89: Beispielhafte Projektion des Siedlungsflächenwachstums als Teil des gesellschaftlichen Wandels

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: KlimaMORO-Regionen der Phase I und ihre vertiefenden Projekte der Phase II
- Tab. 2: Forschungsverbünde und Portale zum Klimawandel
- Tab. 3: Zeitbezug der Faktoren „Klimasignal“ und „Sensitivität“
- Tab. 4: Übersicht zu den Verfahren
- Tab. 5: Für das Screeningverfahren angewendete Faktoren
- Tab. 6: Datenressourcen im Screening-Prozess
- Tab. 7: Bewertungsmatrix im Screeningverfahren (Beispiel)
- Tab. 8: Datengrundlagen der Gefahrenhinweiskarten und Gefahrenkarten in Sachsen
- Tab. 9: Gegenwärtige und vorgeschlagene Handhabung zur Festlegung von Vorranggebieten für Hochwasserschutz/ -vorsorge
- Tab. 10: Bewertung der standörtlichen Sensitivität landwirtschaftlicher Böden gegenüber Austrocknung
- Tab. 11: Voraussichtliche Auswirkungen des Klimawandels in verschiedenen Lebensräumen in Nordrhein-Westfalen
- Tab. 12: Empfindlichkeit der Amphibien und Reptilien in Nordrhein-Westfalen gegenüber dem Klimawandel
- Tab. 13: Empfindlichkeit der Farn- und Blütenpflanzen in Nordrhein-Westfalen gegenüber dem Klimawandel
- Tab. 14: Empfindlichkeitsanalyse der FFH-Lebensraumtypen und der § 62-Biototypen
- Tab. 15: Gesamtbilanz für die Tierarten in Nordrhein-Westfalen

Literaturverzeichnis

Adger, W. N. (2006): Vulnerability. In: Global Environmental Change, vol. 16, pp. 268-281

Adger, W. N.; Arnell, N. W.; Tompkins, E. L. (2005): Successful adaptation to climate change across scales. In: Global Environmental Change, Part A, vol. 15, no. 2, pp. 77-86

Ad-hoc-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl. (KA5). Hannover

Anderson, M. P.; Woessner, W. W. (1992): Applied Groundwater Modeling. San Diego (Academic Press).

Appel, I. (2004): Methodik des Umgangs mit Ungewissheit. In: Schmidt-Aßmann, E.; Hoffmann-Riem, W. (Hrsg.): Methoden der Verwaltungsrechtswissenschaft. = Schriften zur Form des Verwaltungsrechts. Baden-Baden: 327-358

ARGEBAU (2008): Handlungsanleitung für den Einsatz rechtlicher und technischer Instrumente zum Hochwasserschutz in der Raumordnung, in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Einzelbauvorhaben (Stand: 06. März 2008). Abruf am 04.07.2013 unter: www.lawa.de/documents/ARGEBAU_Handlungsanleitung_HWS_2008-03-06_bf7.pdf

Badeck, F.-W.; Böhning-Gaese, K.; Cramer, W., Ibisch, P. L.; Klotz, S.; Kreft, S.; Kühn, I.; Vohland, K.; Zander, U. (2007): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel – Risiken und Handlungsoptionen. Naturschutz und Biologische Vielfalt 46: 149-166

BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg., 2011): Indikatoren zur Abschätzung von Vulnerabilität und Bewältigungspotentialen am Beispiel wasserbezogener Naturgefahren in urbane

n Räumen. Band 13 der Schriftenreihe „Forschung im Bevölkerungsschutz“. Abruf am 20.08.2012 unter: www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/PublikationenForschung/FiB_Band13.html

BfN – Bundesamt für Naturschutz (2007): Landschaftsplanung – Grundlage vorsorgenden Handelns. Bonn. Abruf am 10.06.2013 unter: www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/landschaftsplanung/lp-vorsorgendes-handeln.pdf

Behrens, Martin; Fartmann, Thomas; Hölzel, Norbert (2009a): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologische Vielfalt: Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. Teil 1: Fragestellung, Klimaszenario, erster Schritt der Empfindlichkeitsanalyse – Kurzprognose. Bearbeitet durch: Institut für Landschaftsökologie (ILÖK), Westfälische Wilhelms-Universität. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW)

Behrens, Martin; Fartmann, Thomas; Hölzel, Norbert (2009b): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologische Vielfalt: Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. Teil 2: Zweiter Schritt der Empfindlichkeitsanalyse – Wirkprognose. Bearbeitet durch: Institut für Landschaftsökologie (ILÖK), Westfälische Wilhelms-Universität. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW)

Behrens, Martin; Fartmann, Thomas; Hölzel, Norbert (2009c): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die biologische Vielfalt: Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. Teil 3: Vorschläge für eine Anpassungsstrategie. Bearbeitet durch: Institut für Landschaftsökologie (ILÖK), Westfälische Wilhelms-Universität. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW)

Birkmann, J.; Böhm, H. R.; Buchholz, F.; Büscher, D.; Daschkeit, A.; Ebert, S.; Fleischhauer, M.; Frommer, B.; Köhler, S.; Kufeld, W.; Lenz, S.; Overbeck, G.; Schanze, J.; Schlipf, S.; Sommerfeldt, P.; Stock, M.; Vollmer, M.; Walkenhorst, O. (2013): Glossar Klimawandel und Raumentwicklung (2., überarbeitete Fassung). = E-Paper der ARL Nr. 10. Hannover. Abruf am 05.06.2013 unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0156-73571,S.13>

Birkmann, J.; Schanze, J.; Müller, P.; Stock, M. (Hrsg., 2012): Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung – Grundlagen, Strategien, Instrumente. = E-Paper der ARL Nr. 13. Hannover

- Birkmann, J.; Fleischhauer, M. (2009): Anpassungsstrategien der Raumentwicklung an den Klimawandel: „Climate Proofing“ – Konturen eines neuen Instruments. In: Raumforschung und Raumordnung, H. 2/2009: 114-127
- Black, R.; Kniveton, D.; Skeldon, R.; Coppard, D.; Murata, A.; Schmidt-Verkerk, K. (2008): Demographics and Climate Change: Future Trends and their Policy Implications for Migration. Working Paper T-27. Development Research Centre on Mitigation, Globalisation and Poverty. University of Sussex, Sussex, UK
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Dem Klimawandel begegnen. Die Deutsche Anpassungsstrategie.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg., 2012): Verstetigung des Modellvorhabens. Workshop der Modellregionen am 11./12.09.2012. KlimaMORO-Infobrief 02/2012. Abruf am 11.02.2013 unter: <http://klimamoro.de/index.php?id=4>
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg., 2011a): Tagungsband KLIWAS. Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. 2. Statuskonferenz am 25. und 26. Oktober 2011, BMVBS, Berlin. Abruf am 05.08.2013 unter: www.kliwas.de/KLIWAS/DE/Service/Downloads/Publikationen/tagungsband_oktober_2011_berlin.pdf?__blob=publicationFile
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg., 2011b): Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis. Inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Betroffenheiten. BMVBS-Online-Publikation 21/2011. Abruf am 20.08.2012 unter: www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/ON212011.html
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg., 2010a): Hochwasserschutzfibel Objektschutz und bauliche Vorsorge. Stand: Dezember 2010
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg., 2010b): Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung. Berlin: BMVBS. (= Forschungen; 144)
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007): Territoriale Agenda der EU. Abruf am 17.07.2010 unter: www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/SW/territoriale-agenda-der-europaeischen-union.html
- Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel; vom Bundeskabinett am 31. August 2011 beschlossen. Abruf am 24.04.2013 unter: www.bmu.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/bmu-broschuere-aktionsplan-anpassung/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=1892&cHash=cd9cec881e6a0cd4d0fb631d9316a339
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel; vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. Abruf am 17.07.2010 unter: www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf
- Bunzel A.; Hanke S. (2011): Grenzen der Regelungskompetenz der Raumordnungsplanung im Verhältnis zur kommunalen Planungshoheit. Rechtsgutachten. Wiesbaden: Kommunal- und Schul-Verlag
- Büdenbender, U., Heintschel, W., Von Heinegg, P. R. (1999): Energierecht: Recht der Energieanlagen. Walter de Gruyter
- Bürklein, K. D. (2005): Grünzüge/Grünzäsuren. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL): Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: ARL: 434-436
- Durner, W., Greiving, S., Reitzig, F. (2011): Rechtliche und institutionelle Grundlagen der Raumplanung. In: ARL (Hrsg.): In: Grundriss der Raumordnung und Raumentwicklung. Hannover: 379-434
- DVGW – Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (2006): Arbeitsblatt W 101, Juni 2006. Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser.

- DWD – Deutscher Wetterdienst (2012): Karte: Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland. Mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981-2010. Abruf am 05.05.2013 unter: www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_gutachten&T15805338371147076754824gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima_Umwelt%2FKlimagutachten%2FSolarenergie%2FGlob alstr_Karten_frei_target.html
- Eckl, Hans; Raissi, Ferhad (2009): Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen. GeoBerichte 15. LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen (Hrsg.). Hannover
- Europäische Kommission (2009): Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen. Weißbuch. Brüssel
- Europäische Kommission (2000): Mitteilung der Kommission. Die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips. Brüssel, den 02.02.2000. KOM (2000) 1 endgültig. Abruf am 11.02.2013 unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2000:0001:FIN:de:PDF>
- Faßbender, K. (2012): Rechtsgutachten zu den Anforderungen an regionalplanerische Festlegungen zur Hochwasservorsorge erstattet im Auftrag des Regionalen Planungsverbands Oberes Elbtal/Osterrgebirge. Leipzig
- Franck, E.; Overbeck, G. (2012): Raumplanerische Strategien vor dem Hintergrund des Klimawandels. In: Birkmann, J.; Schanze, J.; Müller, P.; Stock, M. (Hrsg., 2012): Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung – Grundlagen, Strategien, Instrumente. E-Paper der ARL Nr. 13. Hannover
- Frank, D.; Klotz, S. (1990): Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR. 2. Aufl. Wiss.Beitr. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg 1990
- Friend, J. K.; Jessop, W. N. (1973): Entscheidungsstrategie in Stadtplanung und Verwaltung. Düsseldorf: Bertelsmann Fachverlag. = Bauwelt Fundamente; 36
- Füssel, H.-M.; Klein, R. J. T.: (2006): Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. Climatic Change 75(3), pp. 301-329
- Gawron, T.; Geyler, S.; Grüttner, A.; Kübler, A.; Kuntze, M.; Selz, E.; Strauß, C.; Warner, B. (2010): Instrumentendiskussion. Die Eignung raumwirksamer Instrumente und kooperativer Ansätze zur Verfolgung flächenpolitischer Strategien. Schriftenreihe des Forschungsverbundes KoRe-Mi Band 08, Leipzig
- GEO-NET (2013): Modelle. Abruf am 13.02.2013 unter: www.geo-net.de/index.php?id=751
- GEO-NET (2011): Leitfaden zur Berücksichtigung klimatischer Ausgleichsfunktionen in der räumlichen Planung am Beispiel der Regionen Mittlerer Oberrhein und Nordschwarzwald. Projektleiter: Trute, P.; in Zusammenarbeit mit: Gross, G., Institut für Meteorologie und Klimatologie der Univ. Hannover. Im Auftrag der Regionalverbände Nordschwarzwald und Mittlerer Oberrhein sowie der Stadt Baden. Abruf am 10.06.2013 unter: http://klimamoro.de/fileadmin/Dateien/Veroeffentlichungen/Publikatione_aus_den_Modellregionen/Mittlerer_Oberrhein_Norschwarzwald_Leitfaden.pdf
- Gerstengarbe, Friedrich-Wilhelm; Welzer, Harald (Hrsg., 2013): Zwei Grad mehr in Deutschland: Wie der Klimawandel unseren Alltag verändern wird. 2. Auflage. Fischer Taschenbuch
- Glugla, G.; Jankiewicz, P.; Rachimow, C.; Richter, K.; Fürtig, G.; Krahe, P.; Neubert W.; Klämt, A. (2003): Mittlere jährliche Abflusshöhe. Atlastafel 3.5. In: BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Hydrologischer Atlas von Deutschland, 3. Lieferung Bonn/Berlin
- Greiving, S. (2011a): Umgang mit Unsicherheit in Planung und Entscheidung. In: von Haaren, C.; Galler, C. (Hrsg. 2011): Zukunftsfähiger Umgang mit Wasser im Raum. Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL. Band. 234. Hannover: 128-134
- Greiving, S. (2011b): Methodik zur Festlegung raum- und raumplanungsrelevanter Risiken. In: Pohl, J.; Zehetmair, Swen (Hrsg., 2011): Risikomanagement als Handlungsfeld in der Raumplanung. ARL Arbeitsmaterialien Nr. 357. Hannover: 22- 30
- Greiving, S. (2004): Risk assessment and management as an Important Tool for the EU Strategic Environmental Assessment. In: DISP 157 (2004), pp. 11-17

- Greiving, S. (2002): Räumliche Planung und Risiko. Gerling Akademie Verlag. München
- Greiving, S. et al. (2011): ESPON CLIMATE – Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies. Applied Research Project 2013/1/4. Final Report. Dortmund. Abruf am 13.03.2012 unter: www.espon.eu/main/Menu_Projects/Menu_AppliedResearch/climate.html
- HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), CD-ROM, erweiterte Ausgabe. Bonn
- Hallegatte, Stéphane (2008): Strategies to adapt to an uncertain climate change 2008. In: Global Environmental Change (2009). Volume 19, numer 2, may 2009. Elsevier Ltd. Pp. 240-247
- Hattermann, Fred F.; Huang, Shaochun; Koch, Hagen; Krysanova, Valentina (2012a): Klimafolgen für den Wasserhaushalt. Präsentation im Rahmen der Konferenz „Klimafolgen für Deutschland“, 24. September 2012, HU Berlin; gehalten von Fred F. Hattermann. Abruf am 18.06.2013 unter: <http://klimafolgenkonferenz.de/programm/hattermann.pdf>
- Hattermann, F. F.; Huang, S.; Burghoff, O.; Willems, W.; Österle, H.; Büchner, M.; Kundzewicz, Z. (2012b): Modeling flood damages under climate change – a case study for Germany, Natatural Hazards and Earth System Science, in review.
- Holling, C. S. (1973): Resilience and Stability of Ecological Systems. In: Annual Review of Ecology and Systematics 4, 1-23 Stern, M.: The Economics of Climate Change – The Stern Review. Cambridge 2006
- Huang, S.; Hattermann, F. F.; Krysanova, V.; Bronstert, A. (2012): Projections of impact of climate change on riverflood conditions in Germany by combining three different RCMs with a regional hydrological model, Climatic Change, accepted.
- IBGW – Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2012): Berechnungen zum Wasserhaushalt im Südraum Leipzig unter dem Ansatz einer regionalen Klimaprojektion. Auftraggeber: Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH. Bearbeiter: Kacirek, A.; Rakete, R.; Geisler, M.
- Ibisch, P.L.; Hobson, P. (im Druck): MARISCO - Adaptive Management of vulnerability and RiSk at COnservation sites. A guidebook for risk-robust, adaptive, and ecosystem-based conservation of biodiversity. Centre for Econics and Ecosystem Management, Eberswalde
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Cambridge
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Climate Change 2007 – Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): Third Assessment Report: Climate Change 2001 (TAR). Abruf am 04.07.2013 unter: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_repohttp://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1rts.shtml#1
- Jacoby, C. (2010): Weiterentwicklung der SUP zu Climate Proofing. Vortrag auf dem 2. Querschnittsworkshop der Modellregionen am 26./27. April 2010 in Naunhof bei Leipzig
- Janssen, G. (2012): Rechtsinstrumente der Klimaanpassung. In: Birkmann, J.; Schanze, J.; Müller, P.; Stock, M. (Hrsg.): Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung – Grundlagen, Strategien, Instrumente. E-Paper der ARL Nr. 13. Hannover: 106-120
- Janssen, G. (2005): Hochwasserschutz. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL): Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: ARL: 451-456
- Jessel, B. (2008): Zukunftsaufgabe Klimawandel – der Beitrag der Landschaftsplanung. Natur und Landschaft 83 (7): 311-317
- Job, H. (2005): Tourismus. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL): Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: ARL: 1162-1169
- Kacirek, Andreas; Rakete, Regina (o.J.): Powerpoint-Präsentation „Modellgestützte Berechnung zur möglichen Entwicklung des Wasserhaushalts in der Bergbaufolgelandschaft im Südraum von Leipzig unter dem Ansatz regionaler Klimaprojektionen im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung (MORO)“.

- Klotz, S., Kühn, I. (2007): Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora Deutschlands. In: *Natura 2000 und Klimaänderungen* (Hrsg.: Balzer, S., Dieterich, M., Beinlich, B.). *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 46: 49-56
- Klamis (2013): Modellgestützte Klimaanalysen und -bewertungen für die Regionalplanung. Grundlagen für einen Leitfaden. Dokumentation im Rahmen der Projektarbeit von KLAMIS – Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen, Mai 2013
- Knieling, J.; Weick, T. (2005): Regionale Entwicklungskonzepte. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL): *Handwörterbuch der Raumordnung*. Hannover: ARL: 928-933
- Koch, Hagen; Vögele, Stefan; Hattermann, Fred F.; Huang, Shaochun; Büchner, Matthias (2012): Klimafolgen für die Energiewirtschaft. Präsentation im Rahmen der Konferenz „Klimafolgen für Deutschland“, 24. September 2012, HU Berlin; gehalten von Hagen Koch. Abruf am 18.06.2013 unter: <http://klimafolgenkonferenz.de/programm/koch.pdf>
- Korn, Horst; Epple, Cordula (2006): Biologische Vielfalt und Klimawandel – Gefahren, Chancen, Handlungsoptionen. Bundesamt für Naturschutz (BfN), BfN-Skripten 148. Bonn. Abruf am 18.06.2013 unter: www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript148.pdf
- Knieling, J.; Weick, T. (2005): Regionale Entwicklungskonzepte. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL): *Handwörterbuch der Raumordnung*. Hannover: ARL: 928-933
- Krause, Andrea; Gross, G. (Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover (2011): Teilprojekt 1: Lokaler Klimawandel. Endbericht
- Kreft, Stefan (2012): Powerpoint-Präsentation „MARISCO. Adaptives Management von Risiken und Vulnerabilität im Naturschutz“ zum KlimaMORO Phase II im Rahmen des Praxisworkshops „Methodik zur Klimafolgenbewertung“, Frankfurt/Main, 13.11.2012
- Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (2005): Hochwasserschutzkonzept im Schadensgebiet der Fließgewässer I. Ordnung, Los 4 – Weißeritz. Ergebnisbericht, Gefahrenkarten, Stadt Freital. Bearbeitet durch: Grohmann, J.; Finkenstein, J.; Niemann, W.
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 2002): Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit HQ_T an den Pegeln des Rheins. Essen
- Lautenschlager, Michael; Keuler, Klaus; Wunram, Claudia; Keup-Thiel, Elke; Schubert, Martina; Will, Andreas; Rockel, Burkhardt; Boehm, Uwe (2009): *Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.1-3, Scenario A1B run no.1-2, Scenario B1 run no.1-2, Data Stream 3: European region MPI-M/MaD*. World Data Center for Climate
- Laux, H. (2007): *Entscheidungstheorie*. 7. Auflage. Springer. Berlin
- LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2010). Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten, beschlossen auf der 139. LAWA-VV am 25./26. März 2010 in Dresden
- LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen (Hrsg., 2011): *Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen*. GeoBerichte 18. LBEG. Hannover
- Leuschner, C.; Schipka, F. (2004): *Vorstudie Klimawandel und Naturschutz in Deutschland*. Bundesamt für Naturschutz (BfN), BfN-Skripten 115. Bonn
- Luther, J.; Schanze, J. (2009): *Exploring and evaluating futures of riverine flood risk systems – the example of the Elbe River*. In: Samuels, P.; Huntington, S.; Allsop, W.; Harrop, J. (Hrsg.) *Flood Risk Management – Research and Practice*. CRC Press/Balkema, Boca Raton/Leiden: 1753-1763
- Mai, S., Elsner, A., Meyer, V.; Zimmermann, C. (2004): *Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste (KRIM), Teilprojekt 2 – Klimaänderung und Küstenschutz*. Endbericht. Universität Hannover. Abruf am 17.06.2013 unter: www.krim.uni-bremen.de/endberichte/endbericht_tp2.pdf
- MELUR – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2013): *Pressemitteilung des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume „Erster Klimadeich: Küstenschutzminister Robert Habeck vergibt den Bauauftrag für Deichverstärkung Nordstrand Alter Koog“ vom 28.01.2013*. Abruf am 10.06.2013 unter:

www.schleswig-holstein.de/MELUR/DE/Service/Presse/PI/2013/0113/MELUR_130128_Deichverstaerkung.html

MELUR – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2012): Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein. Fortschreibung 2012. Vorläufige Endfassung. Abruf am 17.06.2013 unter: www.schleswig-holstein.de/MELUR/DE/Service/Presse/PI/PDF/2012/vorl_Generalplan_Kuestenschutz__blob=publicationFile.pdf

Minnich, Lukas (2010): Gesundheitliche Folgen des Klimawandels bei erhöhter Wärmebelastung in der Region Stuttgart – Eine räumliche Vulnerabilitätsuntersuchung. Diplomarbeit, Universität Stuttgart. Fakultät 2: Bau- und Umweltingenieurwesen. Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung

Mitschang, S. (2011): Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel. Expertise zur Verwertung der Ergebnisse des Modellvorhabens KlimaMORO. Potsdam

MKRO – Ministerkonferenz für Raumordnung (2013): Umlaufbeschluss vom 06.02.2013. Raumordnung und Klimawandel. Abruf am 10.05.2013 unter: www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/SW/ministerkonferenz-fuer-raumordnung-mkro.html?nn=35784

MKRO – Ministerkonferenz für Raumordnung (2012): Bericht des Hauptausschusses der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) „Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien in Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels“ (Kap. 3.2: 23-27)

MKRO – Ministerkonferenz für Raumordnung (2009): Beschluss der 36. Ministerkonferenz für Raumordnung am 10. Juni 2009 in Berlin „Raumordnung und Klimawandel“. Berlin

MKRO – Ministerkonferenz für Raumordnung (2000): Handlungsempfehlungen zum vorbeugenden Hochwasserschutz

Möbus, H.-M.; Ruch, C.; Starke, C. (2009): Ingenieurgeologische Gefahrenhinweiskarten – Erforderliche Mindeststandards aus Sicht der Staatlichen Geologischen Dienste. 17. Tagung für Ingenieurgeologie und Forum „Junge Ingenieurgeologen“: 1-4

MLUVMV – Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (2009): Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, Übersichtsheft Grundlagen, Grundsätze, Standortbestimmung und Ausblick. Abruf am 17.06.2013 unter: http://service.mvnet.de/_php/download.php?datei_id=10879

MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2007): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Wege zu einer Anpassungsstrategie.

MUNLV – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2006): Ermittlung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten. Im Auftrag des MUNLV erarbeitet von: Klaus Flachmeier, StAfUA OWL; Dr. Michael Leismann (Obmann), BR Arnsberg; Bernd Mehlig, LUA; Rolf-Detlev Paul, StUA Köln; Angelika Schmiescheck, BR Köln; Martin Schrick, StUA Lippstadt

Musall, Mark (2011): Mehrdimensionale hydrodynamisch-numerische Modelle im praxisorientierten und operativen Einsatz. Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs von der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Dissertation

Müller, Udo; Engel, Nicole; Heidt, Lena; Schäfer, Walter; Kunkel, Ralf; Wendland, Frank; Röhm, Herbert; Elbracht, Jörg (2012): Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. Geoberichte 20. LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.). Hannover

Nakićenović, N.; Alcamo, J.; Davis, G.; de Vries, B.; Fenhann, J.; Gaffin, S.; Gregory, K.; Grübler, A.; Jung, T.Y.; Kram, T.; La Rovere, E.L.; Michaelis, L.; Mori, S.; Morita, T.; Pepper, W.; Pitcher, H.; Price, L.; Raihi, K.; Roehrl, A.; Rogner, H.-H.; Sankovski, A.; Schlesinger, M.; Shukla, P.; Smith, S.; Swart, R.; van Rooijen, S.; Victor, N.; Dadi, Z. (2000): Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 599pp

Neuß, M.; Dörhöfer, G. (2009): Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen. Geofakten 8, 3. Auflage. LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.). Hannover

Niedersächsische Regierungskommission Klimaschutz (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz) (2012): Empfehlung für eine niedersächsische Klimaschutzstrategie. Abruf am 11.02.2013 unter: www.umwelt.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=2237&article_id=103147&psmand=10

Nielinger, Jost; Kost, Werner-Jürgen; Hasel, Markus (2013): Modellgestützte Klimaanalyse und -bewertung für die Regionalplanung in Hessen. Grundlagen am Bsp. Marburg. Forschungsvorhaben „klamis“: Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen. Abruf am 14.08.2013 unter: www.moro-klamis.de/downloads/iMA-klamis-Marburg-Bericht-12-09-04-S.pdf

NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2007): Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen - Festland. Norden/Bremen. (= Küstenschutz; Band 1). Abruf am 17.06.2013 unter: http://umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/GPK_Hauptteil.pdf

Overbeck, G.; Hartz, Andrea; Fleischhauer, M. (2008): Ein 10-Punkte-Plan „Klimaanpassung“. Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel im Überblick. In: BBR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Informationen zur Raumentwicklung, Heft 5/2006

Parry, M. L.; Canziani, F.; Palutikof, L. P.; van der Linden, P. J.; Hanson, C. (Eds. 2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.

PIK – Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (Hrsg., 2012): Konferenz „Klimafolgen für Deutschland“. 24. September 2012, Humboldt-Universität zu Berlin

Projektteam Biotopverbund, Regierungspräsidium Gießen (2011): Entwicklungsstrategien für den Biotopverbund im Grünland unter Berücksichtigung des Klimawandels

Pütz, M.; Kruse, S.; Butterling, M. (2011): Bewertung der Klimawandel-Fitness der Raumplanung: Ein Leitfaden für PlanerInnen. Projekt CLISP, ETC Alpine Space Programm

RADOST – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste (2013a): Verknüpfung der Simu-

lationsmodelle in RADOST. Abruf am 17.06.2013 unter: <http://klimzug-radost.de/projekt/info/module/natur-und-ingenieurwissenschaftliche-forschung/verknuepfung-simulationsmodelle>

RADOST – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste (2013b): Strömung und Seegang in kleinräumigen Küstenbereichen / Sedimenttransport und Morphologie. Abruf am 17.06.2013 unter: <http://klimzug-radost.de/projekt/info/module/natur-und-ingenieurwissenschaftliche-forschung/hydrodynamik-und-sedimenttransporte/stroemung-seegang-klein>

RADOST – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste (2013c): Hydrodynamik und Sedimenttransporte. Abruf am 17.06.2013 unter: <http://klimzug-radost.de/projekt/info/module/natur-und-ingenieurwissenschaftliche-forschung/hydrodynamik-und-sedimenttransporte>

Regionaler Planungsverband Oberes Elbtal/Osterzgebirge (2013): Endbericht MORO „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ Phase II. Modellvorhaben der Raumordnung: Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel (KlimaMORO – Phase II). Entwurf vom 15.04.2013

Regionaler Planungsverband Vorpommern (2011): Raumentwicklungsstrategie Anpassung an den Klimawandel und Klimaschutz in der Planungsregion Vorpommern. Ergebnis des Modellvorhabens „Anpassung an den Klimawandel und Klimaschutz in der Planungsregion Vorpommern“, unterstützt mit Mitteln des Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO). Greifswald. Abruf am 17.06.2013 unter: www.klimamoro.de/fileadmin/Dateien/Veroeffentlichungen/Publikatione_aus_den_Modellregionen/Vorpommern_Broschüre_Raumentwicklungsstrategien_web.pdf

Regionalverband Neckar-Alb (2013): Planentwurf 2013 für die Beteiligung gemäß § 12 Abs. 2 und Abs. 3 sowie Abs. 5 Landesplanungsgesetz. Abruf am 06.05.2013 unter: <http://rvna.de/Lde/Startseite/Regionalverband/Planentwurf+2013.html>

Ritter, E.-H. (2005): Freiraum/Freiraumschutz. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL): Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover: ARL: 336-340

- Rockel, B.; Will, A.; Hense, A. (eds., 2008): The Regional climate modelling with COSMO-CLM (CCLM). In: Meteorologische Zeitschrift, Vol. 17, 2008
- Rogall, M. & Möbus, H.-M. (2005): Hangstabilitätskarte Mittelmosel 1 : 20 000 Bereich Bernkastel-Kues.- Karte mit Erläuterungen, 30 S., 10 Abb., Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, Mainz
- Sara, M. N. (1993): Standard Handbook for Solid and Hazardous Waste Facility Assessments. Boca Raton (Lewis)
- Sauer, A.; Schanze, J. (2012): Fallstudie Stadtregion Dresden (= Kap. 6.3). In: Birkmann, J., Schanze, J., Müller, P.; Stock, M. (Hrsg.): Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung. Grundlagen, Strategien, Instrumente. E-Paper der ARL Nr. 13. Hannover: 162–178
- Sauer, A.; Schwarzak, M.; Kretschmer, O.; Schanze, J. (2011): Entwurf alternativer Raumnutzungsprojektionen (GIS-Datensätze, Karten) zur Abstimmung im Regionalforum (Endfassung). REGKLAM-Ergebnisbericht (unveröffentlicht)
- Schanze, J.; Daschkeit, A. (2013): Risiken und Chancen des Klimawandels. In: Birkmann, J.; Vollmer, M.; Schanze, J. (Hrsg.) Raumentwicklung im Klimawandel. Herausforderungen für die Planung. (= Forschungsberichte der ARL 2) Hannover: ARL: 69–89
- Schanze, J.; Sauer, A. (2012a): Powerpoint-Präsentation „Verwendung ‚regionaler Zukünfte‘ in der räumlichen Planung – Aufgabenstellung, Lösungsansatz und Ergebnisse“ zum KlimaMORO Phase II im Rahmen des Praxisworkshops „Methodik zur Klimafolgenbewertung“, Frankfurt/Main, 13.11.2012
- Schanze, J.; Sauer, A. (2012b): Abschätzung möglicher Folgen des Klimawandels auf stadtreregionaler Ebene (= Kap. 2.1). In: Birkmann, J., Schanze, J., Müller, P.; Stock, M. (Hrsg.): Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung. Grundlagen, Strategien, Instrumente. E-Paper der ARL Nr. 13. Hannover: 15–28
- Scherzberg, A. (1993): Risiko als Rechtsproblem. In: Verwaltungsarchiv 84 (1993): 484–513
- Schlamkow, C.; Dreier, N. (2012a): Strömung und Seegang in kleinräumigen Küstenbereichen. In: Beese, K., Blobel, D.; Martinez, G. (Hrsg.): 3. RADOST Jahresbericht, April 2011 - März 2012, (= RADOST-Berichtsreihe: Bericht Nr: 14): 59-60. Abruf am 17.06.2013 unter: http://klimzug-radost.de/sites/default/files/Radost_Bericht_III_2012_web_0.pdf
- Schlamkow, C.; Dreier, N. (2012b): Sedimenttransport und Morphologie. In: Beese, K., Blobel, D.; Martinez, G. (Hrsg.): 3. RADOST Jahresbericht, April 2011 - März 2012, (= RADOST-Berichtsreihe: Bericht Nr: 14): 61. Abruf am 17.06.2013 unter: http://klimzug-radost.de/sites/default/files/Radost_Bericht_III_2012_web_0.pdf
- Schlamkow, C.; Dreier, N. (2011a): Strömung und Seegang in kleinräumigen Küstenbereichen. In: Beese, K., Blobel, D.; Martinez, G. (Hrsg.): 2. RADOST Jahresbericht, April 2010 - März 2011, (= RADOST-Berichtsreihe: Bericht Nr: 3): 60-66. Abruf am 17.06.2013 unter: http://klimzug-radost.de/sites/default/files/Radost_Bericht_II_2011_web.pdf
- Schlamkow, C.; Dreier, N. (2011b): Sedimenttransport und Morphologie. In: Beese, K., Blobel, D.; Martinez, G. (Hrsg.): 2. RADOST Jahresbericht, April 2010 - März 2011, (= RADOST-Berichtsreihe: Bericht Nr: 3): 66-67. Abruf am 17.06.2013 unter: http://klimzug-radost.de/sites/default/files/Radost_Bericht_II_2011_web.pdf
- Schlamkow, C. (2010): Strömung und Seegang in kleinräumigen Küstenbereichen. In: Beese, K., Blobel, D., Martinez, G.; Schmidt, S. (Hrsg.): 1. RADOST Jahresbericht, Juli 2009 - April 2010, (= RADOST-Berichtsreihe: Bericht Nr: 1): 43-45. Abruf am 17.06.2013 unter: http://klimzug-radost.de/sites/default/files/110627_Radost_Jahresber_web.pdf
- Schlünzen, K.H. 1990: Numerical studies on the inland penetration of sea breeze fronts at a coastline with tidally flooded mudflats, Contr. Atm. Physics, 63. pp. 254-256
- Schmidt, C.; Seidel, A.; Kolodziej, J.; Klama, K.; Schottke, M.; Berkner, A.; Friedrich, M.; Chmielecki, S. (Hrsg. 2011): Vulnerabilitätsanalyse Westsachsen. Bearbeitet durch TU Dresden im Auftrag des Regionalen Planungsverbandes Leipzig-West Sachsen. Dresden/Leipzig, Mai 2011. Abruf am 07.05.2013 unter: www.rpv-west Sachsen.de/projekte/moro/klimamoro-phase-i/ergebnisse.html
- Schmidt-Eichstaedt, G.; Reitzig, F.; Habermann-Nieß, K.; Klehn, K. (2001): Eigenentwicklung in ländlichen Siedlungen als Ziel der Raumordnung. Rechtsfragen, praktische Probleme und ein Lösungsvorschlag. Hannover

- Schneiderbauer, S.; Zebisch, M.; Pedoth, L.; Greiving, S.; Fleischhauer, M.; Lückenkötter, J.; Lindner, C. (2012): Wirkungsketten zu Klimawirkungen in den Sektoren der Deutschen Anpassungsstrategie. Internes Arbeitspapier zum Projekt „Netzwerk Vulnerabilität“. Bozen, Dortmund
- Schottke, Maja (Regionaler Planungsverband Leipzig-West Sachsen) (2012): Powerpoint-Präsentation zum Thema „KlimaMORO Phase II. Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel. Leipzig-West Sachsen“ im Rahmen des Praxisworkshops „Methodik zur Klimafolgenbewertung“, Frankfurt/Main, 13.11.2012
- Seifert, Peter (2013): Bericht zum Workshop „Anpassung an die Gefahr extremer Hochwasser – neue Wege in der Regionalplanung?“ am 29.11.2012 in Dresden, unveröffentlicht.
- Seifert, Peter (2012a): Mit Sicherheit wächst der Schaden? Überlegungen um Umgang mit Hochwasser in der räumlichen Planung. Hrsg.: Geschäftsstelle des Regionalen Planungsverbandes Oberes Elbtal/Osterzgebirge
- Seifert, Peter (2012b): Powerpoint-Präsentation „Gefahrenkarten und Gefahrenhinweiskarte als Grundlage für die Bewertung der Hochwasserbetroffenheit in der Raumplanung“ zum KlimaMORO Phase II im Rahmen des Praxisworkshops „Methodik zur Klimafolgenbewertung“, Frankfurt/Main, 13.11.2012
- Seifert, Peter (2012c): Powerpoint-Präsentation „Anpassung an die Gefahr extremer Hochwasser – neue Wege in der Regionalplanung“ zum KlimaMORO Phase II im Rahmen des Workshops „Extremwasservorsorge“, Regionaler Planungsverband Oberes Elbtal/Osterzgebirge. Dresden, 29.11.2012
- SGD – Staatlich Geologische Dienste (2008): Entwurf 26.05.2008, unveröffentlichtes Dokument
- Stock, M.; Walkenhorst, O. (2012): Einführung: Klimawandel, Auswirkungen und Unsicherheiten. In: Birkmann, J.; Schanze, J.; Müller, P.; Stock, M. (Hrsg.): Anpassung an den Klimawandel durch räumliche Planung – Grundlagen, Strategien, Instrumente. E-Paper der ARL Nr. 13. Hannover: 1-14
- Stock, M. (Hrsg., 2005): KLARA – Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung. Potsdam: PIK. (= PIK-Report; No. 99). Abruf am 14.03.2013 unter: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14503/>
- Umweltbundesamt (Hrsg., 2010): WASKlim. Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft. Bearbeitet durch Scherzer, Jörg (Projektleitung); Grigoryan, Gayane; Schultze, Bernd; Stadelbacher, Veit; Niederberger, Jörg; Pöhler, Hannaleena (UDATA Umweltschutz und Datenanalyse, Neustadt/Wstr.); Disse, Markus, Jacoby, Christian; Heinisch, Timo (Universität der Bundeswehr München); DIALOGIK gGmbH, Stuttgart. Im Auftrag des Umweltbundesamtes
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2008): Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2003): Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5
- Weis, M.; Siedentop, S.; Minnich, L. (2011): Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart erstellt im Rahmen des Projektes KlimaMORO „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Auftrag des Verbands Region Stuttgart
- Wilke, Christian; Bachmann, Jutta; Hage, Gottfried; Heiland, Stefan (2011): Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 109. Bonn-Bad Godesberg
- Wixwat, Tina (2009): Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen. Geoberichte 12. LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.). Hannover
- ZDGG – Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (2010): Band 161 - 2010, Heft 2
- Zimmermann, Thomas (2011): Reduktion der von Hochwassern ausgehenden Gefahren durch regionalplanerische Festlegungen? In: Growe, Anna; Heider, Katharina; Lamker, Christian; Paßlick, Sandra; Terfrüchte, Thomas (Hrsg.): Polyzentrale Stadtregionen – Die Region als planerischer Handlungsraum. 14. Junges Forum der ARL, 22. bis 24. Juni 2011 in Dortmund. = Arbeitsberichte der ARL 3: Hannover: 157-169

Gesetzestexte

BVerfG, Beschluss des Ersten Senats - 3. Kammer - vom 28. Februar 2002 - 1 BvR 1676/01 – DVBl 2002, 614

BVerfG, Beschl. v. 07.10.1980 – 2 BvR 584, 598, 599, 604/76-, BVerfGE 56, S. 298 ff. (312 ff)

BVerwG, Urt. v. 18.09.2003 – 4 CN 20/02 –, NVwZ 2004, S. 226 ff (226 f), Urt. v. 15.05.2003 – 4 CN 9/01 –, BauR 2003, S. 1679 ff (1680 f); Runkel 2009, § 3 Rnrn. 44-47)

BVerwG, Urteil v. 12.09.1980. BayVBl 1980: 759. Abruf am 04.07.2013 unter: <http://dejure.org/dienste/vernetzung/rechtsprechung?Gericht=BVerwG&Datum=12.09.1980&Aktenzeichen=4%20C%2089.77>

Gesetz über die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK-Gesetz – GAKG). Abruf am 06.08.2013 unter: www.gesetze-im-internet.de/agrstruktg/BJNR015730969.html

NatSchG BW – Gesetz zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft Baden-Württemberg (Naturschutzgesetz - NatSchG) Vom 13. Dezember 2005. Abruf am 05.08.2013 unter: www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=NatSchG+BW <http://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=NatSchG+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true>

Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Abruf am 04.07.2013 unter: http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-im-port/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hwrm_rl.pdf

Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (ABl. L 257 vom 10.10.1996, S. 26). Abruf am 06.08.2013 unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0061:20060224:DE:PDF>

ROG – Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist. Abruf am 06.06.2013 unter: www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/rog_2008/gesamt.pdf

Runkel, P. (2009): Kommentierung zu §§ 1, 4, 5 ROG. In: Bienenberg, W.; Runkel, P.; Spannowsky, W.; Reitzig, F.; Schmitz, H., Raumordnungs- und Landesplanungsrecht des Bundes und der Länder, Bd. 2, Komm., Lfg. 1/09, Berlin: 1-18, 1-49, 1-250, 1-48

VerfGH Nordrhein-Westfalen, 26.08.2009 - VerfGH 18/08. Abruf am 04.07.2013 unter: <http://dejure.org/dienste/vernetzung/rechtsprechung?Gericht=VerfGH%20Nordrhein-Westfalen&Datum=26.08.2009&Aktenzeichen=VerfGH%2018/08>

Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) geändert worden ist. Abruf am 04.07.2013 unter: www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg_2009/gesamt.pdf

Allgemeine Websites

Website DWD:

- www.dwd.de/cdc (Climate Data Center)
- www.dwd.de/klima (Klima aktuell)
- www.dwd.de/klimawandel (Klimawandel)
- www.dwd.de/klimaatlas
(u.a. Klimamodelle/Perzentilkarten)
- www.dwd.de/hydrometeorologie (Hydrometeorologie)
- www.deutscher-klimaatlas.de (Deutscher Klimaatlas)
- www.dwd.de/globalstrahlung (Globalstrahlung – Karten)
- www.jenkas.de/index.php/ergebnisse/dwd-expertise;
www.dwd.de/klimaforschung (Gutachten DWD)
- www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_klima_umwelt&T76004gsbDocumentPath=Content%2FOeffentlichkeit%2FKU%2FKlimaservices%2FKlimaservices_Teaser.html&_state=maximized&_windowLabel=T76004&lastPageLabel=dwdwww_klima_umwelt;
- www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_start&T99803827171196328354269gsbDocumentPath=Navigations%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FZWEK_RR_node.html%3F_nnn%3Dtrue (Klimaservices)
- www.dwd.de/windkarten (Windenergienutzung)

Website Climate Service Center:

www.climate-service-center.de

Website FITNAH – Klimadaten. Abruf am 16.04.2013 unter:

www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=11

Website Klima-und-Raum. Abruf am 19.06.2013 unter:

www.klima-und-raum.org/glossary/124/letterk

Website NI-VORIS – Niedersächsisches Vorschrifteninformationssystem. Abruf am 11.06.2013 unter: www.nds-voris.de/jportal/

www.nds-voris.de/jportal/?jsessionid=A154F588D9084C4FF71AC0D799E33B58.jp35?quelle=jlink&query=VVND-282000-MU-20080911&psml=bsvorisprod.psml&max=true#ivz4

Website Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz. Abruf am 11.06.2013 unter:

www.umwelt.niedersachsen.de/hochwasser_kuestenschutz/UESG/erlaeuterungen/96011.html

Websites zu den KlimaMORO-Regionen der Phase I und ihren vertiefenden Projekten der Phase II

Modellregionen der Phase I und vertiefende Projekte der Phase II	Link zur Website
Vorpommern: Meeresspiegelanstieg und Konsequenzen für die Siedlungs- und Landnutzungsentwicklung des Küstensaums	www.rpv-vorpommern.de/projekte/einzelprojekte/klimawandel-und-klimaschutz.html
Westsachsen: Wasserhaushaltsproblematik in Bergbaufolgelandschaften	www.rpv-west Sachsen.de/projekte/moro/klimamoro-phase-i.html
Oberes Elbtal/Osterzgebirge: Weiterentwicklung der Hochwasservorsorge im Siedlungsbestand und planerischer Schutz des Oberbodens vor Wassererosion	www.rpv-elbtalosterz.de
Mittel- und Südhessen: Siedlungsklima in der Regionalplanung durch Ausweisung von Vorbehaltsgebieten für besondere Klimafunktionen	www.moro-klamis.de
Mittlerer Oberrhein/Nordschwarzwald: Einbringen von Anpassungsstrategien zum Siedlungsklima in die kommunale Planung	www.region-karlsruhe.de/kooperationen/regionalverbaende/regionalverband-noerdlicher-schwarzwald.html
Region Stuttgart: Vorsorgender Hochwasserschutz, vorsorgender Grundwasserschutz und Wasserversorgung	www.region-stuttgart.org/aufgaben-und-projekte/regionalplanung/projekte/klimamoro
Neumarkt: Zusammenführung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen durch planerische Festlegungen in Regionalplan und kommunalen Bauleitplänen	www.klimaanpassung-landkreis-neumarkt.de
Havelland-Fläming (nur Phase I)	www.havelland-flaeming.de

Websites zu den Forschungsverbänden und Portalen zum Klimawandel

Forschungsverbände	
KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten	
dynaklim – Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region (Ruhrgebiet)	www.dynaklim.de
INKA BB – Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin	www.inka-bb.de
KLIMZUG-NORD – Strategische Anpassungsansätze zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg	http://klimzug-nord.de
KLIMZUG-Nordhessen – Klimaanpassungsnetzwerk für die Modellregion Nordhessen	www.klimzug-nordhessen.de
nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten	www.nordwest2050.de
RADOST – Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste	http://klimzug-radost.de
REGKLAM – Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden	www.regklam.de

Forschungsprogramme des BBSR		
Urbane Strategien zum Klimawandel – KlimaExWoSt: Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel (Forschungsschwerpunkt I)		http://stadt-und-klimawandel.de/forschungsschwerpunkt_1
Urbane Strategien zum Klimawandel – KlimaExWoSt: Immobilien- und wohnungswirtschaftliche Strategien und Potenziale zum Klimawandel (Forschungsschwerpunkt II)		http://stadt-und-klimawandel.de/forschungsschwerpunkt_2
Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel – KlimaMORO, Phasen I und II		www.klimamoro.de
Klimazwei – Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen		www.klimazwei.de
KLIFF-IMPLAN – Implementierung von Ergebnissen aus KLIFF in der räumlichen PLANung in Niedersachsen		http://ibumap.uni-oldenburg.de/implan/
KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen		www.kliwas.de
„Netzwerk Vulnerabilität“ – ein Netzwerk von Bundesoberbehörden, das zur Umsetzung der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ sowie des „Aktionsplans Anpassung“ beiträgt		http://netzwerk-vulnerabilitaet.de
Portale – Klimainformationssysteme/Klimamonitoring in Deutschland und Europa		
Deutscher Wetterdienst (DWD)		
Deutsches Klimaportal		www.deutschesklimaportal.de
Deutscher Klimaatlas		www.dwd.de/klimaatlas
WEBWERDIS		noch nicht frei zugänglich
Regionaler Klimaatlas Deutschland (Helmholtz-Gemeinschaft)		www.regionaler-klimaatlas.de
Climate Service Center (Helmholtz-Gemeinschaft)		www.climate-service-center.de
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. und WetterOnline Meteorologische Dienstleistungen GmbH		www.klimafolgenonline.com
Stadtklimalotse (Arbeitsplattform des Forschungsfeldes StadtKlima ExWoSt)		www.stadtklimalotse.net
ReKIS – Regionales Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen		www.rekis.org
kwis-rlp – Klimawandelinformationssystem Rheinland-Pfalz		www.kwis-rlp.de
KlimLandRP – Forschungsprojekt Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz		www.klimlandrp.de
Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen		www.klimawandel-rlp.de
CLIMATE-ADAPT – European Climate Adaptation Platform		www.climate-adapt.eea.europa.eu
weADAPT – Collaborating on Climate Adaption (online open space wiki)		http://weadapt.org/
Plattform Klimawandel und Raumentwicklung (Akademie für Raumforschung und Landesplanung)		www.klima-und-raum.org
Portal des BBSR zum Thema Klimaanpassung		www.klimastadtraum.de

Websites zu den Datenressourcen im Screening-Prozess

MKRO-Handlungsfeld	Faktor	Anbieter und Webadressen:
1. Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten	Klimasignal	LISFLOOD-Modell des Joint Research Center (JRC): http://floods.jrc.ec.europa.eu/lisflood-model
	Klimasignal	DWD (KOSTRA – Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung): www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU4/HM/Neuigkeiten/grundlagenbericht_.pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/grundlagenbericht_.pdf#page=26
	Sensitivität	KlimaMORO-Projekt klamis – Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen: www.moro-klamis.de
2. Küstenschutz	Klimasignal	KRIM-Projekt – Klimawandel und präventives Risiko- und Küstenschutzmanagement an der deutschen Nordseeküste: www.krim.uni-bremen.de
3. Schutz der Berggebiete (insbesondere Alpenraum)	Klimasignal	Bayerische Plattform Naturgefahren – Web-GIS-Portal zu Naturgefahren in den bayerischen Berggebieten: www.naturgefahren.bayern.de
4. Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen	Klimasignal	Deutscher Klimatlas – Klimaatlas des Deutschen Wetterdienstes zu den wichtigsten Klimaparametern: http://deutscher-klimaatlas.de
5. Regionale Wasserknappheiten	Klimasignal	Europäische Umweltagentur (EEA), (Water exploitation index) – Wasser-Nutzungsindex: www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-exploitation-index Umweltbundesamt (Karten zur klimatischen Wasserbilanz 2010: 32ff): www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4019.pdf?page=36
6. Veränderungen im Tourismusverhalten	Klimasignal	JRC (PESETA-Projekt: Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis): http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC55392.pdf#page=15
	Sensitivität	Deutscher Tourismusverband (DTV) – Mediendatenbank: www.deutschertourismusverband.de/fileadmin/Mediendatenbank/PDFs/Zahlen-Daten-Fakten%202011.pdf#page=8
7. Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen	Sensitivität	Veröffentlichung des BfN „Biologische Vielfalt und Klimawandel“: www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript148.pdf

Weitergehende Informationen zu den Beispielen in Kap. 5.3

5.3.1 Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten

Oberes Elbtal/Osterzgebirge

KlimaMORO in der Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge:
www.rpv-elbtalosterz.de/index.php?id=klimafit

Gefahrenhinweiskarten in Sachsen:
www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8845.htm

Gefahrenkarten für Ortslagen in Sachsen:
www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/8843.htm

5.3.2 Regionale Wasserknappheiten

Klimafolgenbewertung für den regionalen Grund- und Bodenwasserhaushalt des Landes Niedersachsen

Land Niedersachsen: www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=615&article_id=857&psmand=4

Analyse der Betroffenheit von Landnutzungen gegenüber Wasserknappheit in der Planungsregion Westsachsen

Publikationen der KlimaMORO-Region Westsachsen:
www.klimamoro.de/index.php?id=40

Regionale Wasserknappheiten als Querschnittsthema in komplexen Fragestellungen der Klimafolgenbewertung

Konferenz „Klimafolgen für Deutschland“ 2012:
www.klimafolgenkonferenz.de

PIK – SWIM: www.pik-potsdam.de/research/climate-impacts-and-vulnerabilities/models/swim/swim-description

PIK – Flagship iCROSS: www.pik-potsdam.de/research/climate-impacts-and-vulnerabilities/research/rd2-flagship-projects/rias-ic-comparative-regional-impact-studies-for-industrialised-countries

PIK – Publikationen: www.pik-potsdam.de/research/climate-impacts-and-vulnerabilities/publications

Helmholtz-Gemeinschaft – Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: www.glowa-elbe.de/pdf/publications/Inhalt_STR_10_2010.pdf

5.3.3 Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsbereichen (bioklimatische Belastungsgebiete)

KlimaMORO Region Stuttgart, Gesundheitliche Folgen des Klimawandels bei erhöhter Wärmebelastung in der Region Stuttgart

KlimaMORO-Region Stuttgart:
www.klimamoro.de/index.php?id=28

Vulnerabilitätsbericht der Region Stuttgart:
www.klimamoro.de/fileadmin/Dateien/Veroeffentlichungen/Publikatione_aus_den_Modellregionen/Stuttgart_Vulnerabilitaetsbericht_web.pdf

klamis – Klimaanpassung in Mittel- und Südhessen

Überblick über das KlimaMORO-Vorhaben klamis:
www.moro-klamis.de

Leitfaden „Modellgestützte Klimaanalysen und -bewertungen für die Regionalplanung“:
www.moro-klamis.de/downloads.html

5.3.4 Schutz der Berggebiete (v.a. Alpenraum) – Anpassung an geogene Naturgefahren

Weitergehende Informationen

www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/gefahrenhinweiskarten/index.htm

www.bis.bayern.de

www.lfu.bayern.de/wasser/ian/index.htm

www.planat.ch/de/wissen/

www.naturgefahren.at

5.3.5 Küstenschutz

Beispiel Küstenerosion: RADOST

RADOST, Hydrodynamik und Sedimenttransporte:
<http://klimzug-radost.de/projekt/info/module/natur-und-ingenieurwissenschaftliche-forschung/hydrodynamik-und-sedimenttransporte>

Beispiel Sturmflut: KRIM

KRIM, Teilprojekt Küstenschutz:
www.krim.uni-bremen.de/tpkuestenschutz.html

Weitergehende Informationen

Küstenschutz Schleswig-Holstein:
www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/WasserMeer/09_KuestenschutzHaefen/ein_node.html

Küstenschutz Niedersachsen:
www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=7937&article_id=45612&psmand=26

Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern:
www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/lm/Themen/Wasser/Kuestenschutz/index.jsp

Küstenschutzbedarf an der Nord- und Ostseeküste:
www.kuestenschutzbedarf.de

RPV Vorpommern, KlimaMORO-Modellregion:
www.klimamoro.de/index.php?id=21

RPV Westmecklenburg, Vulnerabilitätsanalyse:
www.westmecklenburg-schwerin.de/de/projekte/klimawandel/klimawandel-in-westmecklenburg-daten-analyse/

5.3.6 Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen

Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen (Behrens/Fartmann/Hölzel 2009a-c):

www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/studie_iloek/Klimawandel_Biologische_Vielfalt_1_Internet.pdf

www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/studie_iloek/Klimawandel_Biologische_Vielfalt_2_Internet.pdf

www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/studie_iloek/Klimawandel_Biologische_Vielfalt_3_Internet.pdf

INTERREG IVB-Projekt „HABIT-Change“

www.landschaft.tu-berlin.de/menue/forschung

www.habit-change.eu

KlimaMORO-Region Stuttgart

www.region-stuttgart.org/aufgaben-und-projekte/regionalplanung/projekte/klimamoro/

KlimaMORO-Region Mittelhessen

<http://www.klimamoro.de/index.php?id=40%0D>

MARISCO-Ansatz der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde

www.centreforeconomics.org

www.hnee.de

5.3.7 Veränderungen im Tourismusverhalten

Weitergehende Informationen

RPV Westsachsen, KlimaMORO-Modellregion:
www.rpv-westsachsen.de/projekte/moro/klimamoro-phase-i.html

KLARA Baden-Württemberg:
www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14503/

INKA BB, Tourismus bzw. Regionalplanung:
<http://project2.zalf.de/inkabb/tourismus> bzw. <http://project2.zalf.de/inkabb/regionalplanung>

RPV Westmecklenburg, Vulnerabilitätsanalyse:
www.westmecklenburg-schwerin.de/de/projekte/klimawandel/klimawandel-in-westmecklenburg-daten-analyse/

Matzarakis/Tinz: Tourismus an der Küste sowie in Mittel- und Hochgebirge: Gewinner und Verlierer: www.klimazwei.de/Portals/0/warnsignal_tourismus_2008.pdf

Bildquellen

Wir bedanken uns für die Überlassung von Bildmaterial. Die Bearbeiter haben versucht, alle Inhaber von Urheberrechten zu kontaktieren. Bei eventuellen Versäumnissen bitten wir, Kontakt mit den Bearbeitern aufzunehmen. Alle Rechte verbleiben bei den Urhebern.

Die Quellen für Abbildungen und Tabellen sind den jeweiligen Abbildungs- und Tabellenverweisen zu entnehmen.

Zudem wurden folgende Fotos zur Verfügung gestellt:

Titelseite: BBK 2011: 558 (Karte), Fabian Dosch (Foto rechts), iStockphoto (Foto links)

S. 7: agl, Saarbrücken

S. 9: Peter Seifert (RPV Oberes Elbtal/Osterzgebirge)

S. 30: Deutscher Wetterdienst

S. 58: Dirk Michler; verändert

S. 68: Fabian Dosch

S. 82: iStockphoto

S. 102: Dirk Michler

S. 116: agl, Saarbrücken

S. 124: www.fishmaps.de

S. 136: agl, Saarbrücken

S. 148: Simon Spöck, Schatzberg-Haus Auffach



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Invalidenstraße 44

D-10115 Berlin

Kontakt:

Christian Pech | christian.pech@bmvbs.bund.de

Gina Siegel | gina.siegel@bmvbs.bund.de

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Deichmanns Aue 37

D- 53179 Bonn

Kontakt:

Dr. Fabian Dosch | fabian.dosch@bbr.bund.de

Forschungsassistenz und Bearbeitung

agl | Hartz • Saad • Wendl

angewandte geographie, landschafts-, stadt- und raumplanung, Saarbrücken

www.agl-online.de

Kontakt:

Andrea Hartz | andreahartz@agl-online.de

Sascha Saad | saschasaad@agl-online.de

plan + risk consult, Dortmund

www.plan-risk-consult.de

Kontakt:

Prof. Dr. Stefan Greiving | greiving@plan-risk-consult.de

Dr. Mark Fleischhauer | fleischhauer@plan-risk-consult.de

Dr. Christian Lindner | lindner@plan-risk-consult.de

Gestaltung und Satz

Stephanie Bächle, agl | Hartz • Saad • Wendl

Bildnachweis

s. S. 193

© Berlin/ Bonn, September 2013

