

nordwest2050

Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse
in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten

27. WERKSTATTBERICHT

März 2014

Informationssystem Vulnerabilität

Internetbasiertes Informationssystem zur öffentlichkeitswirksamen Darstellung der Vulnerabilität ausgewählter Sektoren und Handlungsbereiche der Metropolregion Bremen-Oldenburg („Vulnerabilitätskarten“)

Stefan Wittig, Bastian Schuchardt

Impressum

Herausgeber des Werkstattberichts:

BioConsult Schuchardt & Scholle GbR
Reeder-Bischoff-Straße 54
28757 Bremen
www.bioconsult.de

Kontakt:

Dipl.-Biol. Stefan Wittig 1
Tel.: (0421) 694981 28, E-Mail: wittig@bioconsult.de
Dr. Bastian Schuchardt:
Tel.: (0421) 6392798 11, E-Mail: schuchardt@bioconsult.de

Weitere Mitwirkende:

Hartmut Messerschmidt (TZI: Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik der Universität Bremen), Lars Galwoschus (SCB: Sustainability Center Bremen), Anna Ernst (SCB: Sustainability Center Bremen), Jakob Wachsmuth (artec |Forschungszentrum Nachhaltigkeit, Universität Bremen) & Alke Huber (BioConsult)

Die vorliegende Publikation wurde im Rahmen des Forschungsverbundes „nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten“ erstellt. Für den Inhalt sind die genannten Autorinnen und Autoren verantwortlich.

Zitiervorschlag: Wittig, S.; Schuchardt, B. (2014): Informationssystem Vulnerabilität: Internetbasiertes Informationssystem zur öffentlichkeitswirksamen Darstellung der Vulnerabilität ausgewählter Sektoren und Handlungsbereiche der Metropolregion Bremen-Oldenburg (,Vulnerabilitätskarten‘). ‚nordwest2050‘-Werkstattbericht Nr.27; BioConsult: Bremen.

Diese Publikation ist im Internet als pdf-Datei abrufbar unter: www.nordwest2050.de.

Bremen, März 2014

Inhalt

Zusammenfassung	6
1. Einführung: wofür sind Online-Informationssysteme nützlich	7
1.1 Beitrag des Informationssystems zur Unterstützung der Kommunikation über Risiken und Vulnerabilitäten des Klimawandels.....	7
1.2 Überblick über ausgewählte Informations- und Entscheidungsunterstützungssystem im Kontext Klimawandel, Vulnerabilität und Anpassung.....	8
2. Konzept des Informationssystems Vulnerabilität	13
2.1 Ziele: welche Informationen sollen dargestellt werden?	13
2.2 Funktionalität: wie können die Informationen ausgewählt werden?.....	15
2.3 Technik: wie werden aus den räumlichen Informationen ‚Vulnerabilitätskarten‘ hergestellt?.....	18
2.4 Layout: wie werden die ‚Vulnerabilitätskarten‘ dargestellt?	20
3. Handlungsbereiche und Wirkpfade: die Vulnerabilitätskriterien	23
3.1 Menschliche Gesundheit – Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“	23
3.2 Wasserwirtschaft – Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“	31
3.3 Biodiversität und Naturschutz – Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume am Beispiel der Schutzgebiete der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie“	41
3.4 Bevölkerungs- und Katastrophenschutz – Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“	52
3.5 Energieversorgung – Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“	59
4. Handlungsbereichsübergreifende Betrachtung der Vulnerabilität: ‚Hot Spots‘ der Vulnerabilität.....	66
5. Ausblick	74
5.1 Implementierung weiterer sektoraler Wirkpfade des Klimawandels	74
5.2 Monitoring der Klimawirkungen, der Anpassungskapazität und der Vulnerabilität	75
6. Fazit	78
7. Literatur.....	79

Abbildungen und Tabellen

Abb. 1:	Karten des „ESPOLN Climate“-Projekts: potenzielle Auswirkungen (oben links), Anpassungskapazität (oben rechts) und Vulnerabilität (unten) in Europa im Klimawandel unter Berücksichtigung des Emissionsszenarios A1B (s.a. EEA 2012).	10
Abb. 2:	Architektur des Geo-Informationssystems (eigene Darstellung).....	19
Abb. 3:	Ansicht des Geo-Informationssystems	21
Abb. 4:	Die regionalen ‚Hot-Spots‘ der Vulnerabilität: durch die Piktogramme (s. Tab. 18) sind für die Landkreise/Städte der MPR HB-OL die Wirkpfade des Klimawandels dargestellt, für die die Vulnerabilität unter Berücksichtigung des starken Signals des 2050-Klimaszenarios hoch ist (eigene Darstellung).....	67
Tab. 1:	Das für die Klimasignalkarten verwendete Klimamodell-Ensemble (CSC = Climate Service Center; MPI = Max-Planck-Institut).....	16
Tab. 2:	Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze in der MPR HB-OL“	23
Tab. 3:	Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“ zur Bewertung der potenziellen Auswirkungen in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.....	30
Tab. 4:	Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“ zur Bewertung der Verwundbarkeit in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.	30
Tab. 5:	Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“ (DJF = Dezember, Januar und Februar; MW = mittlerer Meeresspiegel; MThw = mittleres Tidehochwasser; EZG = Einzugsgebiet).	31
Tab. 6:	Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“ zur Bewertung der potenziellen Auswirkungen in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.....	40
Tab. 7:	Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“ zur Bewertung der Verwundbarkeit in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL	40
Tab. 8:	Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume am Beispiel der FFH-Schutzgebiete“ (FFH = Flora-Fauna-Habitat; LRT = Lebensraumtypen; LK = Landkreise).	42
Tab. 9:	Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume“ zur Bewertung der potenziellen Auswirkungen in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL	51

Tab. 10:	Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume“ zur Bewertung der Verwundbarkeit in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL	51
Tab. 11:	Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen in der MPR HB-OL“	52
Tab. 12:	Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“ zur Bewertung der potenziellen Auswirkungen in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL	58
Tab. 13:	Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“ zur Bewertung der Verwundbarkeit in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.	58
Tab. 14:	Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“	59
Tab. 15:	Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“ zur Bewertung der Klimasensitivität in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.	65
Tab. 16:	Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“ zur Bewertung der potenziellen Auswirkungen in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.	65
Tab. 17:	Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“ zur Bewertung der Verwundbarkeit in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.	65
Tab. 18:	Piktogramme zur Darstellung der im Informationssystem betrachteten Wirkpfade des Klimawandels (s. Abb. 4).	68
Tab. 19:	Zusammenstellung der Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung aller Wirkpfade des Informationssystems unter Berücksichtigung des „nordwest2050“-Klimaszenarios für 2050 für die Landkreise und Städte der MPR HB-OL.	69
Tab. 20:	Zusammenstellung der Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung aller Wirkpfade des Informationssystems unter Berücksichtigung des „nordwest2050“-Klimaszenarios für 2085 für die Landkreise und Städte der MPR HB-OL.	70
Tab. 21:	Vergleich der Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung für die MPR HB-OL.....	71

Zusammenfassung

Die Vielzahl der möglichen regionalen Klimawirkungen und die hohe Komplexität der dadurch ausgelösten gesellschaftlichen Wechselwirkungen erfordert die Entwicklung von Informationsinstrumenten, die es Entscheidungsträgern ermöglicht, wissensbasierte und fundierte Entscheidungen für die Anpassung an den Klimawandel unter Berücksichtigung der Unsicherheit von Klimaprojektionen zu treffen.

Das in ‚nordwest2050‘ entwickelte „Informationssystem Vulnerabilität“ stellt seinen Nutzern eine anwenderspezifische und nutzerfreundliche Visualisierung der potenziellen Auswirkungen, der gesellschaftlichen Anpassungskapazität und der daraus resultierenden Vulnerabilität in Form von Karten zur Verfügung. Zusätzlich werden den Nutzern Aussagen über die Robustheit der Klimasignale und der Belastbarkeit der kriteriengestützten Aussagen über die Höhe der Vulnerabilität bereitgestellt. Mit dem Informationssystem steht für die Metropolregion Bremen-Oldenburg ein Informations- und Kommunikationsinstrument zur Verfügung, das sie auf dem weiteren Weg hin zu einer klimawandelangepassten und resilienten Region unterstützen kann.

Die im Informationssystem dargestellten ‚Vulnerabilitätskarten‘ verdeutlichen, in welchen Landkreisen und Städten der Metropolregion Bremen-Oldenburg für welche Sektoren bzw. Handlungsbereiche mit hoher Vulnerabilität zu rechnen sein wird oder wo sie als eher gering eingeschätzt wird. Für diese Einschätzung sind spezifische Kriterien ausgewählt worden, deren Einteilung in Klassen sowohl eine vergleichende Bewertung der potenziellen Auswirkungen als auch der gesellschaftlichen Anpassungskapazität ermöglicht.

Darüber hinaus erlaubt das System auch eine handlungsbereichsübergreifende Betrachtung der Vulnerabilität. Werden die Vulnerabilitäten der einzelnen Wirkpfade summarisch verglichen, so lassen sich „Hot Spots“ der regionalen Vulnerabilität identifizieren. Trotz aller Einschränkungen und Probleme, die bei einem solchen Vergleich beachtet werden müssen, können so solche Bereiche der Metropolregion erkannt werden, für die auf der Basis der betrachteten Wirkpfade stärkere Klimawirkungen zu befürchten sind und für die daher vordringlicher Anpassungsbedarf bestehen könnte.

Bei dem entwickelten und online verfügbaren Informationssystem handelt es sich um einen Prototyp, der inhaltlich und technisch so angelegt ist, dass eine Weiterentwicklung einfach und mit wenig Aufwand umsetzbar ist. Erweiterungs- bzw. Ergänzungsmöglichkeiten bestehen zum einen hinsichtlich der Implementierung weiterer sektoraler Wirkpfade des Klimawandels sowie zum anderen für die Umsetzung eines Monitorings der Klimawirkungen, der Anpassungskapazität und damit der Vulnerabilität.

1. Einführung: wofür sind Online-Informationssysteme nützlich

Die Vielzahl der möglichen regionalen Klimaauswirkungen und die hohe Komplexität der dadurch ausgelösten gesellschaftlichen Wechselwirkungen erfordert die Entwicklung von Informationssystemen, die es den Entscheidungsträgern ermöglicht, wissensbasierte Entscheidungen für die Klimaanpassung unter Berücksichtigung der Unsicherheit von Klimaprojektionen zu treffen. Im Verbundprojekt ‚nordwest2050‘ ist daher das „Internetbasierte Informationssystem zur öffentlichkeitswirksamen Darstellung der Vulnerabilität“ entwickelt worden. Es ist Ergebnis der Kooperation zwischen BioConsult und dem Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik der Universität Bremen (TZI) sowie dem Sustainability Center Bremen (SCB).

Das Informationssystem stellt seinen Nutzern eine anwenderspezifische und nutzerfreundliche Visualisierung der potenziellen Auswirkungen, der gesellschaftlichen Anpassungskapazität und der daraus resultierenden Vulnerabilität in Form von Karten zur Verfügung. Zusätzlich werden den Nutzern Aussagen über die Robustheit der Klimasignale und der Belastbarkeit der kriteriengestützten Aussagen über die Höhe der Vulnerabilität geboten. Mit dem Informationssystem steht für die Metropolregion Bremen-Oldenburg ein Informations- und Kommunikationsinstrument zur Verfügung, das sie auf dem weiteren Weg hin zu einer klimawandelangepassten und resilienten Region unterstützen kann.

1.1 Beitrag des Informationssystems zur Unterstützung der Kommunikation über Risiken und Vulnerabilitäten des Klimawandels

In demokratischen Gesellschaften erwarten die Bürgerinnen und Bürger dass Entscheidungen, die ihr Leben und ihre Gesundheit betreffen, öffentlich kommuniziert und legitimiert werden. Das geht nicht ohne geeignete Kommunikation und betrifft auch das Problemfeld Klimawandel mit den resultierenden Gefahren und Risiken. Das Leitbild einer Risikokultur beschreibt für die Ziele der Risikokommunikation einen risikomündigen, partizipatorisch agierenden und einbezogenen Bürger (DKKV 2003; Schuchardt et al. 2008). Vor diesem Hintergrund soll das Informationssystem zur regionalen Vulnerabilität einen Beitrag zur erforderlich werdenden Kommunikation liefern. Die Ziele des Informationssystems sind dementsprechend

- die Schaffung eines Bewusstseins über die Auswirkungen des Klimawandels sowie über die damit verbundenen Risiken,
- die Erhöhung der Handlungsbereitschaft zur Anpassung an den Klimawandel bzw. der Reduktion der Vulnerabilität durch handlungsfördernde und zielgruppenspezifische Informationsbereitstellung und

- Verbesserung der Akzeptanz der Maßnahmen und Entscheidungen zur Anpassung an den Klimawandel und Unterstützung des gesellschaftlichen Umgangs mit den Risiken des Klimawandels durch Partizipation.

Das Informationssystem stellt somit ein modernes partizipatives Instrument zur Verbesserung der Risikokommunikation dar und trägt zur Unterstützung des gesellschaftlichen Umgangs mit den Risiken des Klimawandels bei.

Im Informationssystem stehen den Nutzern ausgewählte Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung des Verbundvorhabens ‚nordwest2050‘ in benutzerfreundlicher und sektoraler Aufbereitung zur Verfügung. Es handelt sich in erster Linie um ein System zur Informationsvermittlung, welches zwar entscheidungsunterstützend wirken kann, aber nicht als Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) konzipiert ist. Nach UBA beinhalten EUS „[...] die operative oder strategische Unterstützung für Managementaufgaben (insbesondere Entscheidungsfindung) durch Informationssysteme. Es werden Informationen angeboten, welche die Entscheidungsfindung erleichtern, z.B. durch das Aggregieren und Systematisieren von vorhandenen Daten. Ein EUS selbst trifft dabei keine Entscheidung“ (s. Website UBA). Averdung (2000) spezifiziert das noch weiter und sagt: „EUS sind computergestützte Informationssysteme, die einen oder mehrere Entscheidungsträger bei semistrukturierten Entscheidungsprozessen durch die Bereitstellung der zur Problemstellung erforderlichen Informationen, Methoden und Lösungsmodelle unterstützen. Sie dienen ferner der Präsentation der Analyse- und Bewertungsergebnisse auf eine Weise, so dass diese Entscheidungsgrundlage verwendet werden können.“

Die beiden Definitionen zeigen, dass Bewertungsverfahren verschiedenster Art im Rahmen von Entscheidungsunterstützungs- und Informationssystemen eine entscheidende Rolle zugewiesen werden. Bewertungsprozesse sind auch deshalb besonders relevant, da sie für die seitens der Bundesregierung geforderte Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen bedeutsam sind (vgl. Bundesregierung 2011). Dieses gilt gleichermaßen für die geplante „Roadmap of Change“ von ‚nordwest2050‘. Insofern kann das Informationssystem auch einen Beitrag zur Entscheidungsfindung im Kontext Klimaanpassung leisten.

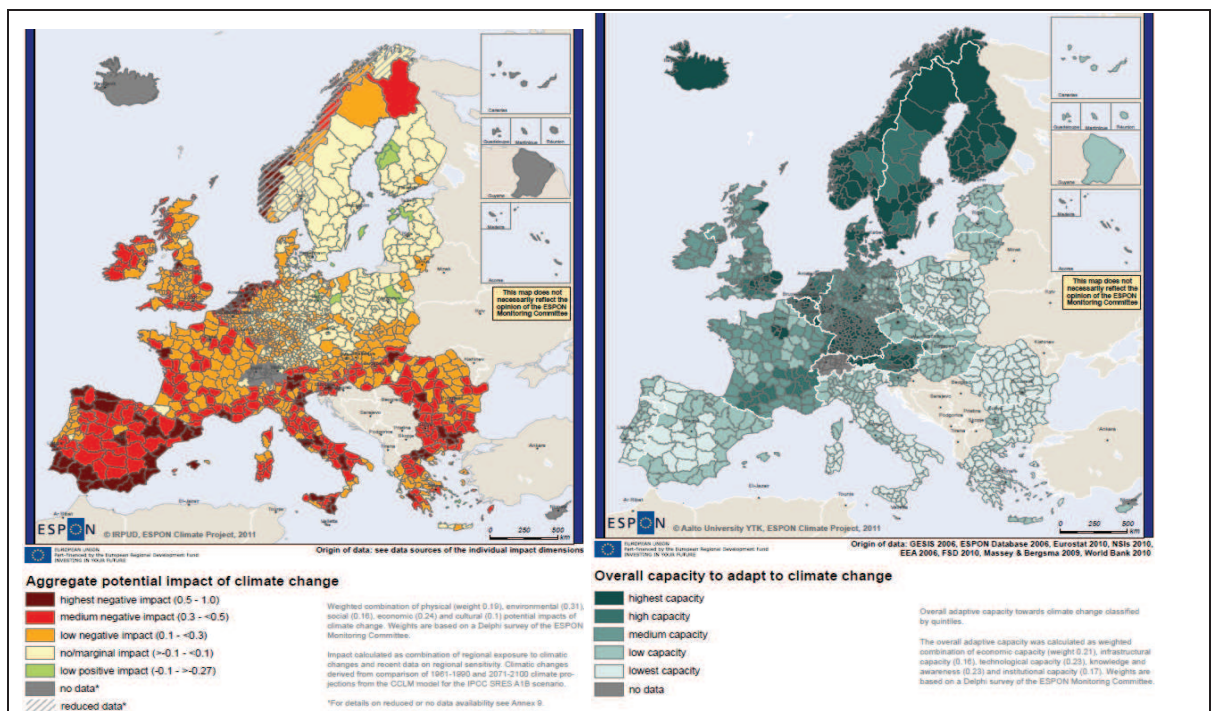
1.2 Überblick über ausgewählte Informations- und Entscheidungsunterstützungssystem im Kontext Klimawandel, Vulnerabilität und Anpassung

Mittlerweile sind von vielen Forschungsprojekten Entscheidungsunterstützungs- oder Informationssysteme entwickelt worden, die über das Internet verfügbar sind. Im Folgenden sollen daher einige Beispiele für aktuelle Online-Systeme, die Informationsbereitstellung und/oder Entscheidungsunterstützung im Kontext Klimafolgen und Klimaanpassung zum Ziel haben, beschrieben werden:

- **CLIMATE-ADAPT** (<http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest>): Ziel der „European Climate Adaptation Platform“ ist die Unterstützung Europas bei der Klimaanpassung. Sie ist eine Initiative der Europäischen Kommission und hilft den Nutzern Information über folgende Aspekte zu bekommen: 1. Erwarteter Klimawandel in Europa, 2. Gegenwärtige und zukünftige Vulnerabilität von Regionen und Sektoren, 3. Nationale und transnationale Anpassungsstrate-

gien, 4. Fallstudien für Anpassung und mögliche Anpassungsoptionen sowie 5. Tools zur Unterstützung der Anpassungsplanung. Hierzu sind folgende thematische Unterseiten implementiert:

- **Vulnerabilities and risks** (<http://climate-adapt.eea.europa.eu/vulnerabilities-and-risks>): Hier sind ausgewählte Indikatoren zur Beschreibung der Klimawirkungen, weiterführende Publikationen und relevante Informationspotenziale verlinkt. Zusätzlich wird z.B. auf folgende interaktive Kartendienste verwiesen:
- **Terrestrial vulnerability and risk** (http://climate-adapt.eea.europa.eu/viewaceitem?aceitem_id=3264): Dieser Link verweist auf das „ESPN Climate“-Projekt, welches für Europa Karten der potenziellen Auswirkungen der Anpassungskapazität und der Vulnerabilität generiert hat (vgl. Abb. 1; Greiving et al. 2011; s.a. <http://www.espon-climate.eu/> und <http://climate-adapt.eea.europa.eu/map-viewer?mapViewerAppId=ast-vulnrisk-espon01>).
- **Vulnerability and risk for the water sector** (http://climate-adapt.eea.europa.eu/viewaceitem?aceitem_id=3265): Hier wird auf das „ClimWatAdapt“-Projekt verwiesen, in dem Vulnerabilitäts- und Risikokarten für den Wassersektor generiert worden sind (s.a. <http://climate-adapt.eea.europa.eu/map-viewer?mapViewerAppId=ast-vulnrisk-climwatadapt01>).
- **Adaptation Support Tool** (<http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest/adaptation-support-tool/step-1>): Ziel des „Adaptation Support Tool“ ist die Unterstützung der Nutzer bei der Entwicklung von Klimaanpassungspolitiken. Das Tool basiert auf dem sog. „policy cycle“ und beinhaltet Orientierung, Hinweise auf relevante Quellen und zugehörige Werkzeuge für Anpassungsprozesse.



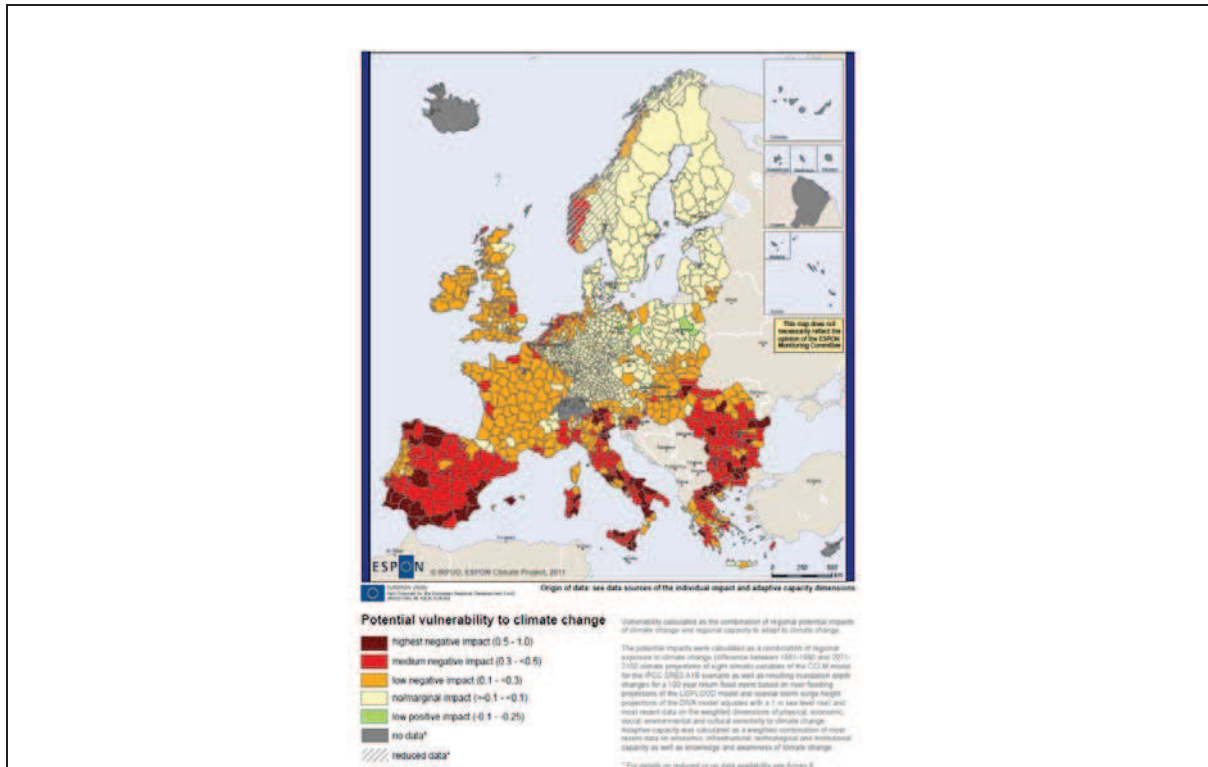


Abb. 1: Karten des „ESPON Climate“-Projekts: potenzielle Auswirkungen (oben links), Anpassungskapazität (oben rechts) und Vulnerabilität (unten) in Europa im Klimawandel unter Berücksichtigung des Emissionsszenarios A1B (s. a. EEA 2012).

- **Heat wave risk of European cities**

(<http://eea.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=d4124af689f14cbd82b88b815ae81d76&extent=-10.5451,34.4066,34.8944,58.4418>): In den hier entwickelten Karten wird das heutige und zukünftige Risiko von Hitzewellen in europäischen Städten dargestellt. Dieses System ist Bestandteil der „Eye on Earth“-Aktivität der Europäischen Umweltagentur (EEA). Hintergrund der getroffenen Annahmen ist die Erkenntnis, dass die Größe und Anzahl von grünen (bewachsenen) und blauen (wasserbedeckten) Gebieten innerhalb der Städte die urbanen Hitzeinseleffekte reduzieren können. Zusätzlich beeinflusst die Bevölkerungsdichte die Risiken von Hitzewellen in städtischen Ballungsräumen. Die Klimaprojektionen deuten darauf hin, dass in Europa sommerliche Hitzewellen häufiger und stärker werden als in der Vergangenheit. Die deutlichsten Auswirkungen resultieren dabei aus mehrtägigen Hitzewellen mit hohen Nachttemperaturen und hoher relativer Luftfeuchte (zur Methode der Kartendarstellung s. Fischer & Schär 2010).

- **Netzwerk Vulnerabilität** (<http://netzwerk-vulnerabilitaet.de/tiki-index.php>): Das vom Umweltbundesamt initiierte Netzwerk Vulnerabilität ist ein Netzwerk von Bundesoberbehörden, das sich mit dem Ziel gegründet hat, ein Gesamtbild der Vulnerabilität von Deutschland gegenüber dem Klimawandel zu erstellen. Innerhalb der noch laufenden Aktivität ist auch die Entwicklung eines Online-Tools vorgesehen, mit dem deutschlandweit der Kenntnisstand über Vulnerabilitätsanalysen abgefragt werden kann (Abschluss des Projekts ist der Sommer 2014).

- **CLIMSAVE** (<http://www.climsave.eu/climsave/index.html>): Das europäische Projekt „Climate Change Integrated Assessment Methodology for Cross-Sectoral Adaptation and Vulnerability in Europe“ (Integrierte Bewertungsmethode zur Vulnerabilität und Anpassung in Europa) arbeitet an der Entwicklung einer integrierten Methode zur Bestimmung von klimawandelbedingten Einflüssen auf Mensch-Umwelt-Systeme und deren Verletzlichkeit. Für ausgewählte Schlüssel-sektoren (Landwirtschaft, Wald, Biodiversität, Küsten/Auengebiete, Wasserressourcen, städtische Entwicklung und Verkehr) werden auf regionaler und europäischer Ebene Anpassungsoptionen evaluiert und Wechselwirkungen untersucht. Dazu wird eine benutzerfreundliche, web-basierte Bewertungsplattform eingerichtet. Diese verknüpft die sektoralen Modelle und soll so den regionalen Akteuren ermöglichen, klimawandelbedingte Einflüsse und ihre Auswirkungen in der Region zu erkennen sowie geeignete Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln.
- **Klimafolgenmanagement** (<http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=27>): Ziel des Forschungsvorhabens „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg“ war es u.a., den metropolitanen Entscheidungsträgern aus Verwaltung, Politik und Wirtschaft ein interaktives Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) zum Klimafolgenmanagement an die Hand zu geben, dass es ihnen zum einen ermöglicht, Bereiche mit vorrangigem Handlungsbedarf (sog. Hot-Spots) zu identifizieren und zum anderen auch Handlungsoptionen zum Management dieser Flächen bzw. Räume zu entwickeln und zu bewerten. Folgende zwei EUS wurden entwickelt:
 - **Regionales Entscheidungsunterstützungssystem** zum Klimafolgenmanagement in der Metropolregion (s. <http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=116>);
 - **Lokales Entscheidungsunterstützungssystem** zur Konkretisierung, Bewertung und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen (s. <http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=136>);
- **INNIG – Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft** (<http://www.innig.uni-bremen.de>): Die vom Projekt entwickelte „Hochwasser-Informationenplattform“ hat das Ziel, Informationen zur Hochwassersituation in Bremen bereitzustellen. Dazu gehören sowohl allgemeine Angaben über Geländehöhen, Wasserstände, Schutzbauwerke, Organisation des Hochwasserschutzes usw. als auch Informationen, die speziell für die persönliche Wohn- und Lebenssituation der bremischen Bevölkerung zugeschnitten sind. Zusätzlich liefert die Plattform über die Erweiterung der Risikokommunikation einen Beitrag zu einem verbesserten Hochwasserrisikomanagement (s. <http://innig.tzi.de/innig/index.php?id=48>).
- **MOVE – Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe** (<http://www.move-fp7.eu/>): Das Projekt „Methoden zur Verbesserung von Vulnerabilitätsanalysen und Bewertungen in Europa“ hat in verschiedenen Regionen Fallstudien durchgeführt, in denen ein konzeptionelle Rahmen für verschiedene Gefahren und Dimensionen von Vulnerabilität getestet und durchgeführt wird. In Deutschland ist die Region Köln/Bonn betrachtet worden, wobei die Anzahl der von Hitzewellen betroffenen Menschen analysiert worden ist (s. http://www.gi4dr.org/move/move_map/cologne.html).

- **ZÜRS – Zonierungssystem für Überschwemmung, Rückstau und Starkregen** (<http://www.zuers-public.de/>): Die Website „ZÜRS public“ ist ein für jeden Bürger frei zugängliches Internet-Portal. Sie wurde von der Versicherungswirtschaft, vertreten durch den Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), und bezüglich der Gefahr Hochwasser in Kooperation mit dem Freistaat Sachsen geschaffen und besitzt mit Niedersachsen einen weiteren Partner. Geobasisdaten der Vermessungsverwaltung, Hochwasserdaten der Umweltverwaltung und Risikodaten der Versicherungswirtschaft wurden für ZÜRS public verknüpft und gestatten dem Nutzer, das vom Hochwasser und anderen Naturereignissen ausgehende Gefährdungspotential objektbezogen einzuschätzen. ZÜRS public soll Risikobewusstsein schaffen und die Eigenvorsorge fördern. Anhand einer objektbezogenen Gefährdungsanalyse können Interessierte prüfen, ob für ein bestimmtes Gebäude ein ausreichender Versicherungsschutz vorliegt. Die enthaltenen Karten und Texte bieten allgemeine Informationen über Hochwasser- und Naturgefahrenrisiken wie Starkregen und Sturm-Hagel.

Die dargestellte Auswahl zeigt, dass es Entscheidungsträgern oder der interessierten Öffentlichkeit mittlerweile möglich ist, sich anhand verschiedenster Informationsportale über Klimawirkungen, die damit verbundenen Risiken oder Vulnerabilitäten sowie über Anpassungsoptionen zu informieren. Die Vielzahl der existierenden Entscheidungsunterstützungs- bzw. Informationssysteme zeigt auch, dass ein hoher Bedarf für eine derartige Bewertung von Risiken und Vulnerabilitäten gesehen wird. Inwieweit die einzelnen Systeme hinsichtlich ihres Anspruchs erfolgreich sind, bleibt meist offen und bedarf zukünftig intensiver Evaluationsanstrengungen. Zum Teil wird in den Informationssystemen auch eine regionale oder lokale Ebene angesprochen, da insbesondere auf dieser Ebene die Anpassung an den Klimawandel umgesetzt werden muss. Das „Informationssystem Vulnerabilität“ von ‚nordwest2050‘, welches zum einen den Bedarf nach schnell zugänglichen und leicht interpretierbaren Information über die regionale Vulnerabilität bedienen will, orientiert sich an den beschriebenen Entscheidungsunterstützungs- bzw. Informationssystemen und versucht zugleich einen Beitrag zur Einschätzung der Belastbarkeit bzw. Robustheit der Vulnerabilitätsbewertungen zu geben.

2. Konzept des Informationssystems Vulnerabilität

2.1 Ziele: welche Informationen sollen dargestellt werden?

Im Informationssystem Vulnerabilität – als Bestandteil des „Regionalen Informationssystems Klimaanpassung“ (RISKA¹) von ‚nordwest2050‘ – sollen die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse (VA = Verwundbarkeitsanalyse) für die interessierte (Fach-) Öffentlichkeit im Internet dargestellt werden. Hierzu gehören zum einen aufbereitete Texte bzw. Textbausteine der sektoralen VA (s. Schuchardt et al. 2011). Zum anderen sollen die vorhandenen räumlichen Informationen und Daten für die Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten (MPR HB-OL) in Form von Karten dargestellt werden. Die Darstellung der regionalen Vulnerabilität in Form von Karten richtet sich nach dem in Schuchardt et al. 2011 dargestellten Konzept der VA (s.a. Exkurs 1). Ausgangspunkt für die sog. ‚Vulnerabilitätskarten‘ sind die in der VA betrachteten sektoralen „Wirkpfade des Klimawandels“, die um die wirtschaftsclusterbezogenen Erkenntnisse der VA ergänzt werden.

Exkurs 1: Konzept für Vulnerabilitätsanalyse und -bewertung

Der Vulnerabilitätsanalyse liegt ein Konzept zugrunde, welches sowohl natürliche wie auch sozioökonomische Aspekte des Klimawandels berücksichtigt, da Ausmaß und räumliche Ausprägung der potenziellen Wirkungen des Klimawandels entscheidend sowohl von der natürlichen Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme als auch von der gesellschaftlichen Anpassungskapazität der jeweiligen Sektoren abhängen. In Anlehnung an IPCC (2007) beschreibt Vulnerabilität, in welcher Weise und wie stark ein System gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels anfällig ist bzw. ob es fähig ist, die Auswirkungen so zu bewältigen, dass die wesentlichen Systemfunktionen aufrecht erhalten werden. Zur Analyse und Bewertung der Höhe der heutigen Vulnerabilität werden folgende Komponenten differenziert:

- **Klimawandel** umfasst die in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschriebenen regionalen Veränderungen der ausgewählten Klimaparameter inkl. unmittelbar nachgelagerter Effekte wie z. B. Veränderung der Wasserstände und -temperaturen oder der klimatischen Wasserbilanz;
- **Exposition** beschreibt die klimawandelbedingten Veränderungen der Parameter, die auf einen Sektor einwirken inkl. unmittelbar nachgelagerter Effekte wie z. B. Veränderungen im Abflussregime der Flüsse oder der Morphodynamik im Küstenvorfeld;
- **Sensitivität** beschreibt die heutige Empfindlichkeit eines Sektors gegenüber den aktuellen Klimabedingungen;

¹ Zu RISKA gehören neben dem hier erläuterten Informationssystem eine Sammlung von regionalen Forschungsprojekten zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels und ein „Business Climate Adaption Wizard“ (Erstellung durch SCB).

- **potenzielle Auswirkungen** ergeben sich aus der Kombination von Exposition und Sensitivität ohne Berücksichtigung zusätzlicher, als Reaktion auf den erwarteten Klimawandel unternommener Anpassungsmaßnahmen;
- **Anpassungskapazität** berücksichtigt neben der natürlichen Anpassungsfähigkeit der regionalen Ökosysteme das Wissen über Anpassungsstrategien und -maßnahmen, die technische, institutionelle oder organisatorische Fähigkeit eines Sektors zur Planung, Vorbereitung, Unterstützung und Umsetzung von Handlungsmaßnahmen zur Anpassung sowie die Anpassungsbereitschaft;
- Die **Vulnerabilität** eines Sektors ergibt sich aus der kombinierten Betrachtung der genannten Komponenten und wird mit den Kategorien gering, mittel und hoch differenziert.

Im Zentrum der Arbeiten zur räumlichen Darstellung der Vulnerabilität steht die Sammlung und geeignete Visualisierung georeferenzierter regionaler Datenbestände in einem Geographischen Informationssystem (GIS). Das Sammeln, Vorhalten und Visualisieren räumlicher Daten bildet die Basis für eine räumlich orientierte Vulnerabilitätsbewertung der Region. Um die Vulnerabilität zu erfassen, müssen sowohl naturräumliche als auch sozioökonomische Daten über verschiedene Raumnutzer der Region verfügbar sein bzw. erhoben werden. Die Höhe der regionalen Vulnerabilität lässt sich durch eine geeignete Aggregation und Verschneidung vorliegender räumlicher Daten für ausgewählte Handlungsbereiche ableiten (s. Kap. 2.3).

Im vorliegenden und online verfügbaren Prototyp des Informationssystems² sind folgende Handlungsbereiche mit den zugehörigen Wirkpfaden verfügbar und auswählbar:

- Menschliche Gesundheit – Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“
(kurz: Menschliche Gesundheit – Hitzebelastung);
- Wasserwirtschaft – Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“
(kurz: Wasserwirtschaft – Entwässerung);
- Biodiversität und Naturschutz – Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume am Beispiel der FFH-Schutzgebiete“
(kurz: Naturschutz – Schutzgebiete);
- Bevölkerungs- und Katastrophenschutz – Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“
(kurz: Katastrophenschutz – Extremereignisse);
- Energieversorgung – Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“
(kurz: Energieversorgung – Kühlbedarf);
- Ernährungswirtschaft – Wirkpfad „Klimawirkung für die Veredelungswirtschaft“³.

² s. ‚nordwest2050‘-Website unter http://www.nordwest2050.de/index_nw2050.php?obj=page&id=191&unid=f7a7a83e9e3f98d22625a06a2fde1d00

2.2 Funktionalität: wie können die Informationen ausgewählt werden?

Wichtiger Bestandteil der Kartendarstellung der VA-Ergebnisse ist die auf das Nutzerinteresse eingehende Interaktivität. Zur Kartendarstellung stehen verschiedene Auswahlmöglichkeiten für die Nutzer des Informationssystems zur Verfügung. **Auswahlmöglichkeiten** für die ‚Vulnerabilitätskarten‘ sind:

1. **Klimaszenario:** Hier kann zwischen den beiden ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien gewählt werden. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der betrachteten Zeiträume und heißen dementsprechend **2050-Szenario** (für die Zukunftsperiode 2036–2065) und **2085-Szenario** (für die Zukunftsperiode 2071–2100).
2. **Ausprägung des Klimasignals:** Hier kann für das 2050-Szenario und das 2085-Szenario jeweils ein **schwaches** und ein **starkes** Klimasignal ausgewählt werden. Diese Einschätzung des Klimasignals entspricht im Wesentlichen den Werten für die unteren oder die oberen Spannweite der jeweiligen Klimaparameter. Wenn für die Exposition eine klimawandelbedingte Veränderung von Extremereignissen relevant ist bzw. wenn Angaben über Extremereignisse in den Klimaszenarien vorhanden sind, kann zusätzlich eine **extreme** Ausprägung gewählt werden. Karten mit den Veränderungen der für die betrachteten Sektoren relevanten Klimaparameter sind im Norddeutschen Klimaatlas für die MPR HB-OL (<http://www.norddeutscher-klimaatlas.de/startseite.html>) oder dem Klimaatlas des DWD für Deutschland (<http://www.deutscher-klimaatlas.de>) dargestellt. Ergebnisse zur Robustheit und Signifikanz bezüglich der Einschätzung zukünftiger regionaler Klimaänderungen sind vom Climate Service Center (CSC: <http://www.climate-service-center.de/>) bearbeitet worden und werden für die jeweils verwendeten Klimaparameter wenn verfügbar in Form von sog. Klimasignalkarten in den weiterführenden Hintergrundinformationen dargestellt (s. Exkurs 2).
3. **Handlungsbereichsbezogener Wirkpfad:** Hier können die vorhandenen und in der VA von ‚nordwest2050‘ betrachteten Sektoren und Wirtschaftscluster mit jeweils einem spezifischen, räumlich darstellbaren **Wirkpfad des Klimawandels** ausgewählt werden. Karten werden nur generiert, wenn räumliche Daten vorhanden sind. Ansonsten werden Informationen zur VA über kurze Texte und/oder Links auf weitere Quellen bereitgestellt (betrifft nur den Wirkpfad „Klimawirkung für die Veredelungswirtschaft“ der Ernährungswirtschaft).

Dargestellt werden die ‚Vulnerabilitätskarten‘ für die gesamte MPR HB-OL, wobei sich Vergleiche der wirkpfadspezifischen Vulnerabilität – als Kombination von potenziellen Auswirkungen und Anpassungskapazität – auf die Ebene der jeweiligen **Landkreise** (LK) und **Städte** beschränken. Wenn räumlich detailliertere Darstellungen notwendig bzw. sinnvoll sind, z. B. hinsichtlich der unter 2 Meter NN liegenden Flächen in der Küstenniederung (s. Kap. 3.2), dann wird der prozentuale Anteil dieser Flächen an den LK in einem GIS berechnet und für die LK vergleichend ausgewertet.

Als Hintergrundinformationen werden für den jeweiligen Handlungsbereich mit dem spezifischen Wirkpfad des Klimawandels leicht verständliche Erläuterungen zu den Inhalten der Karten

³ da dieser Wirkpfad im Informationssystem nur in Textform beschrieben wird, wird er im vorliegenden Bericht nicht weiter aufgeführt; zur VA der Ernährungswirtschaft s. Akamp & Schattke (2011); Beermann (2011) und Mesterham (2011).

eingebildet (s.a. Kap. 2.4). In Abhängigkeit von der Auswahl werden zu den Karten passende Kurztexte über die potenziellen Auswirkungen (Was kommt auf die Region zu?), zur Anpassungskapazität (Ist die Region vorbereitet?) und zur Vulnerabilität (Was zeigen die ‚Verwundbarkeitskarten‘?) aufgeführt. Die für die Einschätzung der Vulnerabilität verwendeten Kriterien werden in separaten Dokumenten zusammengestellt und können ebenfalls auswahlspezifisch als pdf-Dateien heruntergeladen werden.

Exkurs 2: Klimasignalkarten für Deutschland auf Kreisebene

Die Einschätzungen über die Höhe der Vulnerabilität beruhen ganz wesentlich auf den Projektionen über die zukünftige Klimaentwicklung. Daher ist die Frage, wie belastbar bzw. robust die Klimaänderungssignale sind, ein wichtiger Aspekt für die Aussagefähigkeit der sektorspezifischen Vulnerabilitätsbewertung. In Zusammenarbeit mit dem Climate Service Center (CSC: <http://www.climate-service-center.de>) sind deshalb für die im Informationssystem betrachteten Klimaparameter sog. Klimasignalkarten erstellt worden, die über die Belastbarkeit bzw. Robustheit der Klimaänderungssignale Aussagen ermöglichen.

Den vom CSC entwickelten Klimasignalkarten liegen regionale Klimaänderungssimulationen zugrunde. Zur Abschätzung der Bandbreite möglicher zukünftiger regionaler Klimaänderungen wurde das für Deutschland größtmögliche Ensemble hochaufgelöster Klimaprojektionen herangezogen (s. Tab. 1).

Tab. 1: Das für die Klimasignalkarten verwendete Klimamodell-Ensemble (CSC = Climate Service Center; MPI = Max-Planck-Institut).

Regionalmodell	Globalmodell	Emissionsszenarien (SRES-Szenarien) und Modelllauf	Institution / Referenz Regionalmodell	Quelle
CLM	ECHAM5/MPI-OM	B1_1 / B1_2 / A1B_1 / A1B_2	CLM-Community, Model & Data, MPI für Meteorologie in Hamburg / Website M&D	World Data Center for Climate, Hamburg
REMO	ECHAM5/MPI-OM	B1_1 / A1B_1 / A2_1	MPI für Meteorologie in Hamburg / Jacob et al. (2008)	World Data Center for Climate, Hamburg
REMO	ECHAM5/MPI-OM	B1_2 / B1_3 / A1B_2 / A1B_3 / A2_2 / A2_3	MPI für Meteorologie in Hamburg / Jacob et al. (2008)	REMO-Gruppe, MPI für Meteorologie in Hamburg, CSC

Für die Klimasignalkarten werden auf der Basis von täglichen Daten für jedes Modell des verwendeten Ensembles (13 Simulationen insgesamt: s. Tab. 1) und für jede Gitterbox der Regionalmodelle (räumliche Auflösung für CLM beträgt 0,2° (ca. 20 x

20 km) und für REMO 0,088° (ca. 10 x 10 km)) für den Zeitraum von 1966–1995 (Referenzperiode) sowie für 2036–2065 (Zukunftsperiode) die im Informationssystem betrachteten Klimaparameter berechnet. Die Differenz zwischen Referenz- und Zukunftsperiode definiert das Klimaänderungssignal.

In den Klimasignalkarten sollen die Regionen identifiziert werden, in denen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit relativ starken Klimaänderungen zu rechnen ist. Die Robustheit der projizierten Änderungen wird durch ein dreistufiges Testverfahren untersucht (s.u.). In den Karten werden dann die Landkreise farblich hervorgehoben, die für einen ausgewählten Klimaparameter diesen Test bestanden haben. Die drei Farben der für die Parameter spezifischen Schwellenwerte symbolisieren geringe (grün), mittlere (orange) und starke Änderungssignale (rot). Wird ein Test des dreistufigen Robustheitstest nicht bestanden, so sind die entsprechenden Kreise grau dargestellt. Weiß dargestellte Kreise zeigen ein von der Änderungsrichtung abweichendes Klimasignal (also z.B. Zunahme des Sommerniederschlags statt Abnahme). Signalkarten ohne Robustheitstest zeigen nur den Median der Klimaänderungssignale (d.h. 50% der Modelle simulieren größere und 50% kleinere Änderungen) aller Simulationen des Ensembles. Die Änderungssignale in den Karten werden entweder als prozentuale oder als absolute Änderungen dargestellt.

Der Robustheitstest

Die drei Testverfahren des dreistufigen Robustheitstest sind (Details finden sich auf der Website des CSC und bei Pfeifer et al. 2013):

1. **Übereinstimmung:** Das erste Maß der Robustheit ist die Übereinstimmung der Modelle für die simulierte Änderungsrichtung. Dabei wird geprüft, wie viele der Simulationen dieselbe Richtung des Änderungssignals zeigen. Die Strenge dieses Kriteriums kann über den Prozentsatz gewählt werden, der Voraussetzung für das Bestehen des Tests ist. Standard für die Signalkarten ist die Abfrage auf 66% Übereinstimmung.
2. **Signifikanz:** Das zweite Maß der Robustheit ist die statistische Signifikanz der von den Modellen berechneten Klimaänderungen. Hierfür wird der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (auch U-Test: Wilcoxon 1945; Mann & Whitney 1947) verwendet, um zu untersuchen, ob sich für eine Klimavariablen die Verteilung für die Zukunft von der Verteilung für die Vergangenheit unterscheidet. Im Fall der Signalkarten stellen die Einzeljahre der Referenzperiode und der Zukunftsperiode jeweils eine Stichprobe des U-Tests dar. Der U-Test wurde für jede Simulation separat mit einem Konfidenzniveau von 90% ausgeführt. Für das gesamte Ensemble müssen mindestens 66% der Simulationen den Signifikanztest bestehen.
3. **Sensitivität gegenüber kleinen zeitlichen Verschiebungen:** Der dritte Test wird durchgeführt, um sicher zu stellen, dass die Ergebnisse sich bei einer kleinen Verschiebung der Referenz- bzw. Zukunftsperiode nicht stark ändern. Die Idee dahinter ist, dass ein Klimaänderungssignal nicht robust ist, wenn etwa große Unterschiede zwischen den Klimaänderungssignalen für die Zeiträume der

Referenz und der Zukunft auftreten. Sind die Unterschiede groß, könnte dies auf eine starke zeitliche Heterogenität der Daten hinweisen oder es könnte bedeuten, dass die Entwicklung der Änderungen des Klimaparameters mit der Zeit stark nichtlinear ist. Für diesen Test wird die jeweilige 30-Jahresperiode fünfmal um ein Jahr nach vorne und hinten verschoben und aus den resultierenden 11 Klimaperioden und 11 Änderungssignalen die Streuung berechnet.

Anhand der drei Tests lässt sich die Robustheit der projizierten Klimaänderungen beurteilen. Ziel der Klimasignalkarten ist dementsprechend die Analyse, wie robust die Aussagen über zukünftige Klimaänderungen aus den Projektionen der regionalen Klimamodelle abgeleitet werden können. Die Klimasignalkarten werden vom CSC laufend weiterentwickelt und ihre Datenbasis durch neue Klimaänderungssimulationen ergänzt. Sie können für weitere Klimaparameter (sofern sie sich aus den Modellsimulationen ableiten lassen) erstellt werden. Weiterhin ergänzen sie die bereits online verfügbaren Informationsportale zu künftigen Klimaänderungen in Deutschland, wie z.B. der „Deutsche Klimaatlas“ vom Deutschen Wetterdienst (s. <http://www.dwd.de>) und der „Regionale Klimaatlas Deutschland“ der Klimabüros der Helmholtz-Gemeinschaft (s. <http://www.regionaler-klimaatlas.de/>).

2.3 Technik: wie werden aus den räumlichen Informationen ‚Vulnerabilitätskarten‘ hergestellt?

Aus den räumlichen – und im Wesentlichen freiverfügbaren – Informationen bzw. Daten der VA für die MPR HB-OL ist ein html-basiertes Informationssystem entwickelt worden. Dazu wurden flächenhafte Informationen aus der Region aufbereitet bzw. generiert und in einem Geographischen Informationssystem (GIS) abgebildet. Parameter sind dabei u.a. Daten zur räumlichen, ökologischen und sozioökonomischen Struktur, naturräumlichen und sozioökonomischen Sensitivität sowie zur gesellschaftlichen Anpassungskapazität (s. Kap. 3). Diese Informationen wurden zu sektor- bzw. handlungsbereichsspezifischen ‚Vulnerabilitätskarten‘ zusammengeführt. Das Informationssystem ist so in der Lage auf die unterschiedlichen Interessen der Nutzer mit maßgeschneiderten, sektoralen Informationen zu reagieren.

Zur aktorsgerechten und nutzerfreundlichen Handhabung bzw. Bedienung des Instruments sind zwei grundlegende Prinzipien berücksichtigt worden: Zum einen wurden bei der Umsetzung auf das „KISS-Prinzip“ („keep it simple and smart“) und zum anderen auf das „MAYA-Prinzip“ („most advanced yet acceptable“) geachtet. Diese vor allem aus der Informatik entlehnten Ansätze zielen darauf ab, Programme und interaktive Anwendungen so „einfach und überschaubar (oder auch schlau) wie möglich“ und so „komplex wie gerade noch akzeptabel“ zu gestalten, um damit eine intuitive Handhabung zu gewährleisten (vgl. a. Beermann 2011).

Die Umsetzung des Geoinformationssystem erforderte eine enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Partnern. Während BioConsult für die Beschaffung und Erstellung der regionalen, räumlichen Daten sowie deren Aufbereitung in einem GIS verantwortlich war, hat die Arbeitsgruppe „Künstliche Intelligenz“ (Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik (TZI), Universität Bremen) die technische Umsetzung des Geoinformationssystem realisiert. Zusätzlich wurde entschieden, das Informationssystem in das bestehende Webportal von ‚nordwest2050‘ zu integrieren (s.a. Kap. 2.4), wofür mit dem Sustainability Center Bremen (SCB) zusammengearbeitet

worden ist. Diese Integration hat eine höhere Sichtbarkeit des Informationssystems zum Ziel, wofür allerdings eine Möglichkeit gefunden werden musste, wie die Flexibilität des Geoinformationssystems erhalten bleibt, obwohl die Daten von einer anderen Website abgefragt werden. Der Lösungsweg hierfür wird im Folgenden erläutert.

Das Geoinformationssystem wird auf einem so genannten Mapserver betrieben (s. Abb. 2). Hierbei handelt es sich um eine Open Source Software zum Darstellen von räumlichen Daten und interaktiven Karten. Im Gegensatz zu normalen Karten, werden dort die Daten zum Erzeugen der Graphik und die Definitionen zum Erstellen der Karte getrennt erstellt und gespeichert. Somit kann eine Kartenstruktur erstellt werden und bei jedem Aufruf wird aufgrund dieser Struktur eine auf aktuellen Daten beruhende Karte erstellt. Der Mapserver kann unter <http://mapserver.org> heruntergeladen werden; dort finden sich auch weitere Informationen.

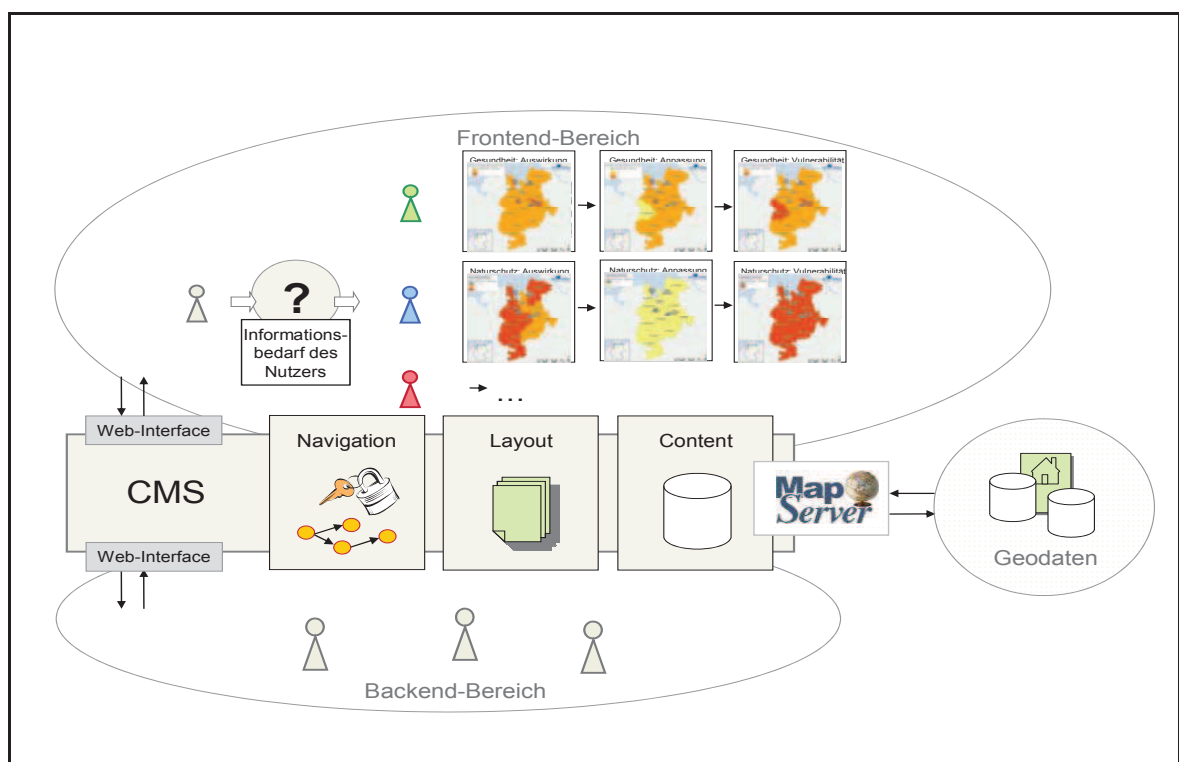


Abb. 2: Architektur des Geo-Informationssystems (eigene Darstellung)

Die Kartenerzeugung findet also auf dem Mapserver statt und die Datenverarbeitung sowie Anzeige der Karten wird über einen Webserver mit dem Content Management System (CMS) TYPO3 realisiert. Durch die implementierten Auswahlpunkte kann der Benutzer die für ihn relevanten Informationen abfragen (s. Kap. 2.4). Um die Verbindung zur Website von ‚nordwest2050‘ herzustellen wurden dort Auswahlinstrumente eingebaut, damit individuelle und Benutzerbezogene Informationen und Karten selektiert werden können. Die so erstellte Anfrage wird an den Webserver gesendet, der wiederum den Mapserver aufruft. Dieser generiert die zu der Anfrage passenden Daten und Karten und überträgt sie anschließend wieder an den Server der Website von ‚nordwest2050‘. Zu beachten ist, dass diese Karten immer neu generiert werden. Sollte sich die den Karten zugrunde liegende Datenbasis ändern, so wird automatisch eine auf den neuen Daten

beruhende Karte erzeugt. Damit ist es sehr einfach neue oder veränderte Daten in das System einzupflegen (s. hierzu auch Kap. 5).

Das (Geo-) Informationssystem stellt somit ein plattformabhängiges System dar, welches darüber hinaus einen intuitiven Systemzugang zur Aktualisierung und Bereitstellung neuer Informationen auf Grundlage einer konsequenten Verbindung von Navigation, Layout und Inhalt bietet. Wie in Abb. 2 dargestellt, gliedert es sich technisch in zwei Bereiche: Zum einen besitzt es einen Frontend-Bereich, der den sichtbaren bzw. öffentlichen Teil des Informationssystem darstellt. Zum anderen bietet das System einen Backend-Bereich zur Administration der unterschiedlichen Webinhalte, der auch externen Personen ermöglichen würde, die einzelnen Seiten anzupassen und neue Inhalte zu erstellen.

2.4 Layout: wie werden die ‚Vulnerabilitätskarten‘ dargestellt?

Zur Erhöhung der Sichtbarkeit des Informationssystems, wird es in die Website von ‚nordwest2050‘ (www.nordwest2050.de) eingebunden. So können weiterführende Informationen zu den Methoden und Ergebnissen des Projekts eingesehen oder heruntergeladen werden. Durch diese Eingliederung in die bestehende und in der Vergangenheit gut besuchte Website, sind die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalysen für ein breites Publikum verfügbar.

Das Informationssystem kann über die Website von ‚nordwest2050‘ erreicht werden, wo es unter dem Menüpunkt „Regionale Vulnerabilität“ verlinkt ist („Informationssystem RISKA“). Sobald auf diesen Punkt geklickt wird, befindet man sich direkt im Informationssystem und kann dort die in Kap. 2.2 beschriebenen Auswahlmöglichkeiten vornehmen. Der in Abb. 3 dargestellt Screenshot zeigt beispielhaft die Auswahlergebnisse für den Wirkpfad „Menschliche Gesundheit – Hitzebelastung“, wobei das „nordwest2050-Klimaszenario 2085“ und die „Ausprägung stark“ gewählt worden ist, um sich die entsprechende Vulnerabilität für die Landkreise und Städte der MPR HB-OL anzeigen zu lassen. Rechts neben der Karte werden – zur übersichtlichen Darstellung der vorgenommenen Auswahl – unter der Überschrift ‚Klimaszenario‘ die Auswahl des Klimaszenarios und seine Ausprägung angezeigt, darunter sind eine Übersichtskarte und die Legende für die jeweilige Auswahl (Auswirkungen, Anpassungskapazität, Verwundbarkeit) implementiert. Ein einführender Text, der die Auswahlmöglichkeiten und das Auswahlergebnis (die ‚Vulnerabilitätskarten‘) beschreibt, rundet das Layout des Informationssystems ab.



Abb. 3: Ansicht des Geo-Informationssystems

Über die „Dropdown-Liste“ (s. Abb. 3) lassen sich die zwei Klimaszenarien (2050 und 2085), die jeweilige Ausprägung des gewählten Klimaszenarios (schwach, stark, extrem) und die für die implementierten Handlungsbereiche spezifischen Wirkpfade auswählen. Über die unter der Dropdown-Liste liegenden Schaltflächen (mögliche Auswirkungen prüfen, Anpassungskapazität prüfen, Vulnerabilität prüfen), können dann Karten erzeugt werden. Dabei kann für jeden Wirkpfad die Höhe der (potenziellen) Auswirkungen, die (gesellschaftliche) Anpassungskapazität und die Vulnerabilität der Region in Kartenform dargestellt werden. Nach einem Klick auf eine der drei Schaltflächen, werden anhand der gewählten Parameter die entsprechenden Karten erzeugt und angezeigt.

Direkt über der Karte befinden sich vier Schaltflächen zur Navigation:



Ein Klick auf die erste Schaltfläche setzt die digitale Karte in ihren Ausgangszustand zurück.



Wählt man die zweite Schaltfläche aus und zieht mit gedrückten linker Maustaste auf der digitalen Karte ein Rechteck wird dieser Bereich anschließend vergrößert.



Mit einem Klick auf die dritte Schaltfläche verkleinert man den angezeigten Kartenausschnitt.



Klickt man auf die letzte Schaltfläche und anschließend auf einen Punkt der Karte, wird dieser Punkt zum neuen Kartenmittelpunkt.

Das Informationssystem bietet so die Möglichkeit die räumlichen Daten zur Vulnerabilität bei zukünftigem Bedarf für beliebige Kartenausschnitte im Detail anzusehen. Darüber hinaus werden die Karten bei jedem Aufruf neu erzeugt, so dass zukünftige Änderungen oder Aktualisierungen der hinter den Karten liegenden Daten automatisch auch grafisch zur Verfügung stehen.

Insgesamt kann durch das umgesetzte Layout, das auf einer geographischen Anzeige räumlicher Daten in Form von farbigen Flächen basiert, das Verständnis der abgebildeten Inhalte erleichtert und der Sachverhalt schnell und anschaulich erfasst werden (z.B. Gross et al. 2011). Zusätzlich erhöht eine interaktive Darstellung den Informationsgewinn und erlaubt es auf einer einzigen Seite Informationen für unterschiedliche Benutzergruppen und Interessen bereitzustellen. Außerdem können Benutzer so Informationen selbst generieren und sie in ihrem eigenen Tempo erfassen.

3. Handlungsbereiche und Wirkpfade: die Vulnerabilitätskriterien

3.1 Menschliche Gesundheit – Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“

Welche Kriterien sind verwendet worden?

Kriterien zur Bestimmung des einwirkenden Klimasignals (**Exposition**) sind die Zunahmen der Sommertage (Tage mit Maximaltemperatur über 25°C) und der heißen Tage (Tage mit Maximaltemperatur über 30°C) sowie längere und häufigere Hitzeperioden (mindestens 5 Tage über 25°C und davon 3 Tage über 30°C). Datenbasis sind die Differenzen zwischen dem 2050-Szenario (für die Jahre 2036–2065) bzw. dem 2085-Szenario (für die Jahre 2071–2100) und der Referenzperiode (1971–2000) aus den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien. Die Einschätzung der Stärke des Klimasignals erfolgt anhand der prozentualen oder absoluten Veränderungen in „schwach“, „stark“ und „extrem“ anhand der Spannweiten möglicher zukünftiger Klimazustände (Schuchardt et al. 2010; s. Tab. 2).

Kriterien zur Beurteilung der Empfindlichkeit (**Sensitivität**) sind 1. die Altersstruktur, 2. die Bevölkerungsdichte und 3. der Bebauungsgrad. Datenbasis ist der prozentuale Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre (für das Jahr 2010), die Einwohnerzahl pro Quadratkilometer (Bevölkerungsdichte für das Jahr 2010) und der prozentuale Anteil bebauter Fläche zu Freifläche (Datenquelle ist das Regionalmonitoring der Metropolregion Bremen-Oldenburg (MPR HB-OL): Website Regionalmonitoring; s. Tab. 2).

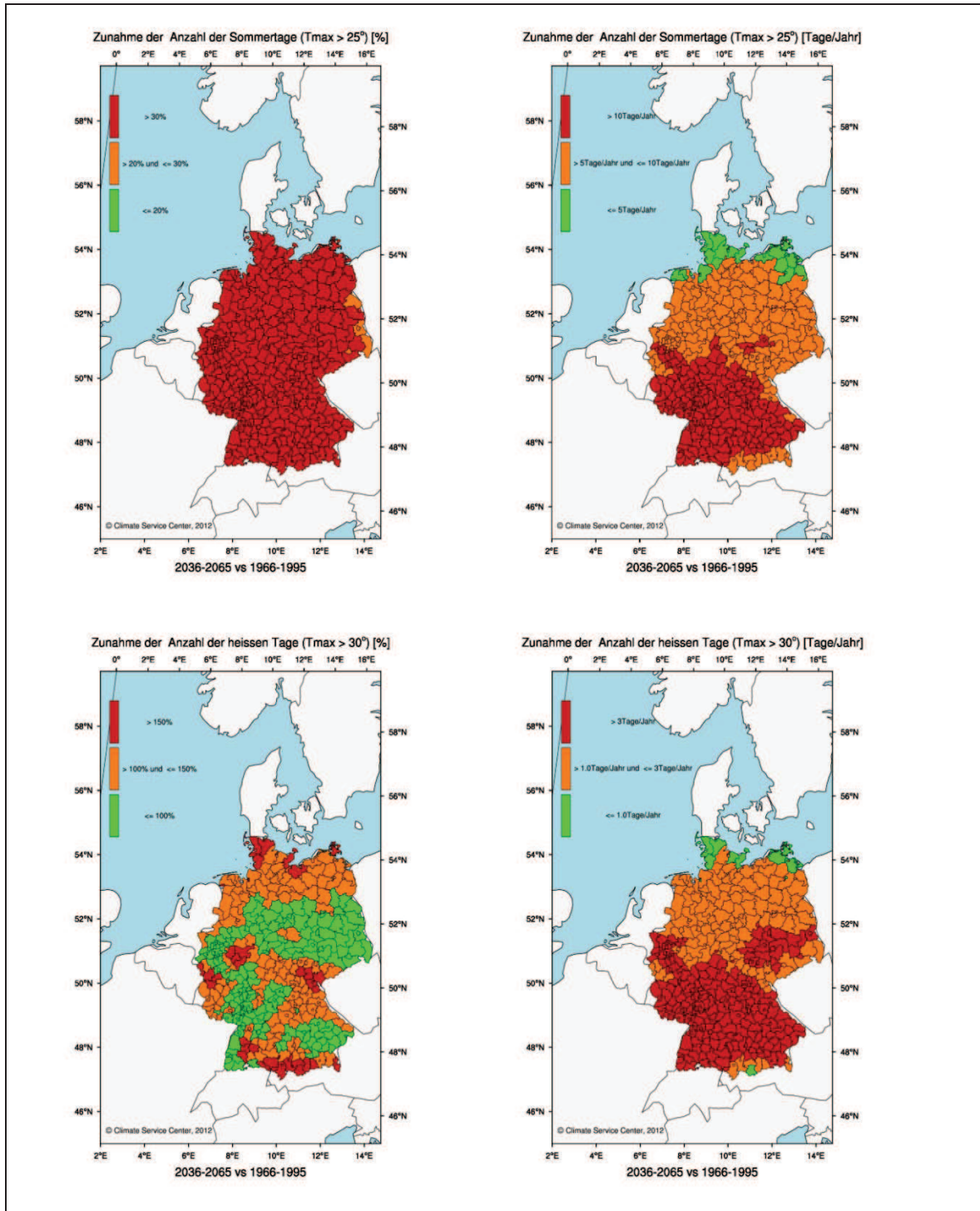
Tab. 2: Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze in der MPR HB-OL“.

Exposition		Sensitivität		Anpassungskapazität	
Kriterien	Klimasignal: Werte	Kriterien	Werte	Kriterien	Werte
Sommertage	schwach: Zunahme <30%	Altersstruktur: prozentualer Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre Bevölkerungsdichte: Einwohnerzahl pro qkm Versieglungs- / Bebauungsgrad: prozentualer Anteil bebauter Fläche zu Freifläche	<20%, >20%	Ausstattung und Kapazität im Gesundheitssystem: Ärztedichte (Ärzte pro 100.000 Einwohner) Anzahl Krankenhausbetten pro 10.000 Einwohner Anzahl Pflegeheimplätze pro 10.000 Einwohner	< 200, > 200
heiße Tage	Zunahme <45%				
Sommertage	stark: Zunahme >30%				
heiße Tage	Zunahme >45%	Einwohnerzahl pro qkm	< 600; 600 bis 1200; > 1200	Einwohner	< 50, 50 bis 75, > 75
Hitzeperioden	extrem: Intensitätszunahme (ca. 3mal häufiger für 2036–2065 und 5–6mal häufiger für 2071–2100 als für 1971–2000)	prozentualer Anteil bebauter Fläche zu Freifläche	< 16%, 16 bis 45%, > 45%		< 80, 80 bis 110, > 110

Kriterien für die **Anpassungskapazität** sind die Ausstattung und Kapazität des Gesundheitssystems. Datenbasis ist die Ärztedichte (Ärzte pro 100.000 Einwohner für 2008), die Anzahl Krankenhausbetten pro 10.000 Einwohner und die Anzahl Pflegeheimplätze pro 10.000 Einwohner (für 2009; Datenquelle ist das Regionalmonitoring der MPR HB-OL: s. Tab. 2).

Die Kriterien im Einzelnen: Ziele und Aussagefähigkeit

Kriterium „Sommertage und heiße Tage“ (Exposition)
<p>Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die Zahl der Sommertage (Tage mit Maximaltemperatur über 25°C) und der heißen Tage (Tage mit Maximaltemperatur über 30°C) klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändert.</p>
<p>Datenbasis/Quelle: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Informationen über diese Klimaparameter finden sich auch im Norddeutschen Klimaatlas unter http://www.norddeutscher-klimaatlas.de.</p>
<p>Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der klimawandelbedingten Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Die Unterscheidung in ein „schwaches“ und ein „starkes“ Klimasignal anhand der Spannweiten möglicher Klimazustände ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.</p>
<p>Belastbarkeit der Aussage: Die verwendeten regionalen Klimamodelle sind in ihren Aussagen bezüglich der Temperaturerhöhungen eindeutig: ein Anstieg wird von allen Modellen berechnet, wobei er im Herbst und Winter am größten ist. Dementsprechend sind auch die Aussagen zu den Sommertagen und den heißen Tagen relativ sicher: ihre Anzahl wird v. a. langfristig deutlich zunehmen. Aussagen zur Robustheit der projizierten Klimaänderungen finden sich in den „Klimasignalkarten“ vom CSC (Climate Service Center). Modellgestützte Informationen über kleinräumige stadtklimatische Effekte liegen nicht vor.</p> <p>Klimasignalkarten (s. Website CSC): Die vier Karten zeigen die prozentuale (links) und absolute (rechts) Zunahme der Sommertage (oben) und der heißen Tage (unten) im Vergleich der Perioden 2036–2065 und 1966–1995. Die Klimasignalkarten sind vom CSC erstellt worden.</p>



Kriterium „Hitzeperioden“ (Exposition)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die Intensität von Hitzeperioden (Häufigkeit, Dauer und Stärke) klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändert. Eine Hitzeperiode liegt dann vor, wenn in mindestens fünf aufeinander folgenden Sommertagen (Maximaltemperatur über 25°C) mindestens drei heiße Tage (Maximaltemperatur über 30°C) auftreten.

Datenbasis/Quelle: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: siehe Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Aussagen über die Intensitätszunahmen von Extremereignissen finden sich z. B. in Becker (2010), IPCC (2012), Jonas et al. (2005) und Schuchardt & Wittig (2012).

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der klimawandelbedingten Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Extremereignisse sind auch deshalb besonders relevant für die Verwundbarkeitseinschätzung, da sie schon heute – ohne beschleunigten Klimawandel – hohe Schäden verursachen können. Die Festlegung eines „extremen“ Klimasignals ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen, die über die Spannweiten hinausgeht.

Belastbarkeit der Aussage: Regionale Klimamodelle können Veränderungen in der Intensität von Extremereignissen nur eingeschränkt berechnen. Für Hitzeperioden können aus den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien Aussagen über Häufigkeit, Dauer und Stärke abgeleitet werden; Spannweiten sind allerdings nicht verfügbar. Daher kann für dieses Kriterium nicht in „schwach“ und „stark“ unterschieden werden. Modellgestützte Informationen über kleinräumige stadtklimatische Effekte liegen nicht vor.

Kriterium „Altersstruktur“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch der prozentuale Bevölkerungsanteil der über 65-jährigen an der Gesamtbevölkerung in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL ist. Es liefert Hinweise auf die Größe einer vulnerablen Bevölkerungsgruppe.

Literaturquellen: Huynen et al. (2001); Kropp et al. (2009); Lissner et al. (2011); Schauser et al. (2010); Schneiderbauer (2010); UBA (2009a); UBA (2009b).

Datenbasis: Daten zum prozentualen Bevölkerungsanteil der über 65-jährigen an der Gesamtbevölkerung sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring). Weitere Daten finden sich in den Berichten des Statistischen Landesamts Bremen und dem Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer der Anteil einer vulnerablen Bevölkerungsgruppe an der Gesamtbevölkerung ist, desto höher ist die Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: Die Verwundbarkeit älterer Menschen gegenüber Hitzebelastung ist vielfach untersucht und dokumentiert. Die Ursachen hierfür sind bekannt und vergangene extreme Hitzeperioden haben auch in Deutschland den Zusammenhang zwischen Alter und hitzebedingter Mortalität bestätigt. Allerdings wird die Altersgrenze noch kritisch diskutiert und es muss betont werden, dass weitere vulnerable Bevölkerungsgruppen vorhanden sind (u. a. Kleinkinder und Kranke). Aussagen über die gesamten temperaturbedingten Mortalitätsraten können nicht gemacht werden, da sie durch die Abnahme der Kältebelastung im Winter auch abnehmen können. Eine Verrechnung beider Effekte ist für die Region (noch) nicht möglich.

Kriterium „Bevölkerungsdichte“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch die Einwohnerzahl pro Quadratkilometer in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL ist. Es liefert zum einen Hinweise auf die Anzahl der von einer Hitzeperiode oder Hitzeextremen potenziell betroffenen Menschen, zum anderen auf die Siedlungsstruktur (ländliche Gebiete versus städtische Bereiche). Es integriert somit die absolute Zahl potenziell Betroffener mit der Wahrscheinlichkeit, dass viele Menschen in dicht besiedelten Räumen von Hitzeextremen betroffen werden. Zusätzlich ist die Bevölkerungsdichte auch ein Hinweis auf das Potenzial der Ausbildung einer urbanen Hitzeinsel.

Literaturquellen: Huynen et al. (2001); Kropp et al. (2009); Lissner et al. (2011); Schauser et al. (2010); Schneiderbauer (2010); UBA (2009a); UBA (2009b).

Datenbasis: Daten zur Bevölkerungsdichte sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring). Weitere Daten finden sich in den Berichten des Statistischen Landesamts Bremen und dem Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer die Bevölkerungsdichte, desto höher ist die Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: Der Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Verwundbarkeit gegenüber Hitzebelastung ist vielfach untersucht und dokumentiert. Dennoch muss darauf hingewiesen werden, dass aus der Bevölkerungsdichte nur begrenzt Aussagen über lokale, kleinräumige Bereiche, deren Struktur besonders vulnerabel gegenüber Hitzebelastungen für die Bevölkerung ist, gemacht werden können. Die Frage, ab welcher Dichte eine besonders hohe Verwundbarkeit vorliegt, kann (noch) nicht abschließend beantwortet werden.

Kriterium „Versiegelungs-/Bebauungsgrad“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie das Verhältnis zwischen bebauter Fläche und Freifläche in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL ist. Es liefert Hinweise auf das Potenzial zum Auftreten von (städtischen) Hitzeinseln, die sich insbesondere in versiegelt Bereichen ohne Grünräume und -strukturen bilden.

Literaturquellen: Huynen et al. (2001); Kropp et al. (2009); Lissner et al. (2011); Schauer et al. (2010); Schneiderbauer (2010); UBA (2009a); UBA (2009b).

Datenbasis: Daten zum prozentualen Anteil bebauter Fläche zu Freifläche sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring). Weitere Daten finden sich in den Berichten des Statistischen Landesamts Bremen und dem Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer der Anteil der bebauten Fläche im Verhältnis zur Freifläche ist, desto höher ist die Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: Der Zusammenhang zwischen Versiegelungsgrad und Verwundbarkeit gegenüber Hitzebelastung ist vielfach untersucht und dokumentiert. Dennoch muss darauf hingewiesen werden, dass die Angaben zum Versiegelungs- bzw. Bebauungsgrad in der vorliegenden Form nur eingeschränkt Aussagen über den tatsächlichen Grad versiegelter Fläche liefern. Dieses liegt daran, dass aus der flächenstatistischen Bestandsaufnahme, die sich an den Nutzungsarten des Liegenschaftskatasters orientiert, keine Angaben zum Anteil versiegelter Flächen direkt ableitbar sind. Die Frage, ab welchem konkreten Versiegelungsgrad Hitzeinseln verstärkt auftreten, ist von der Art der baulichen Nutzung, der Stadtstruktur sowie standörtlicher und lokalklimatischer Besonderheiten abhängig und bedarf daher kleinräumiger stadtklimatischer Modellberechnungen.

Kriterium „Ausstattung und Kapazität im Gesundheitssystem“ (Anpassungskapazität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie das Gesundheitssystem ausgestattet und damit in der Lage ist, mit gesundheitlichen (Hitze-) Belastungen der Bevölkerung der MPR HB-OL umzugehen.

Literaturquellen: Huynen et al. (2001); Schauser et al. (2010); Schneiderbauer (2010); UBA (2009a); UBA (2009b); WHO (2008); Zebisch et al. (2005).

Datenbasis: Daten zur Ärztedichte, zur Anzahl Krankenhausbetten und Pflegeheimplätze pro 10.000 Einwohner sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring). Weitere Daten finden sich in den Berichten des Statistischen Landesamts Bremen und dem Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Anpassungskapazität bestimmt zusammen mit den potenziellen Auswirkungen die Höhe der Verwundbarkeit. Je besser die Ausstattung und Kapazität im Gesundheitssystem, desto besser kann mit den potenziellen Auswirkungen umgegangen werden und desto geringer ist die Verwundbarkeit.

Belastbarkeit der Aussage: Die zur Einschätzung der Anpassungskapazität herangezogenen Daten zur Ärztedichte, zur Anzahl der Krankenhausbetten und der Pflegeheimplätze, die die Kapazität des regionalen Gesundheitssystems für den Umgang mit gesundheitlichen Belastungen durch Hitzeextreme beschreiben sollen, können nur einen Ausschnitt aus der komplexen Bewertung der Anpassungskapazität liefern. Eine vollständigere Bewertung der Anpassungskapazität müsste auch weitere Aspekte wie z. B. das Vorhandensein von Warnsystemen, Aufklärung und Sensibilisierung, klimagerechte Architektur sowie klimaangepasste Stadt- und Landschaftsplanung berücksichtigen. Zusätzlich hängt die gesellschaftliche Anpassungskapazität immer auch vom individuellen Vorsorge- und Notfallverhalten der Betroffenen und des im Gesundheitssystem tätigen Fach- und Pflegepersonals ab, über das nur schwer Aussagen zu treffen ist.

Wie kommt die Bewertung zustande?

Die Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** anhand der Verschneidung von Exposition und Sensitivität ist in Tab. 3 dargestellt. Die potenziellen Auswirkungen beschreiben die Höhe des Potenzials für Hitzebelastung einer vulnerablen Bevölkerungsgruppe, die Anzahl Betroffener und die mögliche Ausprägung von Hitzeinseln für die heutige Situation und ohne Berücksichtigung zusätzlicher, als Reaktion auf den erwarteten Klimawandel unternommener Anpassungsmaßnahmen.

Die Bewertung der **Verwundbarkeit** anhand der Verschneidung von potenziellen Auswirkungen und Anpassungskapazität ist in Tab. 4 dargestellt. Die Verwundbarkeit ist hoch, wenn die Anpassungskapazität so gering ist, dass der Umgang mit den oder die Bewältigung der potenziellen Auswirkungen schwierig erscheint. Ist die Anpassungskapazität jedoch ausreichend hoch, um die negativen Auswirkungen zu mindern, so ist die Verwundbarkeit gering.

Tab. 3: Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“ zur Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.

Exposition		Sensitivität							
		Bevölkerungsanteil über 65		Bevölkerungsdichte (Einwohner pro m ²)			bebaute Fläche zu Freifläche		
		<20%	>20%	<600	600-1200	>1200	<16%	16-45%	>45%
2050	schwach (heiße Tage und Sommertage)	gering	mittel	gering	gering-mittel	mittel	gering	gering-mittel	mittel
2050	stark (heiße Tage und Sommertage)	mittel	hoch	mittel	mittel-hoch	hoch	mittel	mittel-hoch	hoch
2085*	stark (heiße Tage und Sommertage)	mittel	hoch	mittel	mittel-hoch	hoch	mittel	mittel-hoch	hoch
2050	extrem (Hitzeperioden)	mittel-hoch	hoch	mittel-hoch	mittel-hoch	hoch	mittel-hoch	mittel-hoch	hoch
2085	extrem (Hitzeperioden)	mittel-hoch	hoch	mittel-hoch	mittel-hoch	hoch	mittel-hoch	mittel-hoch	hoch

*„schwach“ gibt es nicht für 2085, da alle relevante Klimaparameter auch für die untere Spannweite ein starkes Klimasignal besitzen

Tab. 4: Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“ zur Bewertung der **Verwundbarkeit** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.

potenzielle Auswirkungen (nach Tab. 3)	Anpassungskapazität							
	Ärztendichte (Ärzte pro 100.000 Einwohner)		Krankenhausbetten (pro 10.000 Einwohner)			Pflegeheimplätze (pro 10.000 Einwohner)		
	<200 (mittel)	>200 (hoch)	<50 (gering)	50-75 (mittel)	>75 (hoch)	<80 (gering)	80-110 (mittel)	>110 (hoch)
gering	gering	gering	mittel	gering	gering	mittel	gering	gering
mittel	mittel	gering	hoch	mittel	gering	hoch	mittel	gering
hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel

3.2 Wasserwirtschaft – Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“

Welche Kriterien sind verwendet worden?

Kriterien zur Bestimmung des einwirkenden Klimasignals (**Exposition**) sind die Zunahme der winterlichen Niederschläge, die Zunahme von Starkregentage (Tage mit mindestens 20 mm Niederschlag) sowie der Anstieg des mittleren Meeresspiegels (MW) und des mittleren Tidehochwassers (MThw). Datenbasis sind die Differenzen zwischen dem 2050-Szenario (für die Jahre 2036–2065) bzw. dem 2085-Szenario (für die Jahre 2071–2100) und der Referenzperiode (1971–2000) aus den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien. Die Einschätzung der Stärke des Klimasignals erfolgt anhand der prozentualen oder absoluten Veränderungen in „schwach“ und „stark“ anhand der Spannweiten möglicher zukünftiger Klimazustände (Schuchardt et al. 2010; s. Tab. 5).

Kriterien zur Beurteilung der Empfindlichkeit (**Sensitivität**) sind 1. die Topografie bzw. Geländehöhen der Küstenniederung der Metropolregion Bremen-Oldenburg (MPR HB-OL) und 2. die Speicherkapazität der Landschaft. Datenbasis ist die räumliche Ausdehnung der Küstenniederungen, die anhand der Marschenflächen unterhalb 2 m NN abgegrenzt wird. Die Speicherkapazität des Gewässernetzes wird anhand der Größe des Einzugsgebietes (EZG) der mit den Entwässerungsanlagen in der Hauptdeichlinie verbundenen Siel- und Grabensysteme bestimmt. Der Anteil der versiegelten Fläche in der Küstenniederung wird anhand des Verhältnisses von bebauter Fläche zu Freifläche beurteilt (für das Jahr 2008; s. Tab. 5). Datenquellen sind das Projekt „Speichern statt Pumpen“ der Nationalpark- und Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (2010) und das Regionalmonitoring der MPR HB-OL (s. Website Regionalmonitoring).

Tab. 5: Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“ (DJF = Dezember, Januar und Februar; MW = mittlerer Meeresspiegel; MThw = mittleres Tidehochwasser; EZG = Einzugsgebiet).

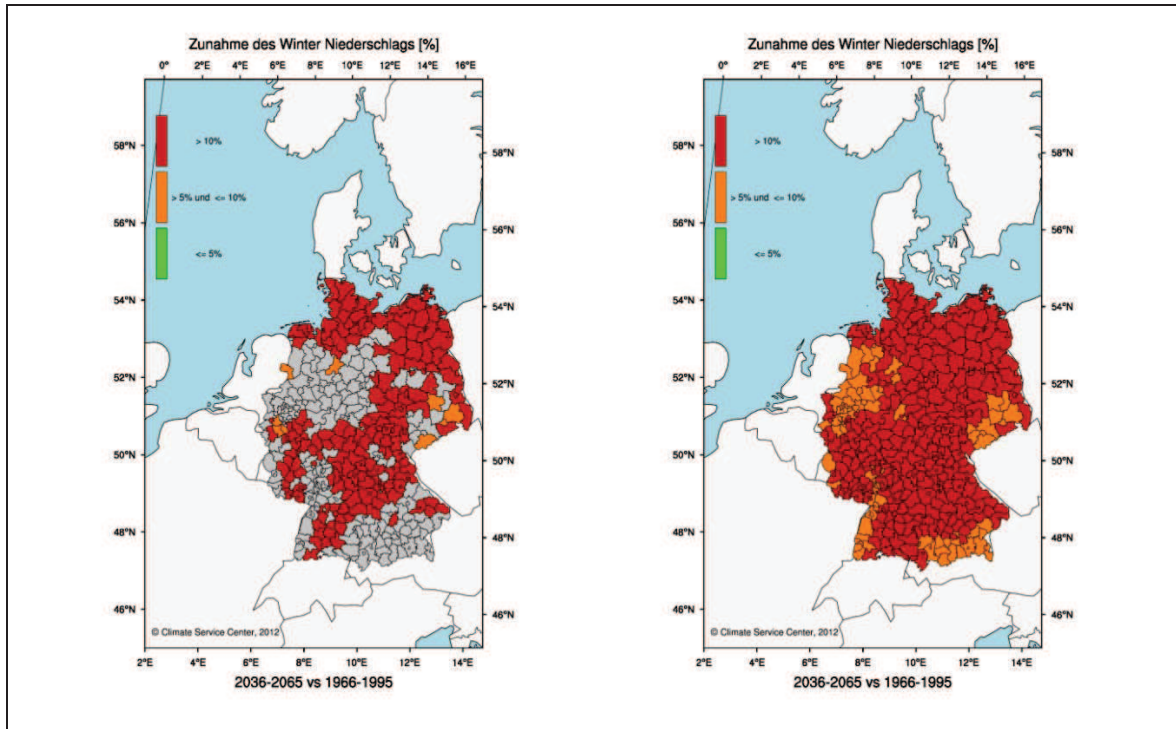
Exposition*		Sensitivität		Anpassungskapazität	
Kriterien	Klimasignal: Werte	Kriterien	Werte	Kriterien	Werte
Niederschläge im Winter (DJF)	schwach: Zunahme <10%	Geländehöhe: Anteil der unterhalb 2 m NN liegenden Flächen	< 15%, 15 bis 50%, > 50%	Pumpkapazität: Pumpleistung (m ³ /ha)	< 0,6 (niedrig), 0,6 bis 1,2 (mittel), > 1,2 (hoch)
Starkregentage	Zunahme <30%	Speicherkapazität: Größe EZG Siel- / Grabensystem (ha)	< 600, 600 bis 1200, > 1200	Art der Infrastruktur: Anzahl Siele und Schöpfwerke	viele, mittel, wenige
MW plus MThw	Anstieg < 6,5 mm/a	Speicherkapazität: Anteil versiegelter Fläche	< 20%, 20 bis 40%, > 40%	Sanierungsbedarf: Alter der Infrastruktur (Bau- / Sanierungsjahr)	vor 1950 (eher alt), 1950 bis 1980 (mittel), nach 1980 (eher neu)
Niederschläge im Winter (DJF)	stark: Zunahme >10%				
Starkregentage	Zunahme >30%				
MW plus MThw	Anstieg > 6,5 mm/a				

*Werte für Extremereignisse sind entweder nicht vorhanden oder für den Wirkpfad nicht relevant.

Kriterien für die **Anpassungskapazität** ist die Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems, die anhand der Pumpkapazität der Entwässerungsanlagen, des Alters der Entwässerungsinfrastruktur und der Art der wasserwirtschaftlichen Anlagen bewertet wird (s. Tab. 5). Hierfür konnten Erhebungen des Projekts „Speichern statt Pumpen“ genutzt werden, in dem für die Wasser- und Bodenverbände an der niedersächsischen Küste entsprechende Informationen zusammengetragen worden sind (Nationalpark- und Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 2010). Zusätzliche Datenquellen sind die Website WSV und ein Gutachten der Betriebsstelle des NLWKN Brake/Oldenburg (BioConsult 2009).

Die Kriterien im Einzelnen: Ziele und Aussagefähigkeit

Kriterium „Niederschläge im Winter“ (Exposition)
<p>Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die Niederschlagsmenge im Winter (Monate Dezember, Januar und Februar) klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändert.</p>
<p>Datenbasis/Quelle: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Informationen über diesen Klimaparameter finden sich auch im Norddeutschen Klimaatlas unter www.norddeutscher-klimaatlas.de.</p>
<p>Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der klimawandelbedingten Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Die Unterscheidung in ein „schwaches“ und ein „starkes“ Klimasignal anhand der Spannweiten möglicher Klimazustände ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.</p>
<p>Belastbarkeit der Aussage: Die verwendeten regionalen Klimamodelle sind in ihren Berechnungen bezüglich der saisonalen Niederschlagsverteilung nicht so eindeutig, wie für den Parameter Temperatur. In Abhängigkeit von den Treibhausgasemissionsszenarien sind die Spannweiten sehr groß und haben die Differenzen zur Referenzperiode zum Teil unterschiedliche Vorzeichen. Für die winterlichen Niederschläge wird allerdings von allen Modellen und Emissionsszenarien eine Zunahme berechnet, die v. a. langfristig deutlich ausfallen wird.</p>
<p>Klimasignalkarten (s. Website CSC): Die zwei Karten zeigen die prozentuale Zunahme der Winterniederschläge im Vergleich der Perioden 2036–2065 mit 1966–1995. Die rechte Karte zeigt die Veränderungen ohne Robustheitstest. Die Klimasignalkarten sind vom CSC erstellt worden.</p>



Kriterium „Starkregentage im Winter“ (Exposition)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die Anzahl von Starkregentagen (Tage mit mindestens 20 mm Niederschlag) im Winter (Monate Dezember, Januar und Februar) klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändert.

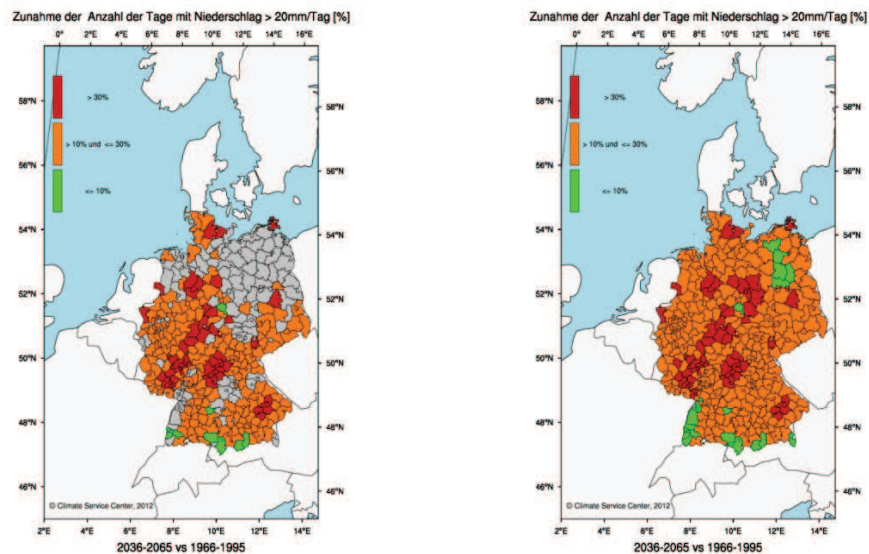
Datenbasis/Quelle: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010). Aussagen über die Intensitätszunahmen von extremen Niederschlagsereignissen finden sich z. B. in IPCC (2012), Jonas et al. (2005) und Schuchardt & Wittig (2012).

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der klimawandelbedingten Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Aus der Veränderung der Häufigkeit von Starkregentagen können Hinweise auf die Intensität von extremen Niederschlagsereignissen abgeleitet werden. Solche Extremereignisse sind auch deshalb besonders relevant für die Verwundbarkeitseinschätzung, da sie schon heute – ohne beschleunigten Klimawandel – hohe Schäden verursachen können. Die Unterscheidung in ein „schwaches“ und ein „starkes“ Klimasignal anhand der Spannweiten möglicher Klimazustände ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.

Belastbarkeit der Aussage: Die verwendeten regionalen Klimamodelle sind in ihren Aussagen bezüglich der veränderten Häufigkeit von Starkregentagen vergleichsweise unsicher. Zum einen sind die absoluten Veränderungen sehr gering, da in der Referenzperiode nur sehr wenig solcher Ereignisse auftreten. Zum anderen sind konvektive Niederschlagsereignisse nur schwer zu modellieren, da sie meist nur kleinräumig auftreten. Insgesamt zeigen die Modellergebnisse für

den Winter eine Zunahme, die v. a. langfristig deutlich ausfallen kann. Weiterhin sind Starkregentage nicht wirklich Extremereignisse, da 20 mm Niederschlag über einen gesamten Tag betrachtet nicht extrem ist; in einer Stunde jedoch schon. Die Festlegung eines „extremen“ Klimasignals wird daher nicht vorgenommen.

Klimasignalkarten (s. Website CSC): Die zwei Karten zeigen die prozentuale Zunahme der Starkregentage im Vergleich der Perioden 2036–2065 mit 1966–1995. Die rechte Karte zeigt die Veränderungen ohne Robustheitstest. Die Klimasignalkarten sind vom CSC erstellt worden.



Kriterium „mittlerer Meeresspiegel und mittleres Tidehochwasser“ (Exposition)

Aussage: Das Kriterium gibt an, mit welchem mittleren Meeresspiegelanstieg und mit welchem mittleren Tidehochwasseranstieg klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) gerechnet werden muss. Für den Wirkpfad ist die Summe aus beiden Parametern relevant.

Datenbasis/Quelle: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Für Aussagen über die klimawandelbedingten Wasserstandsänderungen wurden folgende Quellen genutzt: Grinsted et al. (2009); IPCC (2007); Jensen & Mudersbach (2007); Rahmstorf (2007); Rahmstorf et al. (2007); Rahmstorf & Richardson (2007); Schirmer (2005); Schuchardt et al. (2008); WBGU (2006) und Woth & von Storch (2008).

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Die Unterscheidung in ein „schwaches“ und ein „starkes“ Klimasignal anhand der Spannweiten möglicher Geschwindigkeiten für den Anstieg der Wasserstände ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.

Belastbarkeit der Aussage: Die Angaben zum Anstieg der Wasserstände können nicht aus den regionalen Klimamodellen abgeleitet werden. Daher musste auf globale Werte und die genannten Quellen zurückgegriffen werden. Diese Werte und Literaturangaben sind jedoch mit relativ großen Unsicherheiten verbunden. Zum einen spielen insbesondere bei regionalen Wasserstandsveränderungen viele Faktoren eine Rolle, die häufig von menschlichen Eingriffen im Küsten und Flussbereich überlagert werden. Daher sind in Zeitreihen von Wasserstandsaufzeichnungen Klimawandeleffekte nur schwer zu entdecken. Zum anderen besteht v. a. über die Abschmelzgeschwindigkeit der terrestrischen Eismassen noch Unklarheit. Diese Unsicherheiten spiegeln sich in den sehr großen Spannweiten über die Geschwindigkeit des Anstiegs wider. Eindeutig ist allerdings, dass es regional zu einem Anstieg kommen wird.

Kriterium „Geländehöhe“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch der prozentuale Anteil der unterhalb 2 m NN liegenden Flächen in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL ist. Es liefert damit Hinweise auf die Größe der nicht im freien Sielzug und damit zumindest zeitweise gegen die Tidehochwasserstände zu entwässernde Fläche.

Literaturquellen: Bormann et al. (2009); Hoffmann et al. (2005); Malsy (2010); Maniak et al. (2005); Nationalpark- und Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (2010); Schuchardt & Schirmer (2005).

Datenbasis: Daten zur Geländehöhe bzw. zur 2 Meter NN-Höhenlinie entstammen dem Projekt „Speichern statt Pumpen“. Für die prozentualen Flächenanteile wurden eigene Berechnungen in einem GIS durchgeführt.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer der Anteil tiefliegender Flächen an den Landkreisen der MPR HB-OL, desto größer ist der Bedarf nach Entwässerung durch Pumpen und desto höher ist die Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: Zur Differenzierung des Kriteriums ist zwischen Flächen unterhalb und oberhalb 2 m NN unterschieden worden, da dieser Wert ungefähr der Höhe des mittleren Tidehochwassers (MThw) entspricht. Allerdings ist das MThw entlang der Küsten- und Ästuarlinie in der MPR HB-OL nicht identisch (z. B. Bremerhaven 1,81 m NN; Bremen 2,52 m NN), so dass die auf der Geländehöhe basierenden Aussagen über den eingeschränkten Sielzug weiter räumlich detailliert werden müssten. Weiterhin ist der freie Sielzug bzw. die Notwendigkeit zum Pumpen entscheidend von den Tideniedrigwasserständen abhängig. Auch diese variieren innerhalb der Region (z. B. Bremerhaven -1,95 m NN; Bremen -1,58 m NN). Das Kriterium Geländehöhe kann daher in der vorliegenden Differenzierung nur eine Annäherung an die lokalen und realen Entwässerungszustände bzw. -notwendigkeiten darstellen.

Kriterium „Speicherkapazität“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie groß die Speicherkapazität der Küstenniederung ist. Es integriert zum einen die Wasserspeicherungsmöglichkeiten in den Einzugsgebieten der Siel- und Grabensysteme der Marschlandschaft, zum anderen die versiegelte Fläche in den Landkreisen und Städten der Küstenniederung der MPR HB-OL.

Literaturquellen: Bormann et al. (2009); CSC (2011); Hoffmann et al. (2005); LAWA (2010); Malsy (2010); Maniak et al. (2005); Nationalpark- und Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (2010).

Datenbasis: Daten zur Speicherkapazität entstammen dem Projekt „Speichern statt Pumpen“. Daten für den Grund- und Bodenwasserhaushalt sowie für die wasserwirtschaftliche Situation der Unterwesermarsch konnten dem Projekt „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU) entnommen werden (Schuchardt & Schirmer 2005). Umfangreiche Daten zu den Einzugsgebietsgrößen der Entwässerungsbauwerke finden sich in BioConsult (2009). Daten zum prozentualen Anteil bebauter Fläche zu Freifläche sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring).

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer die Speicherkapazität der Küstenniederung, desto geringer ist der Entwässerungsbedarf und desto kleiner ist die Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: An die technischen Entwässerungsanlagen in der Hauptdeichlinie (sog. Mündungsbauwerk) der Region sind die Siel- und Grabensysteme der Marschlandschaft angeschlossen. Dieses Systeme und insbesondere der Hauptvorfluter (sog. Haupttief) müssen so dimensioniert sein, dass eine auf die Siel- bzw. Schöpfwerksleistung abgestimmte Wassermenge abgeführt werden kann. Die Siel- und Grabensysteme sind damit der Stauraum, in dem zur Überbrückung der Zeiträume mit verhindertem freiem Sielabfluss und bei fehlender Pumpkapazität Wasser gespeichert werden kann. Dementsprechend liefert die Größe der Einzugsgebiete der Siel- und Grabensysteme einen ersten Hinweis auf die Speicherkapazität der Küstenniederung. Allerdings wird die Speicherkapazität auch durch die Größe bzw. rückhaltbaren Wasservolumina der Gräben und Siele bestimmt. Sowohl die Notwendigkeit als auch die Möglichkeiten zur Speicherung ergeben sich zusätzlich aus der Höhenlage der Marschgebiete und den angestrebten bzw. gewünschten Wasserständen (sog. Meliorationswasserstände) in den Siel- und Grabensystemen.

Die Angaben zum Versiegelungs- bzw. Bebauungsgrad in der vorliegenden Form können nur eingeschränkt Aussagen über den tatsächlichen Grad der versiegelten Fläche – in der also eine Versickerung des Wassers in den Boden erfolgen kann – liefern. Dieses liegt daran, dass aus der flächenstatistischen Bestandsaufnahme, die sich an den Nutzungsarten des Liegenschaftskatasters orientiert, keine Angaben zum Anteil versiegelter Flächen direkt ableitbar sind.

Kriterium „Pumpkapazität“ (Anpassungskapazität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch die Pumpkapazität zur Entwässerung der tief liegenden Marschen der Küstenniederung ist.

Literaturquellen: Bormann et al. (2009); CSC (2011); Hoffmann et al. (2005); LAWA (2010); Malsy (2010); Maniak et al. (2005); Nationalpark- und Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (2010).

Datenbasis: Daten zur Pumpkapazität entstammen dem Projekt „Speichern statt Pumpen“. Die dort zusammengetragenen Informationen zur Wasserwirtschaft in tief liegenden und tidebeeinflussten Küstengebieten basieren auf Daten über die Verbandsanlagen und -gebiete der Wasser- und Bodenverbände. Daten für den Grund- und Bodenwasserhaushalt sowie für die wasserwirtschaftliche Situation der Unterwesermarsch konnten dem Projekt „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU) entnommen werden (Schuchardt & Schirmer 2005). Umfangreiche Daten zu den Entwässerungsbauwerken finden sich in BioConsult (2009). Angaben zu den Pumpleistungen für Bremen kommen vom Bremischen Deichverband am rechten Weserufer.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Anpassungskapazität bestimmt zusammen mit den potenziellen Auswirkungen die Höhe der Verwundbarkeit. Je größer die Kapazität der technischen Entwässerungsinfrastruktur zum Pumpen, desto besser kann mit den potenziellen Auswirkungen umgegangen werden und desto geringer ist die Verwundbarkeit.

Belastbarkeit der Aussage:

Die zur Einschätzung der Anpassungskapazität herangezogenen Daten zur Pumpkapazität basieren auf einer überblicksartigen Zusammenstellung der Leistungen der im Gebiet vorhandenen Pumpanlagen. Konkrete Nachfragen über die Pumpleistungen oder Pumpmengen bei den mit der Entwässerung beauftragten Verbänden konnten nicht durchgeführt werden. Das bedeutet, dass möglicherweise erstens nicht alle Bauwerke erfasst worden sind und dass daher zweitens die tatsächlichen Pumpkapazitäten unterschätzt werden. Die Differenzierung des Kriteriums beschränkt sich daher auf eine qualitative Einstufung (niedrig, mittel, hoch).

Kriterium „Art der Infrastruktur“ (Anpassungskapazität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie die Entwässerungsinfrastruktur (Siele und Schöpfwerke) der tief liegenden Marschen der Küstenniederung ausgeprägt ist. Es liefert Hinweise auf die Leistungsfähigkeit zur Entwässerung dieser technischen Einrichtungen.

Literaturquellen: Bormann et al. (2009); CSC (2011); LAWA (2010); Malsy (2010); Maniak et al. (2005); Nationalpark- und Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (2010); Zimmermann et al. (2005).

Datenbasis: Daten zur Entwässerungsinfrastruktur entstammen dem Projekt „Speichern statt Pumpen“. Die dort zusammengetragenen Informationen zur Wasserwirtschaft in tief liegenden und tidebeeinflussten Küstengebieten basieren auf Daten über die Verbandsanlagen und -gebiete der Wasser- und Bodenverbände. Daten für den Grund- und Bodenwasserhaushalt sowie für die wasserwirtschaftliche Situation der Unterwesermarsch konnten dem Projekt „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU) entnommen werden (Schuchardt & Schirmer 2005). Umfangreiche Daten zu den Entwässerungsbauwerken finden sich in BioConsult (2009). Angaben zu den Bauwerken für Bremen kommen vom Bremischen Deichverband am rechten Weserufer; für Niedersachsen sind sie im Atlas der Küstenschutzbauwerke des Franzius-Instituts dokumentiert.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Anpassungskapazität bestimmt zusammen mit den potenziellen Auswirkungen die Höhe der Verwundbarkeit. Je mehr leistungsfähige Entwässerungsanlagen vorhanden sind, desto besser kann mit den potenziellen Auswirkungen umgegangen werden und desto geringer ist die Verwundbarkeit. Die Leistungsfähigkeit der technischen Entwässerungsanlagen wird dabei differenziert: Schöpfwerke werden als leistungsfähiger als Siele eingestuft.

Belastbarkeit der Aussage:

Die in der Hauptdeichlinie liegenden wasserwirtschaftlichen Anlagen in der Küstenniederung werden nach Sielen und Schöpfwerken unterschieden. Es liegen allerdings nicht überall Informationen über die tatsächliche Art von mit Pumpen ausgestatteten Siel- und Schöpfwerken in den jeweiligen Entwässerungsverbänden der Landkreise der Region vor. Jedes Bauwerk kann weiterhin gleichzeitig verschiedenen Zwecken dienen, so dass verschiedene Kombinationen möglich sind. Grundsätzlich kann aber zwischen passiven und aktiven Bauwerken für die Entwässerung unterschieden werden. Während Siele und Schöpfwerke (Mündungsbauwerke) der Entwässerung tief liegender Küstengebiete dienen, können auch Schleusen diese Funktion übernehmen, allerdings nur in begrenztem Umfang. Die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Entwässerungsinfrastruktur kann damit für die Landkreise nur qualitativ unterschieden werden. Sie lehnt sich an die von Kunz (1975) differenzierten Gebietstypen der Entwässerung in tidebeeinflussten Küstengebieten an: 1. Das Gebiet kann überwiegend im freien Sielzug entwässern, wobei für schwierige Situationen ein Schöpfwerk zur Verfügung stehen kann. 2. Im Gebiet können die gewünschten Wasserstände nicht nur durch natürliche Entwässerung erreicht werden, sondern alle Abflüsse sind entweder über Siel- oder Schöpfwerke zu entwässern bzw. zu pumpen. 3. Das Gebiet muss weitestgehend durch Schöpfwerke entwässert werden, wobei die Entwässerungsbedürfnisse von Teilgebieten den Einsatz von Unterschöpfwerken erfordern. Insofern kann nur indirekt über die Entwässerungsnotwendigkeiten auf die Leistungsfähigkeit der Entwässerungsanlagen eines Gebiets geschlossen werden.

Kriterium „Sanierungsbedarf“ (Anpassungskapazität)
<p>Aussage: Das Kriterium gibt an, wie alt die Entwässerungsinfrastruktur (Siele und Schöpfwerke) der tief liegenden Marschen der Küstenniederung ist. Es liefert Hinweise auf die Leistungsfähigkeit dieser technischen Einrichtungen.</p>
<p>Literaturquellen: Bormann et al. (2009); LAWA (2010); Malsy (2010); Maniak et al. (2005); Nationalpark- und Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (2010); Zimmermann et al. (2005).</p>
<p>Datenbasis: Daten zum Alter entstammen dem Projekt „Speichern statt Pumpen“. Die dem Projekt „Speichern statt Pumpen“ entnommenen Informationen zur Wasserwirtschaft in tief liegenden und tidebeeinflussten Küstengebieten basieren auf Daten über die Verbandsanlagen und -gebiete der Wasser- und Bodenverbände. Daten für den Grund- und Bodenwasserhaushalt sowie für die wasserwirtschaftliche Situation der Unterwesermarsch konnten dem Projekt „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU) entnommen werden (Schuchardt & Schirmer 2005). Umfangreiche Daten zu den Entwässerungsbauwerken finden sich in BioConsult (2009).</p>
<p>Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Anpassungskapazität bestimmt zusammen mit den potenziellen Auswirkungen die Höhe der Verwundbarkeit. Je neuer und daher weniger sanierungsbedürftig die technischen Anlagen zur Entwässerung sind, desto besser kann mit den potenziellen Auswirkungen umgegangen werden und desto geringer ist die Verwundbarkeit.</p>
<p>Belastbarkeit der Aussage:</p> <p>Das Alter und daraus abgeleitet der Sanierungsbedarf ist kein direktes Kriterium für die Leistungsfähigkeit der Entwässerungsinfrastruktur. Dieses Kriterium basiert vielmehr auf der Überlegung, dass klimawandelbedingt eine Ertüchtigung der älteren Anlagen notwendig werden kann; sowohl durch Anpassung der Bauwerkshöhe, als auch der Installation zusätzlicher oder stärkerer Pumpen. Insofern kann „neuer“ nicht unbedingt mit „leistungsfähiger“ gleichgesetzt werden und „älter“ kann auch heißen, dass Erneuerungsbedarf schon geplant ist, der dann auch der Klimaanpassung dient. Es wird daher auf eine qualitative Differenzierung des Kriteriums zurückgegriffen (eher alt, mittel, eher neu).</p>

Wie kommt die Bewertung zustande?

Die Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** anhand der Verschneidung von Exposition und Sensitivität ist in Tab. 6 dargestellt. Die potenziellen Auswirkungen beschreiben die klimawandelbedingte Zunahme des winterlichen Entwässerungsbedarfs für die heutige Situation und ohne Berücksichtigung zusätzlicher, als Reaktion auf den erwarteten Klimawandel unternommener Anpassungsmaßnahmen.

Tab. 6: Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“ zur Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL

Exposition		Sensitivität								
		Geländehöhe (%-Anteil unter 2 m NN)			Größe EZG Siel- / Grabensystem (in ha)			versiegelte Fläche (in %)		
		<15	15–50	>50	<600	600–1200	>1200	<20	20–40	>40
2050	schwach (winterlicher Niederschlag, Starkregen, MW + MThw)	gering	gering-mittel	mittel	mittel	gering-mittel	gering	gering	gering-mittel	mittel
2050	stark (winterlicher Niederschlag, Starkregen, MW + MThw)	mittel	mittel-hoch	hoch	hoch	mittel-hoch	mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
2085	schwach (winterlicher Niederschlag, Starkregen, MW + MThw)	gering	gering-mittel	mittel	mittel	gering-mittel	gering	gering	gering-mittel	mittel
2085	stark (winterlicher Niederschlag, Starkregen, MW + MThw)	mittel	mittel-hoch	hoch	hoch	mittel-hoch	mittel	mittel	mittel-hoch	hoch

Die Bewertung der **Verwundbarkeit** anhand der Verschneidung von potenziellen Auswirkungen und Anpassungskapazität ist in Tab. 7 dargestellt. Die Verwundbarkeit ist hoch, wenn die Anpassungskapazität so gering ist, dass der Umgang mit den oder die Bewältigung der potenziellen Auswirkungen schwierig erscheint. Ist die Anpassungskapazität jedoch ausreichend hoch, um die negativen Auswirkungen zu mindern, so ist die Verwundbarkeit gering.

Tab. 7: Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“ zur Bewertung der **Verwundbarkeit** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL

potenzielle Auswirkungen (nach Tab. 6)	Anpassungskapazität								
	Pumpleistung (in m ³ /ha)			Art der wasserwirtschaftlichen Anlagen			Alter der Infrastruktur		
	<0,6 (gering)	0,6-1,2 (mittel)	>1,2 (hoch)	nur Siele (gering)	nur Schöpfwerke (mittel)	Siel- und Schöpfwerk (hoch)	vor 1950 (gering)	1950 bis 1980 (mittel)	nach 1980 (hoch)
gering	mittel	gering	gering	mittel	gering	gering	mittel	gering	gering
mittel	hoch	mittel	gering	hoch	mittel	gering	hoch	mittel	gering
hoch	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel

3.3 Biodiversität und Naturschutz – Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume am Beispiel der Schutzgebiete der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie“

Welche Kriterien sind verwendet worden?

Kriterien zur Bestimmung des einwirkenden Klimasignals (**Exposition**) sind die Zunahme der Jahrestemperatur und der saisonalen Temperaturen, der frostfreie Tage (Tage mit Minimaltemperatur über 0°C), die Abnahme sommerlicher Niederschlagsmengen und die reduzierte klimatische Wasserbilanz. Zusätzlich wird für die vor dem Deich liegenden Schutzgebiete der Anstieg des mittleren Meeresspiegels und des mittleren Tidehochwassers berücksichtigt. Datenbasis sind die Differenzen zwischen dem 2050-Szenario (für die Jahre 2036–2065) bzw. dem 2085-Szenario (für die Jahre 2071–2100) und der Referenzperiode (1971–2000) aus den „nordwest2050“-Klimaszenarien. Die Einschätzung der Stärke des Klimasignals erfolgt anhand der prozentualen oder absoluten Veränderungen in „schwach“ und „stark“ anhand der Spannweiten möglicher zukünftiger Klimazustände (Schuchardt et al. 2010; s. Tab. 8).

Kriterien zur Beurteilung der Empfindlichkeit (**Sensitivität**) sind 1. die Sensitivität der in den Flora-Fauna-Habitat-Gebieten (FFH-Gebieten) vorkommenden Lebensraumtypen (LRT; Einschätzung anhand der Sensitivitätskriterien Regenerierbarkeit, Flächenverlust, Bestandsentwicklung, qualitative Gefährdung, Wasserabhängigkeit und Erhaltungszustand), 2. die FFH-Gebietsgröße und 3. der Flächenanteil der FFH-Gebiete an den Landkreisen. Datenbasis ist der prozentuale Anteil hoch sensibler FFH-LRT in den jeweiligen FFH-Gebieten, der Mittelwert der Flächengröße der FFH-Gebiete und der prozentuale Anteil der FFH-Gebiete an der Gesamtfläche der jeweiligen Landkreise, kreisfreien Städten und für das Bundesland Bremen (die FFH-Gebiete „Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer“ und „Untere Elbe“ sind dabei nicht berücksichtigt). Datenquellen für die Flächenanteile der LRT in den FFH-Gebieten sind die Websites NLWKN a und b, NIS und BfN a und b. Für die räumliche Zuordnung der Gebietsgrößen und Flächenanteile der FFH-Gebiete in der MPR HB-OL sind eigene Berechnungen in einem geografischen Informationssystem durchgeführt worden (s. Tab. 8).

Kriterien für die **Anpassungskapazität** könnten die natürliche Anpassungsfähigkeit (z. B. das Aufwuchs- bzw. Mitwachsvermögen der Lebensräume vor den Deichen) und die vorhandenen Schutzziele und -zwecke sein. Da räumlich differenzierte Informationen hierüber nur in wenigen Fällen kleinräumig oder gar nicht vorliegen, wird die Anpassungskapazität für die gesamte MPR HB-OL bei einem schwachen Klimasignal als mittel und bei einem starken Klimasignal als gering eingeschätzt (s. Petermann et al. 2007; Badeck et al. 2007; Schuchardt et al. 2011; Schuchardt & Wittig 2012).

Tab. 8: Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume am Beispiel der FFH-Schutzgebiete“ (FFH = Flora-Fauna-Habitat; LRT = Lebensraumtypen; LK = Landkreise).

Exposition*		Sensitivität		Anpassungskapazität	
Kriterien	Klimasignal: Werte	Kriterien	Werte	Kriterien	Werte
Jahres- und saisonale Temperaturen frostfreie Tage sommerlicher Niederschlag und klimatische Wasserbilanz mittlerer Meeresspiegel und mittleres Tidehochwasser	schwach: Zunahme <2°C Zunahme <35% Zunahme <10% Anstieg < 6,5 mm/a	Sensitivität der FFH-LRT: Anteil hoch sensibler FFH-LRT (an den FFH-Gebieten) Flächengröße der FFH-Gebiete Anteil FFH-Gebiete (an LK/Städten)	<10%, 10 bis 20%, >20% Mittelwert (in ha): <400, 400 bis 800, >800 <5%, 5 bis 10%, >10%	Anpassungskapazität des Naturschutzes (ohne räumliche Daten)	mittel für schwaches Klimasignal gering für starkes Klimasignal
Jahres- und saisonale Temperaturen frostfreie Tage sommerlicher Niederschlag und klimatische Wasserbilanz mittlerer Meeresspiegel und mittleres Tidehochwasser	stark: Zunahme >2°C Zunahme >35% Zunahme >10% Anstieg > 6,5 mm/a				

*Werte für Extremereignisse sind entweder nicht vorhanden oder für den Wirkpfad nicht relevant;

Die Kriterien im Einzelnen: Ziele und Aussagefähigkeit

Kriterium „Temperatur (saisonal, Jahr) und frostfreie Tage“ (Exposition)

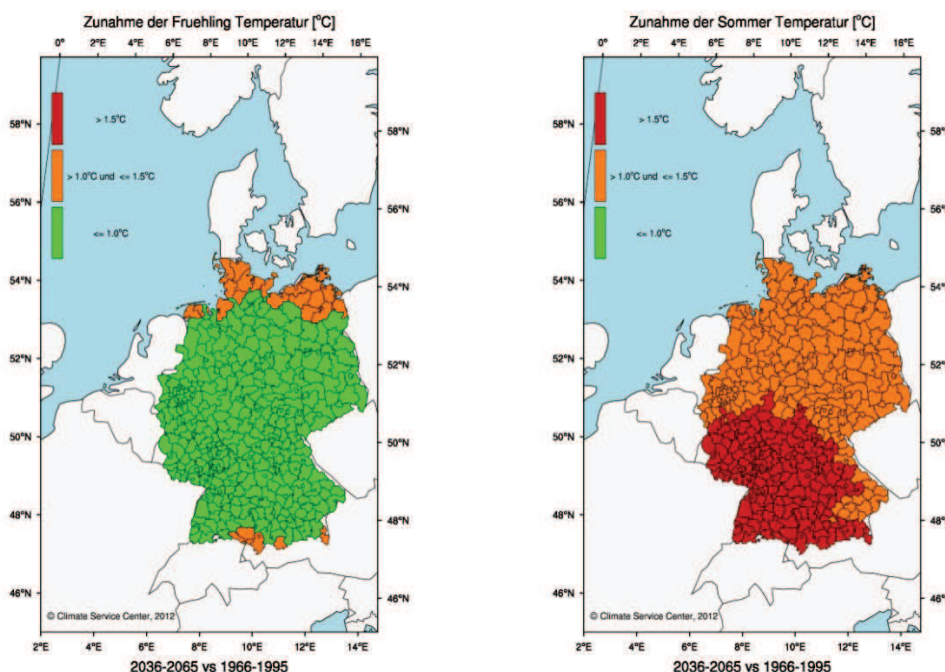
Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die saisonalen und Jahrestemperaturen sowie die Zahl von frostfreien Tagen (Tagesminimumtemperatur über 0°C) klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändern.

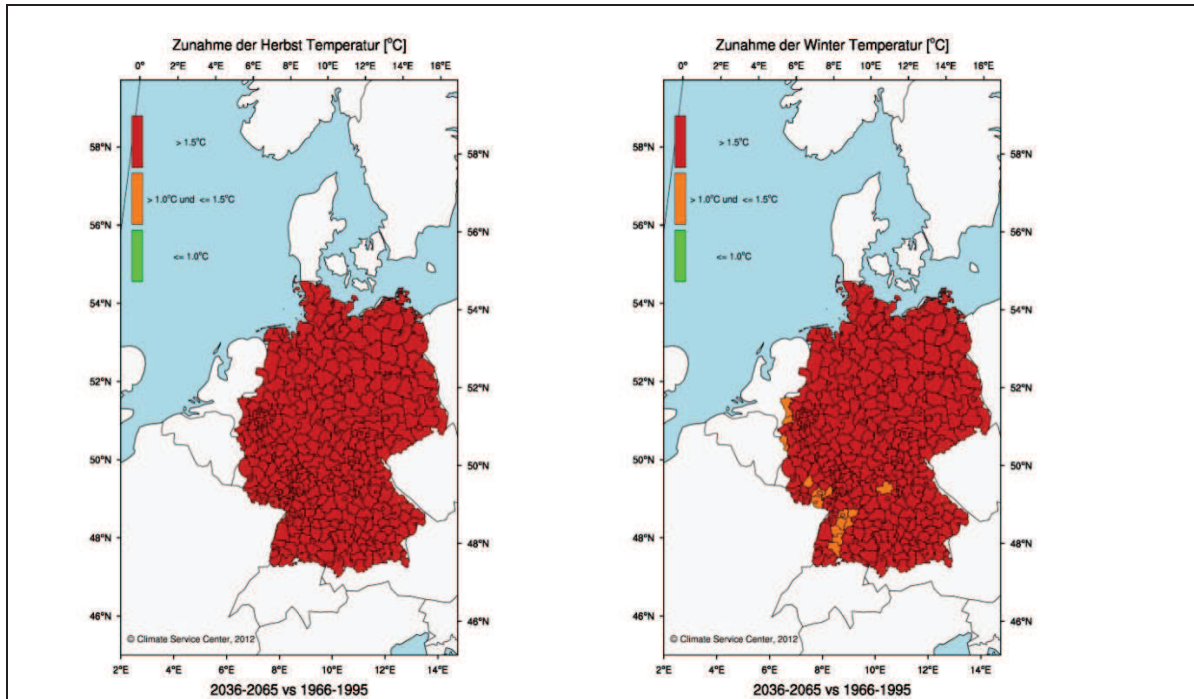
Datenbasis: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Informationen über diese Klimaparameter finden sich zum Teil auch im Norddeutschen Klimaatlas unter www.norddeutscher-klimaatlas.de.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Die Unterscheidung in ein „schwaches“ und ein „starkes“ Klimasignal anhand der Spannweiten möglicher Klimazustände ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.

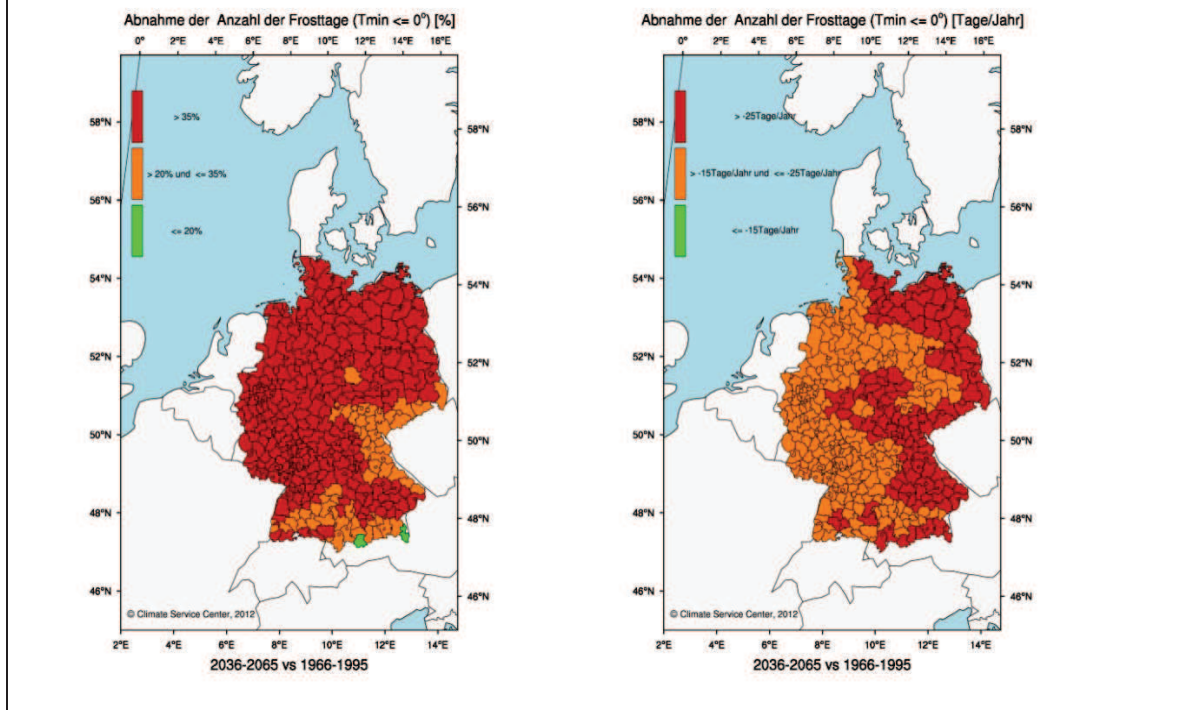
Belastbarkeit der Aussage: Die verwendeten regionalen Klimamodelle sind in ihren Aussagen bezüglich der Temperaturerhöhungen eindeutig: ein Anstieg wird von allen Modellen berechnet, wobei er im Herbst und Winter am größten ist. Dementsprechend sind auch die Aussagen zu den frostfreien Tagen vergleichsweise belastbar: ihre Anzahl wird zunehmen.

Klimasignalkarten (s. Website CSC): Die vier Karten zeigen die Veränderungen der saisonalen Temperaturen im Vergleich der Perioden 2036–2065 mit 1966–1995. Die Klimasignalkarten sind vom CSC erstellt worden.





Die folgenden zwei Karten zeigen die relative (links) und absolute (rechts) Abnahme der Frosttage im Vergleich der Perioden 2036–2065 und 1966–1995. Die Klimasignalkarten sind vom CSC erstellt worden (s. Website CSC).



**Kriterium „Niederschlagsmengen und klimatische Wasserbilanz im Sommer“
(Exposition)**

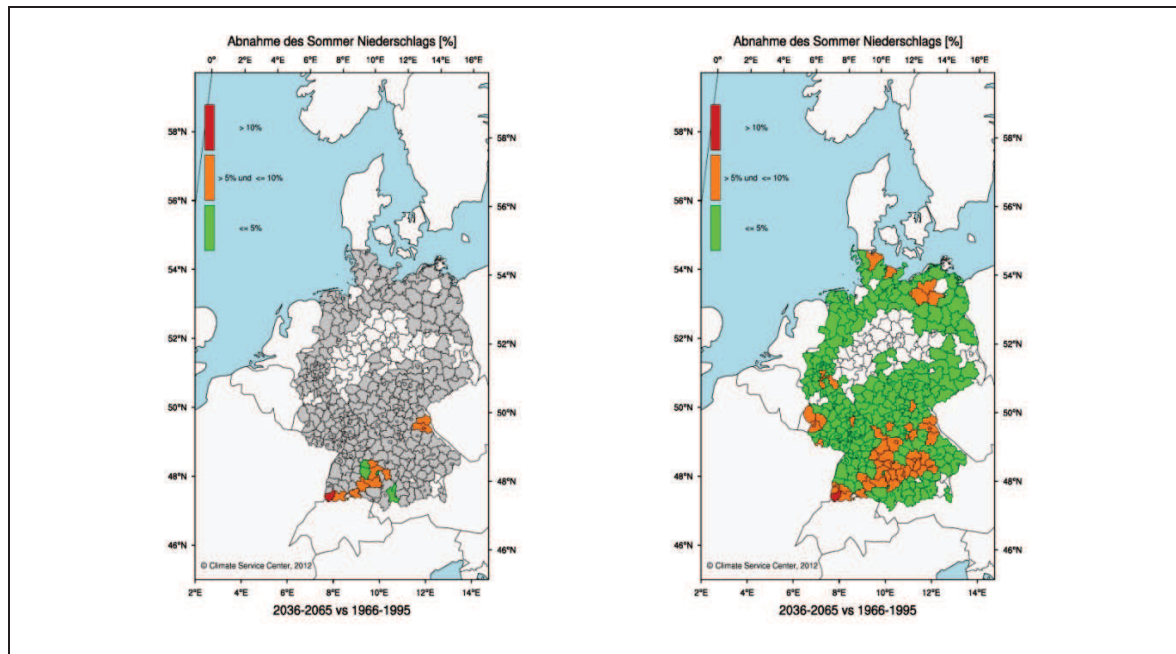
Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die Niederschlagsmengen und die klimatische Wasserbilanz (Niederschlag minus Verdunstung) im Sommer (Monate Juni, Juli und August) klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändern.

Datenbasis: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Informationen über den Klimaparameter Niederschlagsmengen mit seinen Spannweiten finden sich auch im Norddeutschen Klimaatlas unter www.norddeutscher-klimaatlas.de.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Die Unterscheidung in ein „schwaches“ und ein „starkes“ Klimasignal anhand der Spannweiten möglicher Klimazustände ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.

Belastbarkeit der Aussage: Die verwendeten regionalen Klimamodelle sind in ihren Berechnungen bezüglich der saisonalen Niederschlagsverteilung nicht so eindeutig, wie für den Parameter Temperatur. In Abhängigkeit von den eingehenden Treibhausgasemissionsszenarien sind die Spannweiten sehr groß und haben die Differenzen zur Referenzperiode zum Teil unterschiedliche Vorzeichen. Für die sommerlichen Niederschläge wird allerdings von allen Modellen und Emissionsszenarien bis zum Jahr 2100 eine Abnahme berechnet; für das Jahr 2050 sind die Differenzen nicht eindeutig negativ. Für die Veränderungen der klimatischen Wasserbilanz liegen keine Spannweiten vor und die Ergebnisse der regionalen Modelle variieren für die einzelnen Monate zum Teil deutlich. Sie nimmt aber für 2100 einheitlich in den Sommermonaten ab.

Klimasignalkarten (s. Website CSC): Die zwei Karten zeigen die prozentuale Abnahme der Sommerniederschläge im Vergleich der Perioden 2036–2065 mit 1966–1995. Die rechte Karte zeigt die Veränderungen ohne Robustheitstest. Die weiß dargestellten Landkreise zeigen ein von der Änderungsrichtung abweichendes Klimasignal (hier Zunahme des Sommerniederschlags statt Abnahme).



Kriterium „mittlerer Meeresspiegel und mittleres Tidehochwasser“ (Exposition)

Aussage: Das Kriterium gibt an, mit welchem mittleren Meeresspiegelanstieg und mit welchem mittleren Tidehochwasseranstieg klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) gerechnet werden muss. Für den Wirkpfad ist die Summe aus beiden Parametern relevant.

Datenbasis/Literaturquellen: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Für Aussagen über die klimawandelbedingten Wasserstandsänderungen wurden folgende Quellen genutzt: Grinsted et al. (2009); IPCC (2007); Jensen & Mudersbach (2007); Rahmstorf (2007); Rahmstorf et al. (2007); Rahmstorf & Richardson (2007); Schirmer (2005); Schuchardt et al. (2008); WBGU (2006) und Woth & von Storch (2008).

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Die Unterscheidung in ein „schwaches“ und ein „starkes“ Klimasignal anhand der Spannweiten möglicher Geschwindigkeiten für den Anstieg der Wasserstände ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.

Belastbarkeit der Aussage: Die Angaben zum Anstieg der Wasserstände können nicht aus den regionalen Klimamodellen abgeleitet werden. Daher musste auf globale Werte und die genannten Quellen zurückgegriffen werden. Diese Werte und Literaturangaben sind jedoch mit vergleichsweise großen Unsicherheiten verbunden. Zum einen spielen insbesondere bei regionalen Wasserstandsänderungen viele Faktoren eine Rolle, die häufig von menschlichen Eingriffen für Küstenschutz, Hafenwirtschaft oder Schifffahrt im Küsten und Flussbereich überlagert werden. Daher sind in Zeitreihen von Wasserstandsaufzeichnungen Klimawandeleffekte nur schwer zu entdecken. Zum anderen besteht v. a. über die Abschmelzgeschwindigkeit der terrestrischen Eismassen noch Unklarheit. Diese Unsicherheiten spiegeln sich in den sehr großen Spannweiten über die Geschwindigkeit des Anstiegs wider. Eindeutig ist allerdings, dass es in der Region zu einem Anstieg kommen wird.

Kriterium „Sensitivität der Flora-Fauna-Habitat-Lebensraumtypen“

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie groß der prozentuale Flächenanteil der hoch sensitiven Flora-Fauna-Habitat-Lebensraumtypen (FFH-LRT) in den Flora-Fauna-Habitat-Schutzgebieten (FFH-Gebiete) der Landkreise und Städte der MPR HB-OL ist. Es liefert über die Sensitivitätseinschätzung der FFH-LRT – nach Anhang I der FFH-Richtlinie – Hinweise auf die Sensitivität der regionalen FFH-Gebiete.

Literaturquellen: Badeck et al. (2007); Balzer & Ssymank (2005); Balzer et al. (2007); EEA (2008 und 2012); Holsten (2007); Korn & Eppele (2006); Kropp et al. (2009); Leuschner & Schipka (2004); Petermann et al. (2007); Ruthsatz (1995); Schröter et al. (2004); Thomas et al. (2004); Thuiller et al. (2005); Zebisch et al. (2005).

Datenbasis: Die Sensitivitätseinschätzung der FFH-LRT der FFH-Gebiete orientiert sich an den in der Verwundbarkeitsanalyse definierten Sensitivitätskriterien (s. Schuchardt et al. 2011). Die für die Sensitivitätskriterien vorgenommene Einstufung basiert auf der Roten Liste der Biotoptypen (Riecken et al. 2006) und dem nationalen Bericht zum Erhaltungszustand der LRT des Anhangs I der FFH-Richtlinie in den Natura 2000-Gebieten (BfN 2007; Website BfN a und BfN b). Angaben für die Größe der wertbestimmenden FFH-LRT stammen für Niedersachsen vom NLWKN (Websites NLWKN a und b) und für Bremen vom SUBV (Website NIS – Naturschutzinformationssystem Bremen). Die Größe aller in der Region ausgewiesenen FFH-Gebiete stammt von den Websites des BfN a und b. Für den Flächenanteil der hoch sensitiven FFH-LRT in den FFH-Gebieten sind eigene Berechnungen im GIS durchgeführt worden.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer der Flächenanteil hoch sensitiver FFH-LRT in den FFH-Gebieten der MPR HB-OL, desto sensitiver sind auch die FFH-Gebiete und desto höher ist die regionale Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: Die Einschätzung der Sensitivität der FFH-LRT nach den in Schuchardt et al. (2011) festgelegten Sensitivitätskriterien ist zwar ein vielversprechender Ansatz mit dem Vorteil, flächenbezogene Auswertungen vornehmen zu können. Dennoch steht eine solche Sensitivitätsanalysenmethode noch am Anfang und weitere Detailanalysen sowie eine Überprüfung der hinter den Sensitivitätskriterien stehenden Hypothesen ist notwendig. Zusätzlich könnten auch weitere Parameter – eine entsprechende Datenlage vorausgesetzt – für die Sensitivitätseinschätzung sinnvoll sein.

Kriterium „Flächengröße der Flora-Fauna-Habitat-Gebiete“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, welche durchschnittliche Größe die Flora-Fauna-Habitat-Schutzgebiete (FFH-Gebiete) in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL haben. Es liefert insofern Hinweise auf die Sensitivität der Region, da kleinere FFH-Gebiete sensibler als größere FFH-Gebiete sind.

Literaturquellen: Badeck et al. (2007); Balzer & Ssymank (2005); Balzer et al. (2007); EEA (2008 und 2012); Holsten (2007); Korn & Epple (2006); Kropp et al. (2009); Leuschner & Schipka (2004); Petermann et al. (2007); Ruthsatz (1995); Schröter et al. (2004); Thomas et al. (2004); Thuiller et al. (2005); Zebisch et al. (2005).

Datenbasis: Daten zur Flächengröße der FFH-Gebiete der MPR HB-OL sind den Berichten zur Umsetzung der FFH-Richtlinie des Bundesland Bremens (NIS – Naturschutzinformationssystem Bremen) und Niedersachsens (Website NLWKN a und b) entnommen. Für die mittlere Flächengröße in den jeweiligen Landkreisen und Städten sind eigene Berechnungen durchgeführt worden.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer die FFH-Gebiete, desto geringer ist ihre Sensitivität. Weiterhin wird angenommen, dass die Gebietseinheiten (Landkreise und Städte der MPR HB-OL) eine höhere Sensitivität haben, in denen mehr kleine FFH-Gebiete vorkommen und wo daher die durchschnittliche Größe der FFH-Gebiete kleiner ausfällt.

Belastbarkeit der Aussage: Die Einschätzung, dass die Sensitivität von der Flächengröße der FFH-Gebiete abhängt, wird durch verschiedene Untersuchungen belegt. Annahme ist hier v. a., dass in kleinen Gebieten durch eine höhere Intensität von Extremereignissen lokale Aussterbeprozesse beschleunigt und vermehrt auftreten können. Außerdem sind die Ausweichmöglichkeiten sensibler Arten in kleinen Gebieten begrenzter. Allerdings kann die Frage, ob Extremereignisse häufiger auftreten werden und stärker ausfallen durch die Klimaszenarien (noch) nicht eindeutig beantwortet werden. Weiterhin kann anhand der durchschnittlichen Größe nur eine qualitative Unterscheidung der Landkreise der Region vorgenommen werden, da über die minimal notwendige Flächengröße eines Schutzgebiets zur Erhaltung der Arten und Lebensräume wenig Wissen vorliegt bzw. im Rahmen dieser Bewertung nicht berücksichtigt werden konnte.

Kriterium „Anteil der Flora-Fauna-Habitat-Gebiete“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie groß der prozentuale Flächenanteil der Flora-Fauna-Habitat-Gebiete (FFH-Gebiete) in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL sind. Es liefert insofern Hinweise auf die Sensitivität der Region, da größere geschützte Flächenanteile die Sensitivität der Landkreise und Städte insgesamt verringern können.

Literaturquellen: Badeck et al. (2007); Balzer & Ssymank (2005); Balzer et al. (2007); EEA (2008 und 2012); Holsten (2007); Korn & Epple (2006); Kropp et al. (2009); Leuschner & Schipka (2004); Petermann et al. (2007); Ruthsatz (1995); Schröter et al. (2004); Thomas et al. (2004); Thuiller et al. (2005); Zebisch et al. (2005).

Datenbasis: Für die prozentualen Flächenanteil der FFH-Gebiete in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL sind eigene Berechnungen in einem GIS durchgeführt worden. Die Flächengrößen aller FFH-Gebiete in der MPR HB-OL sind den internetbasierten Kartendiensten der Websites des NLWKN a und b, des SUBV (Website NIS – Naturschutzinformationssystem Bremen) und des BfN a und b entnommen. Angaben zur Flächengröße der Landkreise und Städte stammen aus dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL (s. Website Regionalmonitoring).

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer der Flächenanteil der FFH-Gebiete in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL, desto geringer ist die Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: Die Einschätzung, dass die Sensitivität von der Größe des Flächenanteils geschützter (FFH-) Gebiete abhängt, wird durch verschiedene Untersuchungen belegt. Annahme ist hier v. a., dass ein hoher Anteil geschützter Gebiete auch einen hohen Anteil „intakter“ Ökosysteme gewährleistet. Solche „intakten“ – meist im Sinne von funktionsfähig oder resilient – Ökosysteme werden als weniger sensitiv gegenüber den Wirkungen des Klimawandels eingeschätzt. Das bedeutet, dass sie sehr wahrscheinlich von den Klimafolgen weniger betroffen sind und sich daher z. B. ihre Lebensraumeigenschaften oder Artenzusammensetzung weniger stark (negativ) verändern wird. Dennoch kann hier nur eine qualitative Unterscheidung der Landkreise der Region vorgenommen werden, da über einen minimalen prozentualen Flächenanteil, der ein dauerhaftes Vorkommen von funktionsfähigen Ökosystemen sicherstellt, keine Angaben existieren.

Kriterium „Anpassungskapazität des Naturschutzes“ (Anpassungskapazität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch die Anpassungskapazität des Naturschutzes zur Bewältigung bzw. zum Umgang mit den potenziellen Auswirkungen des Klimawandels ist. Es berücksichtigt neben der natürlichen Anpassungsfähigkeit der regionalen Ökosysteme auch das Wissen über Anpassungsstrategien und -maßnahmen, die institutionelle oder organisatorische Fähigkeit zur Planung, Vorbereitung, Unterstützung und Umsetzung von Handlungsmaßnahmen zur Anpassung sowie die Anpassungsbereitschaft.

Literaturquellen: Badeck et al. (2007); Balzer & Ssymank (2005); Balzer et al. (2007); EEA (2008 und 2012); Holsten (2007); Korn & Eppele (2006); Kropp et al. (2009); Leuschner & Schipka (2004); Petermann et al. (2007); Ruthsatz (1995); Schröter et al. (2004); Thomas et al. (2004); Thuiller et al. (2005); Zebisch et al. (2005).

Datenbasis: Räumlich konkrete Daten liegen für dieses Kriterium nicht vor. Es wird daher auf die Erkenntnisse der sektoralen Verwundbarkeitsanalyse über die natürliche Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme sowie für die gesellschaftliche Anpassungsbereitschaft, die naturschutzfachlichen Anpassungsoptionen und das verfügbare Anpassungswissen zurückgegriffen (s. Schuchardt et al. 2011 und Schuchardt & Wittig 2012).

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Anpassungskapazität bestimmt zusammen mit den potenziellen Auswirkungen die Höhe der Verwundbarkeit. Je größer die Kapazität zur Anpassung, desto besser kann mit den potenziellen Auswirkungen umgegangen werden und desto geringer ist die Verwundbarkeit. Für ein schwaches Klimasignal wird die Anpassungskapazität als mittel eingeschätzt, während die bei einem starken Klimasignal nur gering ist.

Belastbarkeit der Aussage: Die zur Einschätzung der natürlichen Anpassungsfähigkeit und der gesellschaftlichen Anpassungskapazität herangezogenen Informationen basieren auf Expertenwissen und Literaturstudien. Das Wissen für eine detailliert Bewertung der Anpassungskapazität muss als noch nicht ausreichend bezeichnet werden. Insbesondere die Frage, wie die Akteure des Naturschutzes auf die Herausforderungen des Klimawandels reagieren werden, muss weiter untersucht werden. Hier spielt die Bereitschaft zur Anpassung des behördlichen Naturschutzes eine wichtige Rolle, also die Frage, ob eher konservierende Strategien und Ziele verfolgt werden, oder ob zukünftig die meist unvermeidbaren Veränderungen in Flora, Fauna und Lebensräumen eine größere Akzeptanz erfahren.

Wie kommt die Bewertung zustande?

Die Bewertung der **potenzielle Auswirkungen** anhand der Verschneidung von Exposition und Sensitivität ist in Tab. 9 dargestellt. Die potenziellen Auswirkungen beschreiben die klimawandelbedingte Beeinträchtigung der FFH-Schutzgebiete mit ihren Lebensraumtypen (LRT) für die heutige Situation ohne Berücksichtigung zusätzlicher, als Reaktion auf den erwarteten Klimawandel unternommener Anpassungsmaßnahmen.

Tab. 9: Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume“ zur Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL

		Sensitivität								
		Anteil hoch sensibler FFH-LRT			FFH-Gebietsgröße (Mittelwert in ha)			Anteil FFH-Gebiete (an LK/Städten)		
Exposition		<10%	10-20%	>20%	<400	400-800	>800	<5%	5-10%	≥10%
2050	schwach	gering	gering-mittel	mittel	mittel	gering-mittel	gering	mittel	gering-mittel	gering
2050	stark	mittel	mittel-hoch	hoch	hoch	mittel-hoch	mittel	hoch	mittel-hoch	mittel
2085	schwach	gering	gering-mittel	mittel	mittel	gering-mittel	gering	mittel	gering-mittel	gering
2085	stark	mittel	mittel-hoch	hoch	hoch	mittel-hoch	mittel	hoch	mittel-hoch	mittel

Die Bewertung der **Verwundbarkeit** anhand der Verschneidung von potenziellen Auswirkungen und Anpassungskapazität ist in Tab. 10 dargestellt. Die Verwundbarkeit ist hoch, wenn die Anpassungskapazität so gering ist, dass der Umgang mit den oder die Bewältigung der potenziellen Auswirkungen schwierig erscheint. Ist die Anpassungskapazität jedoch ausreichend hoch, um die negativen Auswirkungen zu mindern, so ist die Verwundbarkeit gering.

Tab. 10: Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume“ zur Bewertung der **Verwundbarkeit** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL

potenzielle Auswirkungen (gem. Tab. 9)	Anpassungskapazität (keine räumliche Differenzierung für die MPR HB-OL möglich)	
	mittel (für 2050 und 2085 schwach)	gering (für 2050 und 2085 stark)
gering	gering	mittel
mittel	mittel	hoch
hoch	hoch	hoch

3.4 Bevölkerungs- und Katastrophenschutz – Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“

Welche Kriterien sind verwendet worden?

Kriterien zur Bestimmung des einwirkenden Klimasignals (**Exposition**) sind die Intensitätszunahmen von Extremereignissen (Sturmfluten, Hitzeperioden, Extremregen und Stürme). Da die beiden ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien hierfür nur eingeschränkt Aussagen treffen, wird bezüglich der Stärke des Klimasignals auf eine qualitative Einschätzung zurückgegriffen: für 2050-extrem wird eine moderate Zunahme und für 2085-extrem eine deutliche Zunahme von Extremereignissen angenommen (s. Tab. 11).

Tab. 11: Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen in der MPR HB-OL“.

Exposition		Sensitivität		Anpassungskapazität	
Kriterien	Klimasignal: Werte	Kriterien	Werte	Kriterien	Werte
Sturmfluten (Höhe), Hitzeperioden (Dauer, Häufigkeit), Starkregen (Tage) und Stürme (maximale Windgeschwindigkeit)	extrem (2050): moderate Intensitätszunahme (qualitativ) extrem (2085): deutliche Intensitätszunahme (qualitativ)	Erreichbarkeit im Katastrophenfall (Evakuierungsfähigkeit): Ausländeranteil an allen Einwohnern Mobilität im Katastrophenfall (Evakuierungsfähigkeit): Verhältnis unter 20 Jährige zu über 65 Jährige (Aging-Index) Anzahl potenziell Betroffener: Bevölkerungsdichte (Einwohner pro km ²)	<5%, 5 bis 10%, >10% <80; 80 bis 110, >110 <200, 200 bis 1.300, >1.300	Eigenvorsorge (individuelle Maßnahmen zur Risikoreduzierung wie Versicherungsschutz): Einkommen privater Haushalte (pro Einwohner) Eigenvorsorge: Arbeitslosenquote Gefahrenbewusstsein (Bildungsgrad und): Anteil Schulabgänger ohne Hauptschulabschluss	<18.000 €, 18.000 bis 20.000 €, >20.000 € <7%; 7 bis 10%; >10% <5% 5 bis 6,5% ≥6,5%

Kriterien zur Beurteilung der Empfindlichkeit (**Sensitivität**) sind 1. die Erreichbarkeit für Warnungen im Katastrophenfall, 2. die Mobilität im Katastrophenfall – beide Kriterien zur Beurteilung der Evakuierungsfähigkeit – und 3. die Zahl potenziell Betroffener im Katastrophenfall (nach BBK 2010 und 2011; Schauser et al. 2010; Schneiderbauer 2010). Datenbasis für die Erreichbarkeit ist der prozentuale Ausländeranteil (Personen ohne deutschen Pass für das Jahr 2010), für die Evakuierungsfähigkeit das Verhältnis der unter 20 Jährigen zu den über 65 Jährigen (sog. Aging-Index⁴ für

⁴ Der Aging-Index beschreibt das Verhältnis der Senioren im Rentenalter zu den jungen Einwohnern. Zur Berechnung dieses Maßes werden die unter 20 Jährigen mit den Einwohnern ab 65 Jährigen in Beziehung gesetzt (Anzahl Einwohner 65 Jahre und älter geteilt durch Anzahl Einwohner 20 Jahre und jünger mal 100 (zur Interpretation: je höher der Wert, desto höher ist die Sensitivität).

das Jahr 2010) und für die Zahl der Betroffenen die Bevölkerungsdichte (Einwohner pro km² für das Jahr 2010). Datenquelle ist die Website Regionalmonitoring der MPR HB-OL (s. Tab. 11).

Kriterien für die **Anpassungskapazität** ist die vom verfügbaren Einkommen und der Arbeitslosenquote abhängige Bereitschaft bzw. Möglichkeit zur Eigenvorsorge und das vom Bildungsgrad abhängige Gefahrenbewusstsein bzw. Gefahrensensibilität. Datenbasis ist das verfügbare Einkommen privater Haushalte je Einwohner (in € für das Jahr 2008), die Arbeitslosenquote (arbeitslose Erwerbspersonen für das Jahr 2011) sowie der Anteil Schulabgänger ohne Hauptschulabschluss (für 2010). Datenquelle ist die Website Regionalmonitoring der MPR HB-OL (s. Tab. 11).

Die Kriterien im Einzelnen: Ziele und Aussagefähigkeit

Kriterium „Intensität von Extremereignissen“ (Exposition)
<p>Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die Häufigkeit und Stärke von Extremereignissen klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändert. Berücksichtigte Extremereignisse sind Sturmfluten, Binnenhochwasser, Hitzeperioden, Extremregen und Stürme.</p>
<p>Datenbasis/Quelle: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Aussagen über die Intensitätszunahmen von Extremereignissen finden sich z. B. in Becker (2010), Grossmann et al. (2007), IPCC (2012), Jonas et al. (2005), Wittig et al. (2007) und Woth & von Storch (2008).</p>
<p>Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der klimawandelbedingten Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Extremereignisse sind auch deshalb besonders relevant für die Verwundbarkeitseinschätzung, da sie schon heute – ohne beschleunigten Klimawandel – hohe Schäden verursachen können. Die qualitative Unterscheidung in eine moderate und eine deutliche Zunahme von Extremereignissen ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.</p>
<p>Belastbarkeit der Aussage: Regionale Klimamodelle können Veränderungen in der Intensität von Extremereignissen nur eingeschränkt berechnen. Aus den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien können nur Aussagen über die Höhe von Sturmflutwasserständen, nicht über ihre Häufigkeit abgeleitet werden. Für Hitzeperioden können aus den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien Aussagen über Häufigkeit, Dauer und Stärke abgeleitet werden; Spannweiten sind allerdings nicht verfügbar. Hinweise auf extreme Niederschläge ergeben die Veränderungen in den Starkregentagen und für das verstärkte Auftreten von Stürmen lassen sich eingeschränkt Hinweise aus der Zunahme von Sturmtagen und der maximalen Windgeschwindigkeiten ableiten. Daher kann für dieses Kriterium nicht in „schwach“ und „stark“ unterschieden werden. Die Unterscheidung in moderate und deutliche Intensitätszunahme ist rein qualitativ.</p>

Kriterium „Evakuierungsfähigkeit“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie im Falle einer durch Extremereignisse verursachten Katastrophe die individuelle und eigenständige Fähigkeit zur Flucht aus den betroffenen Gebieten in der Bevölkerung der MPR HB-OL ausgeprägt ist. Hierzu gehört zum einen die Erreichbarkeit für Warnungen im Katastrophenfall und zum anderen die Mobilität.

Literaturquellen: BBK (2010); BBK (2011); Schauser et al. (2010); Schneiderbauer (2010).

Datenbasis: Daten zum prozentualen Ausländeranteil (Personen ohne deutschen Pass) und für das Verhältnis der unter 20 Jährigen zu den über 65 Jährigen (der sog. Aging-Index) sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring). Weitere Daten finden sich in den Berichten des Statistischen Landesamts Bremen und dem Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer der prozentuale Ausländeranteil ist, desto schlechter wird die Erreichbarkeit für Warnungen eingeschätzt. Je größer der Aging-Index ist, desto geringer die Mobilität. Diese beiden Bevölkerungsgruppen sind deshalb relevant, da bei Menschen mit Migrationshintergrund Sprachbarrieren vorhanden sein können, wodurch Warnungen vor Extremen oder Gefahren sie nicht oder schlechter erreichen. Bei älteren Menschen kann davon ausgegangen werden, dass ihre Mobilität eingeschränkt ist und sie daher weniger gut in der Lage sind, aus den betroffenen Gebieten zu fliehen. Zusammengenommen ist die Evakuierungsfähigkeit daher umso geringer, je größer der Anteil von Menschen ohne deutschen Pass und je größer der Anteil älterer Menschen in der Bevölkerung. Andersherum ist die Sensitivität umso höher, je mehr hilfsbedürftige Personen in einem von Extremereignissen betroffenen Gebiet leben. Weiterhin können ältere Personen, die bezüglich ihrer Evakuierungsfähigkeit als besonders vulnerabel identifiziert wurden, auch hinsichtlich der Zufluchtsorte bei einer Evakuierung weniger auf soziale Netzwerke zurückgreifen und sie daher auf die Unterbringung in Notunterkünften angewiesen sein werden.

Belastbarkeit der Aussage: Die individuelle Erreichbarkeit von Migranten und Mobilität von älteren Menschen kann selbstverständlich nicht verallgemeinert werden. Bei der Beurteilung, ob Sprachbarrieren vorhanden sind, kann z. B. der Zeitraum, seitdem sich die Migranten in Deutschland befinden, eine Rolle spielen. Bei Älteren könnte die Erfahrung im Umgang mit Katastrophen sogar einen gegenteiligen Effekt haben. Zusätzlich könnten auch andere Daten für dieses Kriterium herangezogen werden, wie z. B. der Anteil Zugezogener, die sich mit den naturräumlichen Gefährdungen einer Küstenregion nicht auskennen, oder die Anzahl von PKW, die für eine Flucht zur Verfügung stehen (wobei in Städten die Überlastung von Fluchtwegen problematisch sein wird).

Kriterium „Anzahl potenziell Betroffener“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt den von einer durch Extremereignisse verursachten Katastrophe potenziell betroffenen Personen in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL an.

Literaturquellen: BBK (2010); BBK (2011); Schauser et al. (2010); Schneiderbauer (2010).

Datenbasis: Daten zur Bevölkerungsdichte in Einwohnern pro Quadratkilometer sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring). Weitere Daten finden sich in den Berichten des Statistischen Landesamts Bremen und dem Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je größer die Bevölkerungsdichte, desto höher ist die Anzahl potenziell Betroffener und desto höher auch die Sensitivität. Zusätzlich ist bei mehr Menschen in einem durch Extremereignisse betroffenen Gebiet auch der Aufwand der Katastrophenschützer für Evakuierung und Bevölkerungsschutz größer. Die Anzahl betroffener Personen liefert somit wichtige Informationen für den Bevölkerungsschutz z. B. hinsichtlich der Evakuierungsplanung oder die Abschätzung des Bedarfs an Helfern und Hilfsgütern. Zusätzlich könnte auch der Anteil der betroffenen Personen an der Gesamtbevölkerung pro Landkreis oder Stadt ein wichtiger Hinweis für die Sensitivität sein, da diejenigen Personen, die vom Katastrophenfall nicht selbst betroffen sind, anderen Personen Hilfe anbieten können. Wenn also innerhalb eines Gebiets nur wenige Menschen nicht betroffen sind, muss dort von einem erhöhten Bedarf an externer Hilfe ausgegangen werden.

Belastbarkeit der Aussage:

Die Bevölkerungsdichte liefert keine direkte Aussage über die Anzahl potenziell Betroffener. Hierzu wären weitere Analysen über die von einem Extremereignis mit katastrophalen Folgen betroffenen Gebiete notwendig, wie z. B. die Fragen, in welche städtischen Quartiere oder Straßenzüge sich Hitzeinseleffekte besonders stark ausprägen, welche flussnahen Gebiete bei einem hochwasserbedingten Versagen der Schutzeinrichtung von Überschwemmungen betroffen sind, an welchen Stellen die Küstenschutzanlagen im Falle einer Sturmflut versagen oder in welchen Bereichen Stürme besonders hohe Schäden verursachen können. Da außerdem Extremereignisse meist kleinräumig auftreten – mit Ausnahme von Hitzeperioden –, ist davon auszugehen, dass auch nur ein kleinerer Teil der in diesen Gebieten lebenden Menschen betroffen sein wird.

Kriterium „Eigenvorsorge“ (Anpassungskapazität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, in wie weit von der Bevölkerung der MPR HB-OL individuelle Maßnahmen zur Risikoreduzierung wie z. B. Versicherungsschutz unternommen werden können.

Literaturquellen: BBK (2010); BBK (2011); GDV (2011); Schauser et al. (2010); Schneiderbauer (2010).

Datenbasis: Daten zum Einkommen privater Haushalte und zur Arbeitslosenquote sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring). Weitere Daten finden sich in den Berichten des Statistischen Landesamts Bremen und dem Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Anpassungskapazität bestimmt zusammen mit den potenziellen Auswirkungen die Höhe der Verwundbarkeit. Je höher das Einkommen und je geringer die Arbeitslosenquote ist, desto größer ist die Möglichkeit zur Eigenvorsorge z. B. durch Versicherungsschutz. Dementsprechend kann den potenziellen Auswirkungen besser begegnet werden und reduziert sich somit die Höhe der Verwundbarkeit. Für die Bewältigung eines Katastrophenereignisses ist es von wesentlicher Bedeutung, ob Schäden von einer Versicherung übernommen werden (für Sturmflutschäden gibt es allerdings aktuell keine Versicherung). In einer einfachen Wohngebäude- oder Hausratversicherung sind sog. Elementarschäden meist nicht abgedeckt. Ob eine hierfür notwendige Elementarschadenversicherung abgeschlossen werden kann, ist u. a. vom verfügbaren Einkommen abhängig.

Belastbarkeit der Aussage: Die Frage, ob Eigenvorsorge unternommen werden kann, ist nicht nur von den verfügbaren finanziellen Mitteln abhängig. Auch die Frage, ob arbeitslose Personen aufgrund ihrer finanziellen Situation generell nicht Eigenvorsorge durch entsprechende Versicherung betreiben, ist nicht eindeutig zu beantworten. Insofern wäre es hier relevant, die tatsächlichen Versicherungsverhältnisse zu kennen. Zusätzlich ist Eigenvorsorge durch Versicherung nur ein Aspekt. Weitere, teilweise wenig kostenintensive Maßnahmen, deren Durchführung auch zur Beurteilung der Anpassungskapazität herangezogen werden könnten, sind z. B. das Anlegen von Telefonlisten der zuständigen Katastrophenstellen, die Nutzung relevanter Warndienste und Informationsangebote oder die vorsorgliche Entfernung von wertvollen Gegenständen aus Gefahrenbereichen.

Kriterium „Gefahrenbewusstsein“ (Anpassungskapazität)
<p>Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch das Bewusstsein für Gefahren durch Naturkatastrophen bzw. die Sensibilität gegenüber Naturgefahren in der Bevölkerung der MPR HB-OL ausgeprägt ist.</p>
<p>Literaturquellen: BBK (2010); BBK (2011); Schauser et al. (2010); Schneiderbauer (2010); Tetzlaff et al. (2002); Tetzlaff et al. (2006);</p> <p>Datenbasis: Daten zum Anteil von Schulabgängern ohne Hauptschulabschluss sind dem Regionalmonitoring der MPR HB-OL entnommen (s. Website Regionalmonitoring). Weitere Daten finden sich in den Berichten des Statistischen Landesamts Bremen und dem Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen.</p>
<p>Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Anpassungskapazität bestimmt zusammen mit den potenziellen Auswirkungen die Höhe der Verwundbarkeit. Je geringer der Bildungsgrad ist, desto geringer werden auch das Gefahrenbewusstsein und damit die Anpassungskapazität angenommen. Z. B. hängt der Grad der Anpassungs- bzw. Bewältigungskapazität unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen gegenüber Hochwasserereignissen von ihrer Erfahrung mit Hochwasser ab. Zwischen der Gruppe der Personen, die bereits ein Hochwasserereignis am Wohnort erlebt haben, und denjenigen, die diese Erfahrung nicht hatten, zeigten sich deutliche Unterschiede im Grad der in Eigeninitiative getroffenen Hochwasservorsorge, hinsichtlich des Wissens über das richtige Verhalten im Hochwasserfall sowie im Auftreten von körperlichen und seelischen Folgeproblemen nach einem Hochwasser.</p>
<p>Belastbarkeit der Aussage: Ob vom Bildungsniveau auf das Gefahrenbewusstsein geschlossen werden kann, muss kritisch hinterfragt werden. Zwar belegen verschiedene Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen Bildungsniveau und Verwundbarkeit, ob dieses aber ausschließlich auf einem mangelnden Gefahren- bzw. Risikobewusstsein basiert, muss hinterfragt werden. Vielmehr sind hier – neben der Exposition – Aspekte wie die Wohndauer und soziale Einbindung der Personen am aktuellen Wohnort bedeutsam. Die Gefahren- bzw. Risikoerfahrung ist potenziell umso höher, je länger die Personen an dem Wohnort bereits leben und je größer der Expositionsgrad sind.</p>

Wie kommt die Bewertung zustande?

Die Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** anhand der Verschneidung von Exposition und Sensitivität ist in Tab. 12 dargestellt. Die potenziellen Auswirkungen beschreiben die klimawandelbedingte Zunahme von Extremereignissen (Höhe von Sturmfluten, Dauer und Häufigkeit von Hitzeperioden, Tage mit Starkregen und maximale Windgeschwindigkeiten bei Stürmen) sowie die im resultierenden Katastrophenfall betroffenen und nicht evakuierungsfähigen Bevölkerungsanteile für die heutige Situation ohne Berücksichtigung zusätzlicher, als Reaktion auf den erwarteten Klimawandel unternommener Anpassungsmaßnahmen.

Tab. 12: Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“ zur Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.

Exposition		Sensitivität								
		Ausländeranteil an allen Einwohnern (in %)			Verhältnis unter 20 Jährige zu über 65 Jährige (Aging-Index)			Bevölkerungsdichte (Einwohner pro km ²)		
		<5	5–10	>10	<80	80–110	>110	<200	200–1.300	>1.300
2050	extrem (moderate Zunahme Extremereignisse)	gering	gering-mittel	mittel	gering	gering-mittel	mittel	gering	gering-mittel	mittel
2085	extrem (deutliche Zunahme Extremereignisse)	mittel	mittel-hoch	hoch	mittel	mittel-hoch	hoch	mittel	mittel-hoch	hoch

Die Bewertung der **Verwundbarkeit** anhand der Verschneidung von potenziellen Auswirkungen und Anpassungskapazität ist in Tab. 13 dargestellt. Die Verwundbarkeit ist hoch, wenn die Anpassungskapazität so gering ist, dass der Umgang mit den oder die Bewältigung der potenziellen Auswirkungen schwierig erscheint. Ist die Anpassungskapazität jedoch ausreichend hoch, um die negativen Auswirkungen zu mindern, so ist die Verwundbarkeit gering.

Tab. 13: Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“ zur Bewertung der **Verwundbarkeit** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.

potenzielle Auswirkungen (gem. Tab. 12)	Anpassungskapazität								
	Einkommen privater Haushalte (pro Einwohner in Tausend €)			Arbeitslosenquote (in %)			Anteil Schulabgänger ohne Hauptschulabschluss (in %)		
	<18 (gering)	18–20 (mittel)	>20 (hoch)	>10 (gering)	7–10 (mittel)	<7 (hoch)	≥6,5 (gering)	5–6,5 (mittel)	<5 (hoch)
gering	mittel	gering	gering	mittel	gering	gering	mittel	gering	gering
mittel	hoch	mittel	gering	hoch	mittel	gering	hoch	mittel	gering
hoch	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	mittel

3.5 Energieversorgung – Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“

Welche Kriterien sind verwendet worden?

Kriterien zur Bestimmung des einwirkenden Klimasignals (Exposition) sind die Zunahmen der Sommertage (Tage mit Maximaltemperatur über 25°C) und der heißen Tage (Tage mit Maximaltemperatur über 30°C) sowie längere und häufigere Hitzeperioden (mindestens 5 Tage über 25°C und davon 3 Tage über 30°C). Datenbasis sind die Differenzen zwischen dem 2050-Szenario (für die Jahre 2036–2065) bzw. dem 2085-Szenario (für die Jahre 2071–2100) und der Referenzperiode (1971–2000) aus den „nordwest2050“-Klimaszenarien. Die Einschätzung der Stärke des Klimasignals erfolgt anhand der prozentualen oder absoluten Veränderungen in „schwach“, „stark“ und „extrem“ anhand der Spannweiten möglicher zukünftiger Klimazustände (Schuchardt et al. 2010; s. Tab. 14).

Kriterien zur Beurteilung der Empfindlichkeit (Sensitivität) sind 1. die Stromintensität des verarbeitenden Gewerbes und 2. die Beschäftigtendichte des Ernährungssektors. Datenbasis ist der Strombedarf und die Beschäftigtenzahl im verarbeitenden Gewerbe, die Beschäftigtenzahl im Ernährungssektor, jeweils für das Jahr 2010, und die Bodenfläche des jeweiligen Landkreises (Datenquelle ist die Regionaldatenbank Deutschland der Statistikämter; s. Tab. 14).

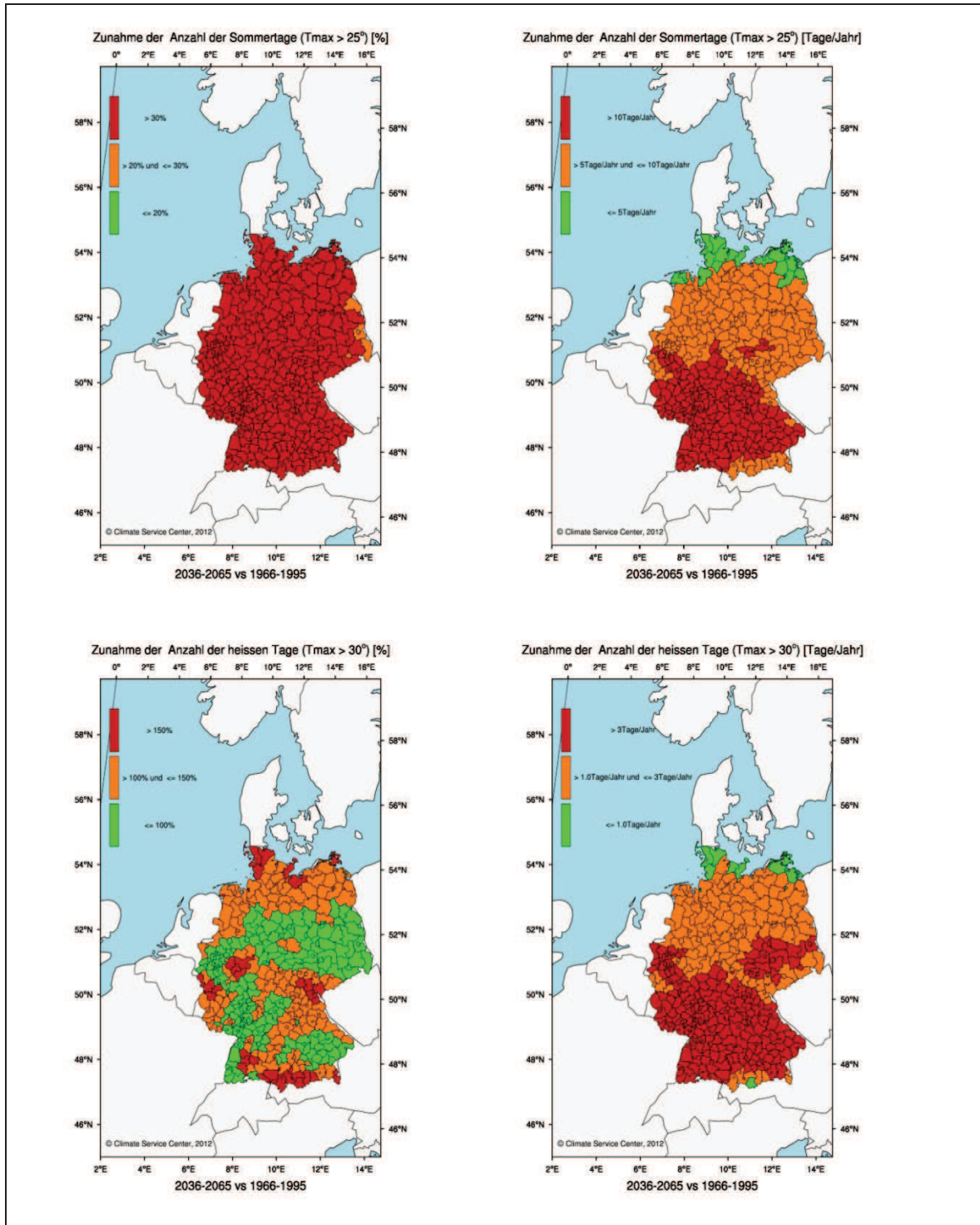
Tab. 14: Übersicht über die verwendeten Kriterien und zugehörige Daten für Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität für den Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“.

Exposition		Sensitivität		Anpassungskapazität	
Kriterien	Daten/Werte	Kriterien	Daten/Werte	Kriterien	Daten/Werte
Sommertage heiße Tage	schwach: Zunahme <30% Zunahme <45%	Stromintensität des verarbeitenden Gewerbes	Stromverbrauch pro Beschäftigtem (MWh/Person): <20; 20 bis 40; 40 bis 60; 60 bis 80; >80	Abwärmepotentiale aus Biogas- und KWK-Anlagen	Thermische Kapazität pro Bodenfläche (MW/km ²): <0,05; 0,05 bis 0,1; >0,1
Sommertage heiße Tage	stark: Zunahme >30% Zunahme >45%				
Hitzeperioden	extrem: Intensitätszunahme (ca. 3mal häufiger für 2036–2065 und 5–6mal häufiger für 2071–2100 als für 1971– 2000)	Beschäftigten- dichte im Ernährungssektor	Beschäftigte pro Bodenfläche (Personen/km ²): <2; 2 bis 4; 4 bis 6; 6 bis 8; >8		

Kriterium für die Anpassungskapazität sind die flächenspezifischen Abwärmepotentiale aus Biogas- und Kraft-Wärme-Kopplung-Anlagen (KWK-Anlagen). Datenbasis ist die elektrische Kapazität EEG-vergüteter (EEG = Erneuerbare-Energien-Gesetz) Biogasanlagen, aus der die thermische Kapazität abgeschätzt wird, und die thermische Kapazität registrierter KWK-Anlagen, sowie die Bodenfläche des jeweiligen Landkreises (jeweils für 2010; Datenquellen sind die Veröffentlichungen der Netzbetreiber zur EEG-Vergütung und die Veröffentlichungen des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle zur KWK-Förderung, sowie die Regionaldatenbank Deutschland der Statistikämter; s. Tab. 14).

Die Kriterien im Einzelnen: Ziele und Aussagefähigkeit

Kriterium „Sommertage und heiße Tage“ (Exposition)
<p>Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die Zahl der Sommertage (Tage mit Maximaltemperatur über 25°C) und der heißen Tage (Tage mit Maximaltemperatur über 30°C) klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändert.</p>
<p>Datenbasis/Quelle: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Informationen über diese Klimaparameter finden sich auch im Norddeutschen Klimaatlas unter http://www.norddeutscher-klimaatlas.de.</p>
<p>Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der klimawandelbedingten Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Die Unterscheidung in ein „schwaches“ und ein „starkes“ Klimasignal anhand der Spannweiten möglicher Klimazustände ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen.</p>
<p>Belastbarkeit der Aussage: Die verwendeten regionalen Klimamodelle sind in ihren Aussagen bezüglich der Temperaturerhöhungen eindeutig: ein Anstieg wird von allen Modellen berechnet, wobei er im Herbst und Winter am größten ist. Dementsprechend sind auch die Aussagen zu den Sommertagen und den heißen Tagen robust: ihre Anzahl wird v. a. langfristig deutlich zunehmen. Aussagen zur Robustheit der projizierten Klimaänderungen finden sich auch in den „Klimasignalkarten“ vom CSC (Climate Service Center). Modellgestützte Informationen über kleinräumige stadtklimatische Effekte liegen nicht vor.</p> <p>Klimasignalkarten (s. Website CSC): Die vier Karten zeigen die prozentuale (links) und absolute (rechts) Zunahme der Sommertage (oben) und der heißen Tage (unten) im Vergleich der Perioden 2036–2065 und 1966–1995. Die Klimasignalkarten sind vom CSC erstellt worden.</p>



Kriterium „Hitzeperioden“ (Exposition)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie sich die Intensität von Hitzeperioden (Häufigkeit, Dauer und Stärke) klimawandelbedingt bis 2050 (Zukunftsperiode 2036–2065) und bis 2085 (Zukunftsperiode 2071–2100) verändert. Eine Hitzeperiode liegt dann vor, wenn in mindestens fünf aufeinander folgenden Sommertagen (Maximaltemperatur über 25°C) mindestens drei heiße Tage (Maximaltemperatur über 30°C) auftreten.

Datenbasis/Quelle: Klimaänderungen für die Metropolregion Bremen-Oldenburg sind in den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien beschrieben: siehe Schuchardt et al. (2010) und Schuchardt & Wittig (2012). Aussagen über die Intensitätszunahmen von Extremereignissen finden sich z. B. in Becker (2010), IPCC (2012), Jonas et al. (2005) und Schuchardt & Wittig (2012).

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Exposition ist ein entscheidender Aspekt für die Einschätzung der klimawandelbedingten Verwundbarkeit. Zusammen mit der Empfindlichkeit (Sensitivität) bestimmt sie die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Extremereignisse sind auch deshalb besonders relevant für die Verwundbarkeitseinschätzung, da sie schon heute – ohne beschleunigten Klimawandel – hohe Schäden verursachen können. Die Festlegung eines „extremen“ Klimasignals ermöglicht eine Einschätzung der Höhe der potenziellen Auswirkungen, die über die Spannweiten hinausgeht.

Belastbarkeit der Aussage: Regionale Klimamodelle können Veränderungen in der Intensität von Extremereignissen nur eingeschränkt berechnen. Für Hitzeperioden können aus den ‚nordwest2050‘-Klimaszenarien Aussagen über Häufigkeit, Dauer und Stärke abgeleitet werden; Spannweiten sind allerdings nicht verfügbar. Daher kann für dieses Kriterium nicht in „schwach“ und „stark“ unterschieden werden. Modellgestützte Informationen über kleinräumige stadtklimatische Effekte liegen nicht vor.

Kriterium „Stromintensität des verarbeitenden Gewerbes“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch der Strombedarf des verarbeitenden Gewerbes im Verhältnis zur Anzahl der Beschäftigten ist. Dies ist ein Indikator einerseits für die Höhe der Abhängigkeit dieses Sektors von der Stromversorgung und andererseits für die schon bestehende Belastung der Stromnetzinfrastuktur.

Literaturquellen: Gnansonou (2008); Kruyt et al. (2009); Wachsmuth et al. (2012).

Datenbasis: Daten sowohl zum Strombedarf als auch zur Beschäftigtenzahl des verarbeitenden Gewerbes sind der Regionaldatenbank Deutschland der Statistikämter entnommen worden.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je höher die Stromintensität, desto höher die Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: Es ist vielfach und gut begründet worden, dass das allgemeinere Kriterium der Energieintensität ein treffender Indikator für die Energieabhängigkeit ist und im entsprechenden Kontext ist dieses Kriterium auch weit verbreitet im Einsatz. Die Argumentationen lassen sich im Wesentlichen auf die Stromintensität als Kriterium für die Stromabhängigkeit übertragen. Was die konkreten Folgen eines Ausfalls der Stromversorgung für das verarbeitende Gewerbe wären, ist sehr stark von den jeweiligen Branchen und ihren spezifischen Prozessen abhängig und daher nur räumlich sehr stark lokalisiert zu bestimmen. Dass eine hohe Stromintensität mit einer hohen Belastung der Stromnetzinfrastuktur einhergeht, ist wohl fundierte Grundlage in der Netzplanung. Umgekehrt ist allerdings deshalb gerade dort, wo die Stromintensität überdurchschnittlich hoch ist, typischerweise auch die Stromnetzinfrastuktur entsprechend dimensioniert, was das Auftreten zusätzlicher Belastungen abmildern kann.

Kriterium „Beschäftigtendichte im Ernährungssektor“ (Sensitivität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch die Anzahl der Beschäftigten im Ernährungssektor regional in Bezug auf die Fläche ist. Dies dient als Indikator dafür, wo in der MPR HB-OL in Folge zunehmender Hitze ein starker Anstieg des Kühlenergiebedarfs zu erwarten ist.

Literaturquellen: DKV (2002); Gabriel & Meyer (2010).

Datenbasis: Daten sowohl zur Beschäftigtenzahl im Ernährungssektor als auch zur Bodenfläche der Landkreise wurden der Regionaldatenbank Deutschland der Statistikämter entnommen.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Sensitivität (Empfindlichkeit) bestimmt zusammen mit der Exposition die Höhe der potenziellen Auswirkungen. Je höher die Beschäftigtendichte im Ernährungsgewerbe, desto höher die Sensitivität.

Belastbarkeit der Aussage: Dass der Ernährungssektor ein wesentlicher Faktor für den Höhe des Kühlenergiebedarfs ist, ist empirisch mehrfach belegt. Der tatsächliche Kühlenergiebedarf kann allerdings über die Anzahl der im Ernährungssektor Beschäftigten nur mit Einschränkungen abgeschätzt werden. In Zukunft wird ein weiterer wesentlicher Faktor für den Kühlenergiebedarf

die Zunahme der Raumklimatisierung im gewerblichen und privaten Bereich sein, die jedoch in Anbetracht der bisher recht geringen Verbreitung insbesondere im privaten Bereich kaum abschätzbar ist.

Kriterium „Flächenspezifische Abwärmepotentiale aus Biogas- und KWK-Anlagen“ (Anpassungskapazität)

Aussage: Das Kriterium gibt an, wie hoch die regional verfügbare Wärmeleistung aus Biogas- und KWK-Anlagen in Bezug zur Fläche ist. Dies ist ein Indikator für den Umfang, mit dem neue Kühlenergiebedarfe anstatt auf Basis von Elektrizität durch bereits vorhandene Abwärmequellen gedeckt werden kann.

Literaturquellen: Blesl et al. (2008)

Datenbasis: Daten zu den Kapazitäten EEG-vergüteter Biogasanlagen wurden dem Informationsportal EnergyMap (www.energymap.info) der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. entnommen, auf der die Veröffentlichungen der Netzbetreiber zur EEG-Vergütung gebündelt und ausgewertet werden. Die thermische Kapazität registrierter KWK-Anlagen ist den Veröffentlichungen des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle zur KWK-Förderung gelistet. Die Bodenflächen der Landkreise entstammen der Regionaldatenbank Deutschland der Statistikämter.

Beitrag zur Verwundbarkeitsanalyse: Die Anpassungskapazität bestimmt zusammen mit den potenziellen Auswirkungen die Höhe der Verwundbarkeit. Je höher das flächenspezifische Abwärmepotential aus Biogas- und KWK-Anlagen, desto geringer die Verwundbarkeit.

Belastbarkeit der Aussage: Die zur Einschätzung der Anpassungskapazität herangezogenen Abwärmepotentiale aus Biogas- und KWK-Anlagen, die die Möglichkeit der Deckung neuer Kühlenergiebedarfe durch bereits vorhandene Abwärmequellen beschreiben sollen, können nur dann sinnvoll genutzt werden, wenn die räumliche Entfernung zu den neuen Kühlenergiebedarfen nicht zu groß ist. Durch die flächenspezifische Ermittlung wird dies zwar berücksichtigt, kann aber nicht für den Einzelfall sichergestellt werden. Eine vollständigere Bewertung der Anpassungskapazität müsste außerdem weitere Aspekte wie z. B. das Vorhandensein von industriellen Abwärmequellen und geothermalen Kältequellen berücksichtigen. Die Kühlung über geothermische Erdsonden oder Brunnen ist dort möglich, wo entsprechende Geothermiepotenziale gegeben sind, bzw. wo der Grundwasserspiegel leicht erreichbar ist.

Wie kommt die Bewertung zustande?

Die Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** anhand der Verschneidung von Exposition, Klimasensitivität und struktureller Sensitivität ist in Tab. 15 und Tab. 16 dargestellt. Die potenziellen Auswirkungen beschreiben die Höhe des Potenzials von zusätzlichen Belastungen des Stromnetzes durch erhöhten Kühlenergiebedarf des Ernährungssektors und von möglichen Auswirkungen für das verarbeitende Gewerbe durch Einschränkungen bei der Stromversorgung für die heutige Situation und ohne Berücksichtigung zusätzlicher, als Reaktion auf den erwarteten Klimawandel unternommener Anpassungsmaßnahmen.

Tab. 15: Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“ zur Bewertung der **Klimasensitivität** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.

Exposition		Klimasensitivität				
		Beschäftigte im Ernährungssektor (Personen pro km ²)				
		< 2	2–4	4–6	6–8	> 8
2050	schwach (heiße Tage und Sommertage)	gering	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch
2050	stark (heiße Tage und Sommertage)	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
2085*	stark (heiße Tage und Sommertage)	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
2050	extrem (Hitzeperioden)	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch	hoch
2085	extrem (Hitzeperioden)	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch	hoch

*„schwach“ gibt es nicht für 2085, da alle relevanten Klimaparameter auch für die untere Spannweite ein starkes Klimasignal besitzen.

Tab. 16: Verschneidungsmatrix für den Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“ zur Bewertung der **potenziellen Auswirkungen** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.

Klimasensitivität (gem. Tab. 15)	Strukturelle Sensitivität				
	Stromintensität des verarbeitenden Gewerbes (Tausend kWh pro Beschäftigtem)				
	< 20	20–40	40–60	60–80	> 80
gering	gering	gering	gering	mittel	mittel
gering-mittel	gering	gering	mittel	mittel	mittel
mittel	gering	mittel	mittel	mittel	hoch
mittel-hoch	mittel	mittel	mittel	hoch	hoch
hoch	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch

Die Bewertung der **Verwundbarkeit** anhand der Verschneidung von potenziellen Auswirkungen und Anpassungskapazität ist in Tab. 17 dargestellt. Die Verwundbarkeit ist hoch, wenn die Anpassungskapazität so gering ist, dass der Umgang mit den oder die Bewältigung der potenziellen Auswirkungen schwierig erscheint. Ist die Anpassungskapazität jedoch ausreichend hoch, um die negativen Auswirkungen zu mindern, so ist die Verwundbarkeit gering.

Tab. 17: Verwundbarkeitsmatrix für den Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“ zur Bewertung der **Verwundbarkeit** in den Landkreisen und Städten der MPR HB-OL.

potenzielle Auswirkungen (gem. Tab. 16)	Anpassungskapazität		
	Abwärmepotentiale aus Biogas- und KWK-Anlagen (Tausend kW pro km ²)		
	< 0,05 (gering)	0,05–0,1 (mittel)	> 0,1 (hoch)
gering	mittel	gering	gering
mittel	hoch	mittel	gering
hoch	hoch	hoch	mittel

4. Handlungsbereichsübergreifende Betrachtung der Vulnerabilität: ‚Hot Spots‘ der Vulnerabilität

Die ‚Vulnerabilitätskarten‘ des Informationssystems fokussieren auf sektorale bzw. handlungsbereichsspezifische Wirkpfade und zeigen so an, in welchen Sektoren bzw. Handlungsbereichen mit welcher klimawandelbedingten Vulnerabilität gerechnet werden muss. Es werden somit nur Teilbereiche für die ausgewählten Sektoren bzw. Handlungsbereiche dargestellt und bewertet. Eine integrierte oder querschnittsübergreifende, für einen regionalen Ausschnitt der MPR HB-OL zusammenfassende Vulnerabilitätsbewertung ist nicht Ziel des Prototyps.

Dennoch können die auswählbaren Karten Hinweise auf eine gesamte, regionsspezifische Vulnerabilität liefern: werden z.B. die einzelnen Vulnerabilitäten in einer Übersicht betrachtet, so lassen sich solche Gebiete (hier Landkreise, kreisfreie Städte der Metropolregion und der Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven) erkennen, in denen sich wirkpfadspezifische hohe Vulnerabilitäten überlagern: diese können als ‚Hot Spots‘ der Vulnerabilität bezeichnet werden.

Auf der Basis der im Informationssystem dargestellten Wirkpfade bedeutet das, dass z. B. die Stadt Oldenburg bei einem starken Klimasignal für das Klimaszenario 2050 keine hohe Vulnerabilität aufweist. Für die Stadt Bremerhaven überlagern sich hingegen bei denselben Randbedingungen – also starkes bzw. für den Katastrophenschutz extremes Klimasignal des 2050-Klimaszenarios – hohe Vulnerabilitäten für drei Wirkpfaden: sowohl für die Hitzebelastung, die Schutzgebietsbeeinträchtigung als auch für die Vulnerabilität des Katastrophenschutzes durch Extremwetterereignisse (s. Tab. 19). Die Stadt Bremerhaven weist somit eine insgesamt höhere „Gesamtvulnerabilität“ auf. Die Tab. 20 stellt die Ergebnisse der wirkpfadspezifischen Vulnerabilitätsbewertung für das 2085-Klimaszenarios von ‚nordwest2050‘ dar. Die in Abb. 4 dargestellte Karte der ‚Hot Spots‘ der Vulnerabilität stellt dieses „aggregierte“ Vulnerabilität dar, sie ist aber nicht Bestandteil der Kartendarstellung des Informationssystems.

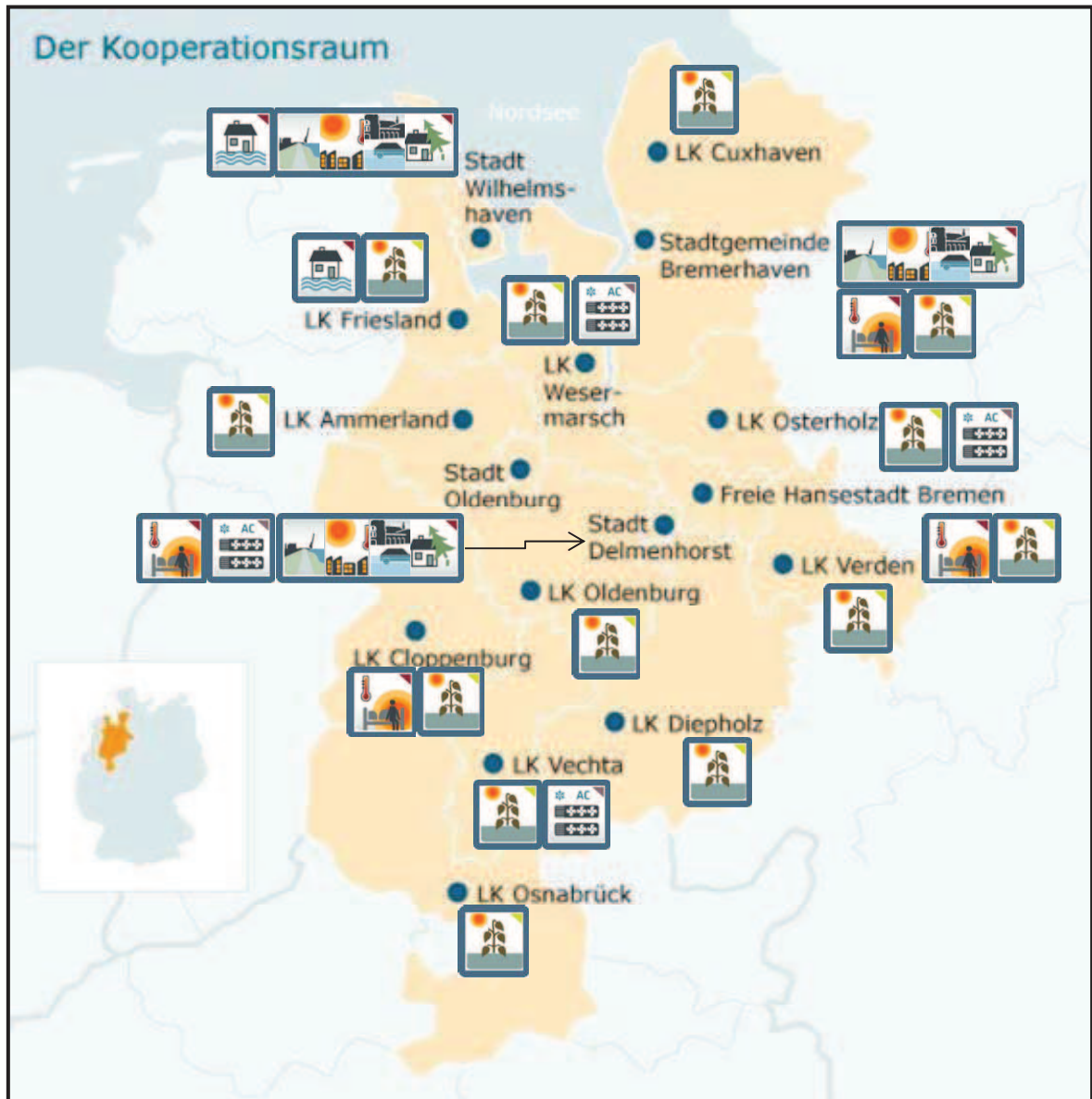


Abb. 4: Die regionalen ‚Hot-Spots‘ der Vulnerabilität: durch die Piktogramme (s. Tab. 18) sind für die Landkreise/Städte der MPR HB-OL die Wirkpfade des Klimawandels dargestellt, für die die Vulnerabilität unter Berücksichtigung des starken Signals des 2050-Klimaszenarios hoch ist (eigene Darstellung).

Die in Abb. 4 aufgeführten Piktogramme erläutert die Tab. 18.

Tab. 18: Piktogramme zur Darstellung der im Informationssystem betrachteten Wirkpfade des Klimawandels (s. Abb. 4).

Piktogramm	Handlungspfad – Wirkpfad des Klimawandels
	Menschliche Gesundheit – Wirkpfad „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“
	Wasserwirtschaft – Wirkpfad „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“
	Biodiversität und Naturschutz – Wirkpfad „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume am Beispiel der Schutzgebiete der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie“
	Bevölkerungs- und Katastrophenschutz – Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“
	Energieversorgung – Wirkpfad „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“

Eine Übersicht über alle Bewertungen innerhalb des Informationssystems Vulnerabilität geben die folgenden beiden Tabellen. Tab. 19 stellt die Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung für das ‚nordwest2050‘-Klimaszenario 2050 dar, während Tab. 20 die Ergebnisse unter Berücksichtigung des ‚nordwest2050‘-Klimaszenarios 2085 auflistet.

Tab. 19: Zusammenstellung der Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung aller Wirkpfade des Informationssystems unter Berücksichtigung des ‚nordwest2050‘-Klimaszenarios für 2050 für die Landkreise und Städte der MPR HB-OL.

Landkreis/Stadt	Klimaszenario und Klimasignal	Menschliche Gesundheit: Hitzebelastung	Wasserwirtschaft: Entwässerung	Naturschutz: Schutzgebiete	Katastrophenschutz: Extremereignisse	Energieversorgung: Kühlbedarf
LK Ammerland	2050 schwach	gering	-	mittel	-	gering
	2050 stark	mittel	-	hoch	-	gering
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Cloppenburg	2050 schwach	gering	-	mittel	-	gering
	2050 stark	hoch	-	hoch	-	mittel
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Cuxhaven	2050 schwach	gering	gering	gering	-	mittel
	2050 stark	mittel	mittel	hoch	-	mittel
	2050 extrem	hoch	-	-	mittel	mittel
LK Diepholz	2050 schwach	gering	-	gering	-	mittel
	2050 stark	mittel	-	hoch	-	mittel
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Friesland	2050 schwach	gering	gering	mittel	-	gering
	2050 stark	mittel	hoch	hoch	-	gering
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	gering
LK Oldenburg	2050 schwach	gering	-	mittel	-	gering
	2050 stark	mittel	-	hoch	-	gering
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Osnabrück	2050 schwach	gering	-	mittel	-	gering
	2050 stark	mittel	-	hoch	-	mittel
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Osterholz	2050 schwach	gering	-	gering	-	hoch
	2050 stark	mittel	-	hoch	-	hoch
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	hoch
LK Vechta	2050 schwach	gering	-	mittel	-	mittel
	2050 stark	mittel	-	hoch	-	hoch
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	hoch
LK Verden	2050 schwach	gering	-	gering	-	mittel
	2050 stark	mittel	-	hoch	-	mittel
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Wesermarsch	2050 schwach	gering	gering	gering	-	hoch
	2050 stark	mittel	mittel	hoch	-	hoch
	2050 extrem	hoch	-	-	gering	hoch
Stadt Bremen	2050 schwach	mittel	-	gering	-	gering
	2050 stark	hoch	-	hoch	-	mittel
	2050 extrem	hoch	-	-	mittel	mittel
Stadt Bremerhaven	2050 schwach	mittel	-	gering	-	gering
	2050 stark	hoch	-	hoch	-	gering
	2050 extrem	hoch	-	-	hoch	gering
Stadt Delmenhorst	2050 schwach	mittel	-	-	-	hoch
	2050 stark	hoch	-	-	-	hoch
	2050 extrem	hoch	-	-	hoch	hoch
Stadt Oldenburg	2050 schwach	gering	-	-	-	mittel
	2050 stark	mittel	-	-	-	mittel
	2050 extrem	mittel	-	-	mittel	mittel
Stadt Wilhelmshaven	2050 schwach	gering	hoch	-	-	mittel
	2050 stark	mittel	hoch	-	-	mittel
	2050 extrem	mittel	-	-	hoch	hoch

Tab. 20: Zusammenstellung der Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung aller Wirkpfade des Informationssystems unter Berücksichtigung des ‚nordwest2050‘-Klimaszenarios für 2085 für die Landkreise und Städte der MPR HB-OL.

Landkreis/Stadt	Klimaszenario und Klimasignal	Menschliche Gesundheit: Hitzebelastung	Wasserwirtschaft: Entwässerung	Naturschutz: Schutzgebiete	Katastrophenschutz: Extremereignisse	Energieversorgung: Kühlbedarf
LK Ammerland	2085 schwach	-	-	mittel	-	-
	2085 stark	mittel	-	hoch	-	gering
	2085 extrem	hoch	-	-	mittel	mittel
LK Cloppenburg	2085 schwach	-	-	mittel	-	-
	2085 stark	hoch	-	hoch	-	mittel
	2085 extrem	hoch	-	-	mittel	mittel
LK Cuxhaven	2085 schwach	-	gering	gering	-	-
	2085 stark	mittel	mittel	hoch	-	mittel
	2085 extrem	hoch	-	-	hoch	mittel
LK Diepholz	2085 schwach	-	-	gering	-	-
	2085 stark	mittel	-	hoch	-	mittel
	2085 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Friesland	2085 schwach	-	gering	mittel	-	-
	2085 stark	mittel	hoch	hoch	-	gering
	2085 extrem	hoch	-	-	mittel	gering
LK Oldenburg	2085 schwach	-	-	mittel	-	-
	2085 stark	mittel	-	hoch	-	gering
	2085 extrem	hoch	-	-	mittel	mittel
LK Osnabrück	2085 schwach	-	-	mittel	-	-
	2085 stark	mittel	-	hoch	-	mittel
	2085 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Osterholz	2085 schwach	-	-	gering	-	-
	2085 stark	mittel	-	hoch	-	hoch
	2085 extrem	hoch	-	-	mittel	hoch
LK Vechta	2085 schwach	-	-	mittel	-	-
	2085 stark	mittel	-	hoch	-	hoch
	2085 extrem	hoch	-	-	mittel	hoch
LK Verden	2085 schwach	-	-	gering	-	-
	2085 stark	mittel	-	hoch	-	mittel
	2085 extrem	hoch	-	-	gering	mittel
LK Wesermarsch	2085 schwach	-	gering	gering	-	-
	2085 stark	mittel	mittel	hoch	-	hoch
	2085 extrem	hoch	-	-	mittel	hoch
Stadt Bremen	2085 schwach	-	-	gering	-	-
	2085 stark	hoch	-	hoch	-	mittel
	2085 extrem	hoch	-	-	hoch	mittel
Stadt Bremerhaven	2085 schwach	-	-	gering	-	-
	2085 stark	hoch	-	hoch	-	gering
	2085 extrem	hoch	-	-	hoch	gering
Stadt Delmenhorst	2085 schwach	-	-	-	-	-
	2085 stark	hoch	-	-	-	hoch
	2085 extrem	hoch	-	-	hoch	hoch
Stadt Oldenburg	2085 schwach	-	-	-	-	-
	2085 stark	mittel	-	-	-	mittel
	2085 extrem	mittel	-	-	hoch	mittel
Stadt Wilhelmshaven	2085 schwach	-	hoch	-	-	-
	2085 stark	mittel	hoch	-	-	mittel
	2085 extrem	mittel	-	-	hoch	hoch

In der Abb. 4 sind nur die regionalen ‚Hot Spots‘ der Vulnerabilität für die Situation eines starken Klimasignals aus dem 2050-Klimaszenario dargestellt. Die folgende Tab. 21 fasst daher die gesamten Ergebnisse der vorgenommenen Vulnerabilitätsbewertungen zusammen, wobei für eine bessere Vergleichbarkeit der ‚Gesamtvulnerabilität‘ zusätzlich die gesamte Anzahl der vorgenommenen Vulnerabilitätsbewertungen und die gesamte Anzahl der betrachteten Wirkpfade pro Landkreis bzw. Stadt der MPR HB-OL aufgeführt sind.

Tab. 21: Vergleich der Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung für die MPR HB-OL

Landkreis (LK) und Städte der MPR HB-OL	Anzahl der Vulnerabilitätsbewertungen insgesamt	Anzahl hohe Vulnerabilitätsbewertungen	Anzahl betrachteter Wirkpfade insgesamt	Anzahl Wirkpfade mit hoher Vulnerabilität für 2050 / 2085
Ammerland (LK)	16	4	4	2 / 2
Cloppenburg (LK)	16	6	4	2 / 2
Cuxhaven (LK)	20	5	5	2 / 3
Diepholz (LK)	16	4	4	2 / 2
Friesland (LK)	20	6	5	3 / 3
Oldenburg (LK)	16	4	4	2 / 2
Osnabrück (LK)	16	4	4	2 / 2
Osterholz (LK)	16	8	4	3 / 3
Vechta (LK)	16	8	4	3 / 3
Verden (LK)	16	4	4	2 / 2
Wesermarsch (LK)	20	8	5	3 / 3
Bremen (Stadt)	16	7	4	2 / 3
Bremerhaven (Stadt)	16	8	4	3 / 3
Delmenhorst (Stadt)	12	10	3	3 / 3
Oldenburg (Stadt)	12	1	3	0 / 1
Wilhelmshaven (Stadt)	16	8	4	3 / 3

Aus einer vergleichenden bzw. aggregierten Betrachtung der Vulnerabilität der im Informationssystem betrachteten sektoralen Wirkpfade des Klimawandels lassen sich folgende Aussagen ableiten (vgl. a. Tab. 21):

1. **Vergleich der Landkreise und Städte** (der MPR HB-OL): Hot Spot der Vulnerabilität ist die Stadt Delmenhorst, gefolgt von den Städten Bremerhaven und Wilhelmshaven sowie den Landkreisen Osterholz und Vechta. Eine geringere ‚Gesamtvulnerabilität‘, weisen die Landkreise Ammerland, Cuxhaven, Diepholz, Oldenburg, Osnabrück und Verden auf. In der Stadt Oldenburg ist die summierte Vulnerabilität am geringsten.
2. **Vergleich der Wirkpfade** (mit hoher Vulnerabilität an der Gesamtzahl betrachteter Wirkpfade): Auch für diesen Vergleich weist Delmenhorst die höchste Vulnerabilität auf, gefolgt von Bremerhaven, Wilhelmshaven sowie Osterholz und Vechta. Beim Vergleich der Wirkpfade weisen die Landkreise Wesermarsch und Friesland allerdings eine höhere Vulnerabilität auf, als bei der Betrachtung der ‚Gesamtvulnerabilität‘. Im Landkreis Cuxhaven ist sie hingegen geringer.

3. Beim **Vergleich des mittelfristigen mit dem langfristigen Klimaszenario** (2050- versus 2085-Szenario) ist ein leichter Trend hin zu einer Erhöhung der Vulnerabilität für die MPR HB-OL erkennbar, da sich im Landkreis Cuxhaven sowie in den Städte Bremen und Oldenburg die Anzahl der mit hoch bewerteten Wirkpfade bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erhöht.

Bei einer solchen vergleichenden Betrachtung und der daraus abgeleiteten räumlichen Aussagen ist zu berücksichtigen, dass die im Informationssystem dargestellten Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung auf unterschiedlichsten Kriterien basieren, die nur bedingt bzw. sehr eingeschränkt vergleichbar sind. So ist die Bewertung zwar grundsätzlich aus flächenhaften Inputdaten abgeleitet worden, diese beziehen sich allerdings auf unterschiedliche Raumausschnitte der Region. Es sind zwar alle Landkreise bzw. Städte der MPR HB-OL betrachtet worden, z. T. aber nur Ausschnitte wie die Küstenniederung oder die Flächen der Flora-Fauna-Habitat-Schutzgebiete.

Die Bewertungs- bzw. Vulnerabilitätskriterien sind aber auch aufgrund weiterer Aspekte nur eingeschränkt vergleichbar. So sind z. B. die Aussagen zur Klimasignalstärke, auf deren Grundlage die Vulnerabilitätsbewertung beruht, für die einzelnen Klimaparameter unterschiedlich sicher bzw. robust. Wie robust die Aussagen zu den zukünftigen Veränderungen der jeweiligen Klimaparameter sind, kann den Klimasignalkarten entnommen werden (s. a. bei den jeweiligen Wirkpfaden in Kap. 3) und wird im Folgenden dargestellt:

- Robuste Klimaparameter für alle Städte und Landkreise der MPR HB-OL sind Sommertage, heiße Tage, Jahresmitteltemperatur, saisonale Temperatur und Frosttage bzw. frostfreie Tage.
- Weniger robuste Klimaparameter sind die Zunahme der Winterniederschläge für Ammerland, Oldenburg (Stadt und Landkreis), Diepholz, Vechta, Osnabrück und Cloppenburg. Auch die Veränderungen bezüglich der Starkregentage für Friesland, Wilhelmshaven, Wesermarsch, Ammerland, Oldenburg (Stadt und Landkreis), Cloppenburg, Stadt Bremen, Osterholz und Verden sowie bezüglich der Abnahme der Sommerniederschläge für alle Städte und Landkreise der MPR HB-OL sind weniger robust.

Dementsprechend sind auch die Bewertungen der potenziellen Auswirkungen in den Handlungsbe-
reichen Wasserwirtschaft und Naturschutz weniger belastbar – Robustheitstest existieren hierfür nicht – und demzufolge auch die Aussagen zur Vulnerabilitätshöhe für die beiden Wirkpfade „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“ und „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume am Beispiel der Schutzgebiete der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie“. Die Vulnerabilitätsbewertungen der anderen Wirkpfade können als vergleichsweise belastbar bezeichnet werden.

Aussagen zur Robustheit bezüglich der zukünftigen Intensität für Extremwetterereignisse können aus den Klimasignalkarten nicht abgeleitet werden. Hinsichtlich des Klimaparameters Hitzeperioden sind die Wirkpfade „Gesundheitliche Belastung durch Hitze“, „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“ und „Belastung der Stromnetze durch erhöhten Kühlbedarf“ von diesen Einschränkungen betroffen. Hinsichtlich der Projektionen zur Höhe der Sturmflutwasserstände sowie zur Stärke von Stürmen und Extremregenereignissen ist der Wirkpfad „Verwundbarkeit der Bevölkerung gegenüber Extremereignissen“ betroffen. Die Einschätzung der Vulnerabilität ist daher hier weniger sicher bzw. belastbar. Auch über die Veränderungen der mittleren Wasserstände (mittlerer Meeresspiegel und mittleres Tidehochwasser) und der klimatischen Wasserbilanz

sind keine Informationen zur Robustheit des Klimasignals verfügbar. Hiervon sind die Einschätzungen in den Wirkpfaden „Wassermanagement der Küstenniederung: Entwässerung“ und „Beeinträchtigung geschützter Lebensräume am Beispiel der Schutzgebiete der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie“ betroffen.

Problematisch ist auch die vergleichende Bewertung der gesellschaftlichen Anpassungskapazität, da im Rahmen des Vulnerabilitätskonzepts die Einschätzung der Anpassungskapazität nur handlungsbereichsspezifisch und teilweise nur qualitativ möglich war und Möglichkeiten für eine Handlungsbereich übergreifende empirische Operationalisierung weitgehend unbekannt sind (vgl. Füssel 2010; Weisz et al. 2013). Die Auswahl von Indikatoren bzw. Kriterien für die Bewertung der gesellschaftlichen Anpassungskapazität ist stark von der Datenverfügbarkeit bestimmt und dabei stark generalisierend. Zusätzlich sind die räumlichen und zeitlichen Skalen auf die sich die Kriterien beziehen nur sehr eingeschränkt vergleichbar. Bezüglich der räumlichen Dimension bewegt sich der Kriterienbezug für die Bewertung der Anpassungskapazität zwischen lokal detaillierten Einzelinformationen und metropolübergreifenden institutionellen Strukturen. Bezüglich der zeitlichen Dimension ist es insbesondere schwierig zu differenzieren, welcher Teil der Anpassungskapazität historisch entwickelt worden ist und welcher Teil der aktuellen Anpassung schon als Reaktion auf den Klimawandel angesehen werden muss.

Dennoch halten wir eine vergleichende bzw. zusammenfassende Betrachtung von Hot Spots als Ergänzung einer rein sektoralen Vulnerabilitätsbetrachtung für sinnvoll, um auf der Ebene der gesamten Metropolregion eine Basis für die Identifizierung von Räumen mit vordringlichem Handlungsbedarf bzw. -priorität in den betrachteten Wirkpfaden zu schaffen. Ist dieser Handlungsbedarf erkannt worden, so wird es anhand des Informationssystems auch möglich sein, vulnerabilitätsreduzierende Maßnahmen zu identifizieren. Dieses basiert im Wesentlichen auf dem Konzept des Informationssystems: aufgrund des Vorgehens bei der Entwicklung des Informationssystems ist es prinzipiell möglich, die entsprechenden Bewertungsmatrizes „rückwärts“ zu lesen, also zu analysieren, bei welchen Bewertungskriterien Anpassung an den Klimawandel ansetzen könnte, um entweder die potenziellen Auswirkungen zu verringern, die Sensitivität zu reduzieren oder die Anpassungskapazität zu erhöhen. Es wäre also z.B. für Anpassungsmaßnahmen im Wirkpfad gesundheitliche Belastung durch Hitze sowohl sinnvoll, durch städtebauliche Strategien den Versiegelungsgrad zu reduzieren, als auch die Ausstattung des Gesundheitssystems zu verbessern. Beides könnte zur Verminderung der Höhe der Vulnerabilität in diesem Sektor beitragen.

Zusätzlich ermöglicht eine vergleichende Darstellung der Vulnerabilität auch zu erkennen, wo sich Handlungsbedarf für integrierte Ansätze oder Strategien ergeben könnte. So könnten sich z. B. Hinweise auf Ansatzpunkte für synergetisch wirkende Maßnahmen entdecken lassen, wenn durch Anpassung die Vulnerabilität in mehreren Wirkpfaden gleichzeitig reduziert werden könnte.

Für die Ermittlung von geeigneten Anpassungsmaßnahmen zur Reduzierung der Vulnerabilität müssen die Hot Spots dann allerdings detaillierter betrachtet werden, da die Umsetzung von (technischen) Klimaanpassungsmaßnahmen insbesondere auch eine lokale Herausforderung darstellt, die auf der Ebene eines so großen Raumes wie der Metropolregion nur vorbereitet werden kann. Folglich bedarf es weiterer räumlicher Differenzierungen und Konkretisierungen, um angemessene Anpassungsmaßnahmen empfehlen zu können.

5. Ausblick

Bei dem entwickelten und online verfügbaren „Informationssystem Vulnerabilität“ handelt es sich um einen Prototyp, der inhaltlich und technisch so angelegt ist, dass verschiedene Erweiterungsmöglichkeiten vergleichsweise einfach umzusetzen sind. Die folgenden Kapitel beschreiben Möglichkeiten und Erfordernisse für eine Weiterentwicklung des Prototyps, wobei zwei Aspekte unterschieden werden können:

1. Implementierung weiterer sektoraler Wirkpfade des Klimawandels (s. Kap. 5.1);
2. Monitoring der Klimawirkungen, der Anpassungskapazität und der Vulnerabilität (s. Kap. 5.2).

5.1 Implementierung weiterer sektoraler Wirkpfade des Klimawandels

Im Prototyp des Informationssystems sind nur einige ausgewählte Wirkpfade des Klimawandels aus der umfangreichen Vulnerabilitätsanalyse von ‚nordwest2050‘ implementiert (alle betrachteten Wirkpfade finden sich in Schuchardt et al. 2011). Grund für diese Einschränkung ist, dass für viele Wirkpfade räumliche Daten nicht vorlagen bzw. zur Verfügung standen und/oder eine Verortung bzw. räumliche Differenzierung v.a. der gesellschaftlichen Anpassungskapazität nicht möglich war bzw. sinnvoll erschien. Die in ‚nordwest2050‘ durchgeführte sektorale (s. Schuchardt et al. 2011) bzw. regionale Vulnerabilitätsanalyse (s. Schuchardt & Wittig 2012) beinhaltet jedoch auch weitere Wirkpfade, die potenziell in das Informationssystem implementiert werden könnten.

Hinweise darüber, welche Wirkpfade des Klimawandels implementiert werden könnten und welche räumlichen Daten dazu benötigt würden, lassen sich aus den in Kapitel 1.2 genannten Informations- und Entscheidungsunterstützungssysteme ableiten:

- Wirkpfad **„Küstenschutz – Zunahme Sturmflutschadensrisiko“**: Für den Küstenschutz könnte, basierend auf dem risikobezogenen Ansatz der Hochwasser-Informationenplattform des Projekts **INNIG**, die Sensitivität anhand der Versagenswahrscheinlichkeit der Küstenschutzanlagen und des Schadenspotenzials in dem durch den Küstenschutz geschützten Gebiets bewertet werden, während für die Anpassungskapazität die vom Klimasignal abhängige Einschätzung der gesellschaftlichen Anpassungskapazität aus ‚nordwest2050‘ herangezogen werden könnte (allerdings für die Metropolregion nicht räumlich differenzierbar). Dieser Wirkpfad wäre auch deshalb relativ leicht zu implementieren, da die Hochwasser-Informationenplattform auf derselben technischen Konfiguration basiert.
- Wirkpfad **„Ernährungswirtschaft – Landwirtschaftliche Erwerbstätigkeit“**: Hier könnte analog zur Vulnerabilitätseinschätzung des Projekts **CARAVAN** ein Wirkpfad für die Landwirtschaft implementiert werden. Dabei könnten Expositions-kriterien wie Länge der Vegetationsperiode, Anzahl der Frosttage im Frühling, Niederschlagsmenge im Frühling und im Herbst sowie Schneemenge herangezogen werden. Kriterien für die Einschätzung

der Sensitivität oder der Anpassungskapazität wären Anzahl der Beschäftigten im primären Sektor, Anzahl älterer Erwerbstätige, Einwanderungsraten, Aging-Index und Höhe der Sozialabgaben.

- Wirkpfad „**Ernährungswirtschaft – Landwirtschaftliches Ertragspotenzial**“: Für die Landwirtschaft könnte weiterhin auch dem Ansatz des Projekts **KFM** gefolgt werden, in dem für die Metropolregion Hannover, Braunschweig, Göttingen und Wolfsburg die Ertragspotentiale und die Beregnungsbedürftigkeit von unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kulturen sowie die Nitratauswaschungsgefahr im Boden analysiert worden sind, um für den Klimawandel sog. landwirtschaftliche Hot Spots der Vulnerabilität mit erhöhter Nitratauswaschungsgefährdungen, höherer Beregnungsbedürftigkeiten und geringeren Ertragspotentiale darstellen zu können.

Weitere Hinweise auf die Möglichkeiten zur Darstellung zusätzlicher Wirkpfade des Klimawandels in Kartenform bietet die europäische Online-Plattform zur Klimaanpassung „CLIMATE-ADAPT – European Climate Adaptation Platform“ (s. <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>). Auch das aktuelle Vorhaben „Netzwerk Vulnerabilität“ verfolgt einen Ansatz, mit dem die Folgen des Klimawandels in Form von Wirkpfaden bearbeitet werden (s. <http://www.netzwerk-vulnerabilitaet.de/tiki-index.php>).

Voraussetzungen für die Ergänzung des Prototyps mit weiteren Wirkpfaden sind einerseits technischer Art und andererseits abhängig von der Datenverfügbarkeit. Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, ist der Prototyp so angelegt, dass die Ergänzung mit weiteren Wirkpfaden technisch möglich ist. Sowohl die Speicherkapazität, die Konzeption der hinter den Karten stehenden GIS-Projekte als auch das Layout lässt eine von einem internetfähigen Rechnerplatz steuerbare Erweiterung zu. Da für die Kartendarstellung eine dynamische Datenvisualisierung gewählt worden ist, können über den Map-Server weitere Karten produziert und durch das Informationssystem dargestellt werden.

Anders sieht es mit der Verfügbarkeit von räumlichen Daten aus. Diese sind meist (noch) nicht vorhanden, nur mit großem Aufwand zu beschaffen oder nicht frei verfügbar. Neben der inhaltlich-wissenschaftlichen Begründung bezüglich einer sinnvollen Auswahl relevanter Kriterien für die Vulnerabilitätsbewertung (insbesondere für die gesellschaftlichen Anpassungskapazität), ist dieses eine zentrale Herausforderung einer Erweiterung des Prototyps. Bei der Erstellung des Prototyps ist daher auf eine enge Verknüpfung mit den über das Regionalmonitoring verfügbaren Daten Wert gelegt worden, die von der MPR HB-OL i. NW e.V. zur Verfügung gestellt wurden und die regelmäßig aktualisiert und ergänzt werden (s. Kap. 5.2).

5.2 Monitoring der Klimawirkungen, der Anpassungskapazität und der Vulnerabilität

Sowohl das Wissen über den Klimawandel und seine Wirkungen, als auch die Gesellschaft verändern sich kontinuierlich, während die im Informationssystem dargestellte Vulnerabilität sich auf den heutigen Zustand der Gesellschaft bezieht und das aktuell vorhandene Wissen über den Klimawandel nutzt. Zusätzliche Erkenntnisse der Klimaforschung verbessern auf der einen Seite die Robustheit des Klimawissens und erlauben zunehmend detaillierte und belastbare Aussagen über die Klimawirkungen, auf die sich die Gesellschaft einstellen muss. Auf der anderen Seite verändert sich jedoch auch die Gesellschaft durch vielfältige Trends wie z.B. die demografische Entwicklung.

Damit verändern sich auch die Sensitivität gegenüber dem Klimawandel und die gesellschaftliche Kapazität im Umgang mit den Wirkungen des Klimawandels. Um den notwendig werdenden Anpassungsprozess angemessen gestalten zu können, ist ein Monitoring der sich verändernden Vulnerabilität sinnvoll bzw. notwendig (BMVBS 2011).

Zusätzlich könnte es im Rahmen einer zukünftigen Beobachtung der Vulnerabilität auch erforderlich werden, die für die Vulnerabilitätsbewertung herangezogenen Kriterien zu ergänzen, andere auszuwählen oder sie anders zu gewichten. Eine von den Nutzern des Systems einstellbare Kriterienauswahl oder Bewertung der Bedeutung der einzelnen Vulnerabilitätskriterien könnte nicht nur dazu beitragen, dass das aktuelle Wissen über die zwangsläufig von gesellschaftlichen Werthaltungen abhängige Vulnerabilitätshöhe Berücksichtigung findet, sondern sich auch insgesamt die Akzeptanz und damit Nutzungshäufigkeit des Systems verbessert.

Das Informationssystem erlaubt durch die dynamische Datenvisualisierung ein Monitoring der Vulnerabilitätsentwicklung, da aktuelle und/oder zusätzlich Informationen und Daten vergleichsweise einfach implementiert und dargestellt werden können. Im Sinne einer „Bedienungsanleitung“ zur Implementierung eines Vulnerabilitätsmonitorings, also des regelmäßigen Einfügens aktueller Daten für die Vulnerabilitätskriterien der betrachteten Wirkpfade, sind folgende technische Voraussetzungen angelegt:

- **Daten:** Alle räumlichen Daten (Geodaten) der Applikation können in Form von so genannten Shapefiles aus einer GIS-Anwendung gespeichert werden. Alle Daten zu den jeweiligen Wirkpfaden können dabei in einem spezifischen Verzeichnis abgelegt werden, wobei neue Shapefiles eingefügt oder bestehende ersetzt werden können. Zusätzlich kann dann ein neues Mapfile (Mapserver-Karten) erstellt werden. Generell enthalten alle Karten jeweils nur ein Klimaszenario mit den drei Ebenen mögliche Auswirkungen, Anpassungskapazität, Vulnerabilität und weisen damit alle benötigten Ebenen und Einstellungen bereits auf.
- **Karten:** Alle Mapfiles enthalten Informationen zu Darstellung der Karte, wie die Übersichtskarte, die Legende und der Maßstab sowie die verschiedenen Ebenen der Karte. Die unterschiedlichen Klimaszenarien sind aus Gründen der Übersichtlichkeit auf mehrere Karten verteilt. Da alle Karten jeweils nur einen Wirkpfad eines spezifischen Klimaszenarios enthalten und in jedem dieser Mapfiles sich neben den Karteninformationen auch die drei untersuchten Ebenen zu den möglichen Auswirkungen, der Anpassungskapazität und der Vulnerabilität finden, können von den vorhandenen Karten unabhängig weitere Mapfiles implementiert werden. Diese werden dann aktiviert, wenn über die Auswahl entsprechende Karten angefordert werden.
- **Ebenen:** Eine Karte enthält verschiedene Ebenen (Layer), die separat voneinander angezeigt werden. Jede Ebene benötigt einen eindeutigen Namen und eine Gruppe, wobei mehrere Ebenen zur gleichen Gruppe gehören können. Im System gehören zur Gruppe Basis die Ebenen, die aus den Kartengrundlagen erstellt wurden. Sie sind immer sichtbar und erscheinen nicht in der Legende. Zusätzliche Ebenen sind zunächst abgeschaltet und werden erst sichtbar, wenn die Ebene aktiv ist bzw. ausgewählt wird. Für sie muss also nur angegeben werden, aus welchem Shapefile die Ebene generiert werden soll.

Auf der Basis der vorliegenden Dokumentation über das Konzept, die technischen Voraussetzungen (s. Kap. 2) und die wirkpfadspezifischen Vulnerabilitätskriterien (s. Kap. 3) des „Informationssystem“

tems Vulnerabilität“ ist u.E. der Grundstein für ein Vulnerabilitätsmonitoring gelegt. Ein zeitlich gestaffeltes, regelmäßiges Wiederholen des im vorliegenden Bericht dargestellten Vorgehens für das „Informationssystem Vulnerabilität“ erlaubt es, Veränderungen in der Vulnerabilität zu erkennen oder die Wirkung bzw. Eignung von ergriffenen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel bzw. zur Verringerung der Vulnerabilität zu messen.

6. Fazit

Die Erfahrungen bei der Bearbeitung des Verbundvorhabens ‚nordwest2050‘ haben gezeigt, dass Information und Kommunikation über Klimaanpassung notwendig ist, um für eine breit getragene Klimaanpassungsstrategie Unterstützung und Akzeptanz zu bekommen (Born et al. 2012). Interaktive und online basierte Internetanwendungen sind dabei gut geeignet, die komplexen Ergebnisse der Klimafolgen- und Klimaanpassungsforschung akteursgerecht und nutzerfreundlich zu präsentieren. Den Stakeholdern und Entscheidungsträgern, aber auch der Öffentlichkeit der Metropolregion Bremen-Oldenburg steht mit dem „Informationssystem Vulnerabilität“ nun ein Instrument zur Verfügung, mit dem der initiierte Anpassungsdiskurs bzw. -prozess wissensbasiert unterstützt werden kann. Damit wird der Weg hin zu einer klimawandelangepassten Region unterstützt.

Allerdings kann die Plattform lediglich den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft darstellen. Die Klimafolgen- und Klimaanpassungsforschung ist ein hochdynamisches Forschungsfeld, welches laufend neue Ergebnisse hervorbringt, die auch für die Metropolregion Bremen-Oldenburg von hoher Relevanz sein werden. Z. B. sind mit den vorliegenden Erkenntnissen und neuen Emissions-szenarien des 5. Sachstandberichtes des IPCC (s. IPCC 2013) die erzielten Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse und deren Darstellung im Informationssystem zu überprüfen. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist dementsprechend ein iterativer und dynamischer Prozess, der aus gegenwärtiger Sicht zumindest mittelfristig nicht abzuschließen sein wird. Für das entwickelte Informationssystem gilt darüber hinaus, dass nur wenige Wirkpfade des Klimawandels implementiert worden sind und dass daher eine als integrativ zu bezeichnende Vulnerabilitätsanalyse und -bewertung weiterer Forschungsaktivitäten bedarf. Dank der Erweiterbarkeit des entwickelten Informationssystems werden die Bereitstellung der entsprechenden Forschungsergebnisse und deren Einbindung in eine Informations- und Kommunikationsstrategie zukünftig realisierbar sein.

7. Literatur

- Akamp, M. & H. Schattke (2011): Regionale Vulnerabilitätsanalyse der Ernährungswirtschaft im Kontext des Klimawandels. Eine Wertschöpfungskettenbetrachtung der Fleischwirtschaft in der Metropolregion Bremen-Oldenburg. 8. Werkstattbericht im Rahmen des Forschungsverbundes ‚nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten‘: 117
[http://www.nordwest2050.de/index_nw2050.php?obj=file&aid=8&id=239&unid=93bafc25af5ad8512b116fb0d7b0289c, 03.04.2013]
- Averdung, C. (2000): Integration raumbezogener Daten über Schnittstellen. In: Geo- Informationssysteme - Zeitschrift für raumbezogene Information und Entscheidungen, Jg. 2000, Heft 1: 17–22
- Badeck, F., K. Böhning-Gaese, W. Cramer, P. Ibisch, S. Klotz, I. Kühn, K. Vohland & U. Zander (2007): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel – Risiken und Handlungsoptionen. In: Natura 2000 und Klimaänderungen. Bonn – Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz, Naturschutz und Biologische Vielfalt. Vol. 46: 151–167
- Balzer, S. & A. Ssymank (2005): Natura 2000 in Deutschland. Naturschutz und biologische Vielfalt14, Bonn-Bad Godesberg, CD-ROM mit Booklet
- Balzer, S., M. Dieterich & B. Beinlich (2007): Natura 2000 und Klimaänderungen. Tagungsband zur gleichnamigen Tagung vom 28.–31. August 2006 auf der Insel Vilm. Naturschutz und Biologische Vielfalt 46: 1–173
- BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2010, Hrsg.): Methode für die Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz. Wissenschaftsforum, Band 8. Bonn
[http://www.bbk.bund.de/cln_012/nn_402322/SharedDocs/Publikationen/Wissenschaftsforum/Bd8__Methode-Risikoanalyse-BS,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Bd8_Methode-Risikoanalyse-BS.pdf, 20.12.2010]
- BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2011, Hrsg.): Indikatoren zur Abschätzung von Vulnerabilität und Bewältigungspotenzialen am Beispiel von wasserbezogenen Naturgefahren in urbanen Räumen. Forschung im Bevölkerungsschutz, Band 13: 588
- Becker, P. (2010): Klimawandel – Extremwetter – Frühwarnsysteme. Vortrag 2. UBA Anpassungskonferenz, Dessau-Roßlau, 2. und 3. September 2010
[http://www.anpassung.net/DE/Anpassungsstrategie/Veranstaltungen/100902-03_20Forschungskonferenz__UBA__DWD/2__Becker__DWD__Klimawandel-Extremwetter-Fruehwar-systeme,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/2__Becker__DWD__Klimawandel-Extremwetter-Fruehwar-systeme.pdf, 17.03.2011]

- Beermann, B. (2011): Regionales Entscheidungsunterstützungssystem zum Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg. Identifizierung von Hot Spots und Maßnahmenansätzen auf Ebene der Metropolregion. Bericht des Projekts „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg“ (KFM), erstellt von GEO-NET Umweltconsulting GmbH: 21
- Beermann, M. (2011): Regionale Vulnerabilitätsanalyse der Ernährungswirtschaft im Kontext des Klimawandels. Eine Wertschöpfungskettenbetrachtung der Fischwirtschaft in der Metropolregion Bremen-Oldenburg. 7. Werkstattbericht im Rahmen des Forschungsverbundes ‚nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten‘: 38
[http://www.nordwest2050.de/index_nw2050.php?obj=file&aid=8&id=220&unid=6fde5d91f9c547ae3856c6e18e4abd4b, 03.04.2013]
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2007): Nationaler Bericht gemäß FFH-Richtlinie: Erhaltungszustände der FFH-Lebensraumtypen in der atlantischen Region
[http://www.bfn.de/0316_bericht2007.html, 21.02.2013]
- BioConsult (2009): Durchgängigkeit und Vernetzung von Küsten- und Binnengewässern. Bestandsituation und Konkretisierung von Maßnahmen im Sinne der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Auftraggeber: NLWKN - Betriebsstelle Brake/Oldenburg: 133
- Blesl, M., S. Kempe, M. Ohl, U. Fahl, A. König, T. Jenssen & L. Eltrop (2008): Wärmeatlas Baden-Württemberg – Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Stuttgart, Deutschland
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011, Hrsg.): Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis. Inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Betroffenheiten. BMVBS-Online-Publikation 21/2011: 62
- Bormann, H., F. Ahlhorn, L. Giani & T. Klenke (2009): Climate Proof Areas – Konzeption von an den Klimawandel angepassten Wassermanagementstrategien im norddeutschen Küstenraum. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2. Jahrgang, Heft 7/2009: 363–369
- Born, M., A. Lieberum & C. Winkelseth (2012): Prinzipien der Anpassungskommunikation im Projekt ‚nordwest2050‘. 15. Werkstattbericht im Rahmen des Forschungsverbundes ‚nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten‘: 11
- Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel: vom Bundeskabinett am 31. August 2011 beschlossen. 54 Seiten plus Anhang
- CSC – Climate Service Center (2011): Bedarfsanalyse Klimawandel. Fragen an die Land- und Wasserwirtschaft. CSC Report 4: 68 [http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/csc_report4.pdf, 14.11.2012]
- DKKV – Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e. V. (2003, Hrsg.): Hochwasservorsorge in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Lessons Learned, Schriftenreihe des DKKV 29: 144

- DKV (2002): Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.: Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte. Stuttgart, Deutschland
- EEA – European Environment Agency (2008): Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator based assessment. EEA Report No 4/2008, Joint EEA-JRC-WHO report: 247 [http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4, 29.09.2008]
- EEA – European Environment Agency (2012): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. EEA Report, No. 12/2012: 300 [http://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012/at_download/file, 21.02.2013]
- ESPON Climate (2011): Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies (Scientific Report). Institute of Spatial Planning (IRPUD), TU Dortmund [http://www.espon.eu/main/Menu_Projects/Menu_AppliedResearch/climate.html; 11.02.2014]
- Fischer, E. M. & C. Schär (2010): Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, 3(6): 398–403 [http://www.iac.ethz.ch/people/fischeer/docs/fischer_schaer_2010.pdf, 26.02.2013]
- Füssel, H.-M. (2010): Review and quantitative analysis of indices of climate change exposure, adaptive capacity, sensitivity, and impacts. Background note to the World Development Report 2010: 34
- Gabriel, J. & S. Meyer (2010): Eine vulnerabilitätsbezogene Wertschöpfungskettenanalyse für ausgewählte Wertschöpfungsketten im Cluster Energiewirtschaft. Abschlussbericht für ‚nordwest2050‘, Bremer Energie Institut (BEI), Bremen: 308
- GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (2011): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadensituation in der deutschen Versicherungswirtschaft – Kurzfassung Hochwasser. Studie im Auftrag des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.: 31 [http://www.gdv.de/2012/12/klimawandel-herausforderungen-fuer-deutschland, 21.02.2013]
- Gnansonou, E. (2008): Assessing the energy vulnerability: Case of industrialised countries. *Energy policy* 36: 3724–3744
- Greiving, S., Flex, F., Lindner, C., J. Lückenkötter, A. Holsten, J. Kropp, S. Juhola, P. Niemi, L. Peltonen, J. Vehmas, S. Davoudi, E. Tranos, P. Schmidt-Thomé, J. Klein, T. Tarvainen, et al. (2011): ESPON Climate – Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies. Applied Research Project No. 2013/1/4. ESPON: [http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/AppliedResearch/CLIMATE/inceptionreport_final.pdf; 11.02.2014]
- Grinsted, A., J. C. Moore & S. Jevrejeva (2009): Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100AD. *Climate Dynamics*: 10
- Gross, G., A. Krause, C. Lenssen, U. Müller, C. von Buttlar, M. Karpenstein-Machen, R. Bauböck, D. Dressler, A. Loewen, D. Lessmann, I. Mersch, E. Fricke, C. Weiss, M. Reich, M. Rode, T. Wixwat, H. Röhm, K. Fürstenberg, A. Matheja, M. Meinke & B. Beermann (2011): Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen. *GeoBerichte* 18, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover: 3–174

- Grossmann, I., K. Woth & H. von Storch (2007): Localization of global climate change: Storm surge scenarios for Hamburg in 2030 and 2085. *Die Küste* 71: 169–182
- Hoffmann, B., M. Meckelburg & M. Meinken (2005): Folgen einer Klimaänderung für den Grund und Bodenwasserhaushalt der Unterwesermarsch. In: B. Schuchardt & M. Schirmer (Hrsg.) (2005): *Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- & Umweltsozialwissenschaften*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag: 103–137
- Holsten, A. (2007): Ökologische Vulnerabilität von Schutzgebieten gegenüber Klimawandel – exemplarisch untersucht für Brandenburg. Institut für Geowissenschaften, Tübingen, Universität Tübingen: 135
- Huynen, M., P. Martens, D. Schram, M. P. Weijenberg & A. E. Kunst (2001): The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population. *Environmental Health Perspectives*, 109 (5): 463–470
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: *Klimaänderung 2007 – Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, C.E. Hanson and P.J. van der Linden (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK: 22 [<http://www.de-ipcc.de/>, 03.09.2007]
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2012): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (SREX Report)*. Editors: Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor and P.M. Midgley; Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA: 582 [<http://ipcc-wg2.gov/SREX/>, 21.02.2013]
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2013): *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 27
- Jacob, D., H. Göttel, S. Kotlarski, P. Lorenz & K. Sieck (2008): *Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 204 41 138, Climate Change 11/08, Umweltbundesamt: 159*
- Jensen, J. & C. Mudersbach (2007): *Zeitliche Änderungen in den Wasserstandsreihen an den deutschen Küsten*. In: *Deutsche Akademie für Landeskunde e. V. / Leibniz-Institut für Länderkunde (Hrsg.) (2007): Berichte zur deutschen Landeskunde – Themenheft: Küstensenarien*. 81. Band, Heft 2. Leipzig: Selbstverlag Deutsche Akademie für Landeskunde e. V.: 99–112

- Jonas, M., T. Staeger & C.-D. Schönwiese (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland. Bericht zum UBA-Forschungsvorhaben 20141254, Bericht Nr. 1, Inst. Atmosphäre Umwelt, Universität Frankfurt/Main: 250
- Korn, H. & C. Epple (2006): Biologische Vielfalt und Klimawandel – Gefahren, Chancen, Handlungsoptionen. BfN-Skripten 148: 27 [http://www.bfn.de/0502_skripten.html, 08.09.2008]
- Kropp, J., A. Holsten, T. Lissner, O. Roithmeier, F. Hattermann, S. Huang, J. Rock, F. Wechsung, A. Lüttger, S. Pompe, I. Kühn, L. Costa, M. Steinhäuser, C. Walther, M. Klaus, S. Ritchie & M. Metzger (2009): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren. Abschlussbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MUNLV): 279 [http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/abschluss_pik_0904.pdf, 15.01.2010]
- Kruyt, B., D.P. van Vuuren, H.J.M. de Vries & H. Groenenberg (2009): Indicators for energy security. *Energy policy* 37: 2166–2181
- Kunz, H. (1975): Wasserhaushaltsuntersuchungen in tidebeeinflussten Gebieten. Dissertation an der TU Hannover.
- LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2010, Hrsg.): Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“ – Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen, beschlossen auf der 139. LAWA-VV am 25./26. März 2010 in Dresden [http://www.lawa.de/documents/LAWA_Strategiepapier_1006_d07.pdf, 24.07.2010]
- Leuschner, C. & F. Schipka (2004): Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. Vorstudie, Abschlussbericht F+E-Vorhaben zur Erstellung einer Literaturstudie, FKZ 80383010, im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, BfN-Skripten 115: 40
- Lissner, T. K., A. Holsten, C. Walther & J. P. Kropp (2011): Towards sectoral and standardised vulnerability assessments: the example of heatwave impacts on human health. *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-011-0231-5, Springer: 22
- Malsy, M. (2010): Analyse der Zu- und Entwässerungssysteme in der Wesermarsch: Geschichte, Funktion und Anpassungsstrategien an den Klimawandel. Diplomarbeit an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg: 113
- Maniak, U., A. Weihrauch & G. Riedel (2005): Die wasserwirtschaftliche Situation in der Unterwesermarsch unter der Einwirkung einer Klimaänderung. In: B. Schuchardt & M. Schirmer (Hrsg.) (2005): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. *Umweltnatur- & Umweltsozialwissenschaften*, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag: 79–102
- Mann, H. & D. Whitney (1947): On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of mathematical Statistics* 18: 50–60

- Mesterharm, M. (2011): Regionale Vulnerabilitätsanalyse der Ernährungswirtschaft im Kontext des Klimawandels. Eine Wertschöpfungskettenbetrachtung der Milchwirtschaft in der Metropolregion Bremen-Oldenburg. 9. Werkstattbericht im Rahmen des Forschungsverbundes „nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten“: 70
[http://www.nordwest2050.de/index_nw2050.php?obj=file&aid=8&id=238&unid=93bafc25af5ad8512b116fb0d7b0289c, 03.04.2013]
- Nationalpark- und Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer (2010, Hrsg.): FuE-Vorhaben: Biosphärenreservate als Modellregionen für Klimaschutz und Klimaanpassung. Teilprojekt: „Speichern statt Pumpen“ [http://www.nationalpark-wattenmeer.de/nds/service/publikationen/1207_projekt-speichern-statt-pumpen-abschlussbericht, 26.06.2010]
- Petermann, J., S. Balzer, G. Ellwanger, E. Schröder & A. Ssymank (2007): Klimawandel – Herausforderung für das europaweite Schutzgebietssystem Natura 2000. In: S. Balzer, M. Dietrich & B. Beinlich (Hrsg.): Natura 2000 und Klimaänderungen. Bonn-Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz, Naturschutz und Biologische Vielfalt. Vol. 46: 127–148
- Pfeifer, S., A. Gobiet, A. Hänslers, M. Mudelsee, D. Rechid, H. Ries, C. Teichmann, B. Weber & D. Jacob (2013, in prep.): Mapping the Robustness of Regional Climate Change Information. Submitted to the Journal of Applied Meteorology and Climatology
- Rahmstorf, S. & K. Richardson (2007): Wie bedroht sind die Ozeane? Biologische und physikalische Aspekte. Frankfurt a. M.: Fischer Taschenbuch Verlag
- Rahmstorf, S. (2007): A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise. In: Science; Vol. 315, 19.01.2007: 368–370
- Rahmstorf, S., A. Cazenave, J. A. Church, J. E. Hansen, R. F. Keeling, D. E. Parker & R. C. J. Somerville (2007): Recent Climate Observations Compared to Projections. Science, Vol. 316, 04.05.2007: 709
- Riecken, U., P. Finck, U. Raths, E. Schröder & A. Ssymank (2006): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung 2006. Naturschutz und Biologische Vielfalt 34, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, Landwirtschaftsverlag, Münster: 318
- Ruthsatz, B. (1995): Welche Naturschutzmaßnahmen lassen sich schon heute aufgrund vermutlicher anthropogener Klimaänderungen empfehlen? Ein Beitrag aus vegetationskundlicher Sicht. Bundesamt für Naturschutz. Klimaänderung und Naturschutz. Angewandte Landschaftsökologie 4: 213–224
- Schauser, I., S. Otto, S. Schneiderbauer, A. Harvey, N. Hodgson, H. Robrecht, D. Morchain, J.-J. Schrandner, M. Khovanskaia, G. Celikyilmaz-Aydemir, A. Prutsch, S. McCallum (2010): Urban Regions: Vulnerabilities, Vulnerability Assessments by Indicators and Adaptation Options for Climate Change Impacts - Scoping Study. European Topic Centre on Air and Climate Change, ETC/ACC Technical Paper 2010/12: 200

- Schirmer, M. (2005): Das Klimaszenario der Fallstudie „Klimaänderung und Unterweserregion“ (KLIMU). In: Schuchardt, B. & M. Schirmer (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 49–56
- Schneiderbauer, S. (2010): Scoping vulnerability indicators for urban regions. Introduction to vulnerability assessment by indicators. In: I. Schauser, S. Otto, S. Schneiderbauer, A. Harvey, N. Hodgson, H. Robrecht, D. Morchain, J.-J. Schrandner, M. Khovanskaia, G. Celikyilmaz-Aydemir, A. Prutsch, S. McCallum (2010): Urban Regions: Vulnerabilities, Vulnerability Assessments by Indicators and Adaptation Options for Climate Change Impacts - Scoping Study. European Topic Centre on Air and Climate Change, ETC/ACC Technical Paper 2010/12: 40–46
- Schröter, D., L. Acosta-Michlik, A.W. Arnell, M.B. Araújo, F. Badeck, M. Bakker, A. Bondeau, H. Bugmann, T. Carter, A.C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, G.Z. Espiñeira, F. Ewert, U. Fritsch, P. Friedlingstein, M. Glendinning, C.A. Gracia, T. Hickler, J. House, M. Hulme, S. Kankaanpää, R.J. T. Klein, B. Krukenberg, S. Lavorel, R. Leemans, M. Lindner, J. Liski, M.J. Metzger, J. Meyer, T. Mitchell, F. Mohren, P. Morales, J.M. Moreno, I. Reginster, P. Reidsma, M. Rounsevell, E. Pla, J. Pluimers, I.C. Prentice, A. Pussinen, A. Sánchez, S. Sabaté, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M.T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, G. van der Werf, J. Vayreda, M. Wattenbach, D.W. Wilson, F.I. Woodward, S. Zaehle, B. Zierl, S. Zudin & W. Cramer (2004): ATEAM (Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling) final report. Section 5 and 6 and Annex 1 to 6, Reporting period: 01.01.2001–30.06.2004, Contract EVK2-2000-00075, Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK): 139
- Schuchardt, B. & M. Schirmer (2005, Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 341
- Schuchardt, B. & S. Wittig (2012, Hrsg.): Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel (Synthesebericht). „nordwest2050“-Berichte Heft 2, Bremen / Oldenburg: Projektkonsortium „nordwest2050“: 273
- Schuchardt, B., M. Schirmer & H. Lange (2008): Integration und Informationsplattform. Abschlussbericht des Teilprojekt 5, BMBF-Projekt „Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft“ (INNIG), Förderkennzeichen: 0330693E, BioConsult und Universität Bremen: 119
- Schuchardt, B., S. Wittig & J. Spiekermann (2010): Klimaszenarien für ‚nordwest2050‘. Teil 2: Randbedingungen und Beschreibung. 3. Werkstattbericht im Rahmen des Forschungsverbundes ‚nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten‘: 76
[http://www.nordwest2050.de/index_nw2050.php?obj=file&aid=8&id=184&unid=734e560eaf68e0caa04681b605ebfc0a, 27.10.2010]
- Schuchardt, B., S. Wittig & M. Schirmer (2008): Klimawandel und Ästuar – Perspektiven für den Naturschutz. Studie für den WWF Deutschland. 1. Auflage, Frankfurt a. M.
[http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/Report_Klimawandel_und_AEstuar.pdf, 02.03.2010]

- Schuchardt, B., S. Wittig, J. Spiekermann (2011): Klimawandel in der Metropolregion Bremen-Oldenburg. Regionale Analyse der Vulnerabilität ausgewählter Sektoren und Handlungsbereiche. 11. Werkstattbericht im Rahmen des Forschungsverbundes ‚nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten‘, BioConsult: 502
[http://www.nordwest2050.de/index_nw2050.php?obj=file&aid=8&id=272&unid=558d5bd2dde8647264fe98b295d6675e; 23.06.2011]
- Tetzlaff, G., H. Karl & G. Overbeck (2006, Hrsg.): Wandel von Vulnerabilität und Klima: Müssen unsere Vorsorgewerkzeuge angepasst werden? Workshop des Deutschen Komitee Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) und der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL) am 27./28.11.2006 in Hannover, Schriftenreihe der DKKV 35: 124
- Tetzlaff, G., T. Trautmann & K.S. Radtke (2002): Extreme Naturereignisse – Folgen, Vorsorge, Werkzeuge. Zweites Forum Katastrophenvorsorge, Leipzig, 24. bis 26. September 2001, Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV): 80
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. van Jaarsveld, G.F. Midgley, L. Miles, M.A. Ortega-Huerta, A.T. Peterson, O.L. Phillips & S.E. Williams (2004): Extinction risk from climate change. *Nature*, Vol. 427: 145–148
- Thuiller, W., S. Lavorel, M. B. Araújo, M. T. Sykes & I. C. Prentice (2005): Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Nat. Acad. Sc. USA* 102: 8245–8250
- UBA – Umweltbundesamt (2009a): Gesundheitliche Anpassung an den Klimawandel. Hintergrundpapier des UBA, Pressestelle, Autoren: H.-G. Mücke, J. Klasen, O. Schmoll & R. Szewzyk: 20 [<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3753.pdf>, 01.12.2010]
- UBA – Umweltbundesamt (2009b): Klimawandel und Gesundheit: Informations- und Überwachungssysteme in Deutschland. Ergebnisse der internetbasierten Studie zu Anpassungsmaßnahmen an gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland. *Umwelt & Gesundheit* 03/2009, von Sperk, C. & H.-G. Mücke: 117
[<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf/3816.pdf>, 01.12.2010]
- Wachsmuth, J., S. Gößling-Reisemann, S. Stührmann, B. Lutz-Kunisch, A. von Gleich, J. Gabriel & S. Meyer (2012): Vulnerabilitätsanalyse der Energieversorgung der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten Deutschlands im Kontext des Klimawandels. Bericht im Rahmen des Forschungsverbundes ‚nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten‘, Universität Bremen
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten. Berlin: 114
[http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn2006/wbgu_sn2006.pdf, 22.03.2010]
- Website BfN a – Bundesamt für Naturschutz: Nationaler Bericht - Bewertung der FFHLebensraumtypen [http://www.bfn.de/0316_bewertung_lrt.html, 18.05.2010]
- Website BfN b – Bundesamt für Naturschutz: Schutzwürdige Landschaften [http://www.bfn.de/0311_landschaften.html, 18.05.2010]

- Website CSC – Climate Service Center: Klimasignalkarten für Deutschland [http://www.climate-service-center.de/031443/index_0031443.html.de, 30.01.2013]
- Website M&D – Model & Data Homepage: Model and Data group at the Max Planck Institute for Meteorology in Hamburg [<http://www.mad.zmaw.de/>, 04.02.2013]
- Website NIS – Naturschutzinformationssystem Bremen: Kartendienst [<https://www.gis.umwelt.bremen.de/nisviewer/hm/arcims/viewer.htm>, 14.11.2012]
- Website NLWKN a – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz: Statistischer Überblick über Schutzgebiete und -objekte in Niedersachsen [http://www.nlwkn.niedersachsen.de/master/C8380003_N5512608_L20_D0_I5231158.html, 06.05.2010]
- Website NLWKN b – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz: Downloads zu NATURA 2000. http://www.nlwkn.niedersachsen.de/master/C46539999_N46539842_L20_D0_I5231158, 06.05.2010]
- Website Norddeutsches Klimabüro: Der Norddeutsche Klimaatlas [<http://www.norddeutscher-klimaatlas.de/startseite.html>, 23.07.2012]
- Website Regionalmonitoring – Regionalmonitoring der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten e.V. [<http://regionalmonitoring.frischkoepfe.de/atlas.html>, 21.01.2013]
- Website UBA – Umweltbundesamt: Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) [<http://www.umweltbundesamt.de/entscheidungsunterstuetzungssystem-eus>; 21.03.2014]
- Website WSV – Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Projektgruppe Weseranpassung [<http://www.weseranpassung.de>, 14.11.2012]
- Weisz, H., H. Koch, P. Lasch, O. Walkenhorst, V. Peters, F. F. Hattermann, S. Huang, V. Eich, M. Büchner, M. Gutsch, P.-P. Pichler, F. Suckow & S. Vögele. (2013): Methoden einer integrierten und erweiterten Vulnerabilitätsbewertung: Konzeptionell-methodische Grundlagen und exemplarische Umsetzung für Wasserhaushalt, Stromerzeugung und energetische Nutzung von Holz unter Klimawandel. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) im Auftrag Umweltbundesamt (UBA), FKZ 3709 41 123: 202
- WHO – World Health Organization (2008): Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit vor den Folgen des Klimawandels in der Europäischen Region. Faktenblatt vom 04. April 2008 [http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/95832/fs_4_Apr_08g.pdf, 04.11.2010]
- Wilcoxon, F. (1945): Individual Comparisons by Ranking Methods. Biometrics Bulletin 1: 80–83
- Wittig, S., A. Elsner, W. Elsner, D.P. Eppel, I. Grabemann, H.-J. Grabemann, D. Kraft, S. Mai, V. Meyer, C. Otte, M. Schirmer, B. Schuchardt, I. Yu & C. Zimmermann (2007): Der beschleunigte Meeresspiegelanstieg und die Küstenschutzsysteme: Ergebnisse der erweiterten Risikoanalyse. In: B. Schuchardt & M. Schirmer (Hrsg.): Land unter? Klimawandel, Küstenschutz und Risikomanagement in Nordwestdeutschland: die Perspektive 2050. München: oekom verlag: 93–113

- Woth, K. & H. von Storch (2008): Klima im Wandel: Mögliche Zukünfte des Norddeutschen Küstenklimas. In: Dithmarschen: Landeskunde – Kultur – Natur, Heft 1/2008: 20–31
- Zebisch, M., T. Grothmann, D. Schröter, C. Hasse, U. Fritsch & W. Cramer (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Forschungsbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau [<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2947.pdf>, 20.02.2010]
- Zimmermann, C., N. von Lieberman & S. Mai (2005): Die Auswirkungen einer Klimaänderung auf das Küstenschutzsystem an der Unterweser. In: B. Schuchardt & M. Schirmer (Hrsg.) (2005): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Umweltnatur- & Umweltsozialwissenschaften, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag: 139–148