

# KURSBUCH

## Klimaanpassung

Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg

KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.)



**KLIMZUG-NORD**

Strategische Anpassungsansätze  
zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg

# **Kursbuch Klimanpassung**

Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg

KLIMZUG-NORD Verbund  
(Hrsg.)

TuTech Verlag, Hamburg

## Impressum:

KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.) (2014): Kursbuch Klimaanpassung.  
Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg

TuTech Verlag  
TuTech Innovation GmbH  
Harburger Schloßstr. 6-12  
21079 Hamburg



Tel.: +49 40 76626-6121  
E-Mail: [verlag@tutech.de](mailto:verlag@tutech.de)  
[www.tutechverlag.de](http://www.tutechverlag.de)

ISBN: 978-3-941492-66-0

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01LR0805A gefördert.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch  
die Förderfonds der Metropolregion Hamburg.

Herausgeber: KLIMZUG-NORD Verbund | [www.klimzug-nord.de](http://www.klimzug-nord.de)

Druck: Lehmann  
Offsetdruck GmbH  
Gutenbergring 39  
22848 Norderstedt

Papier: Circle matt White  
100% Altpapier

Layout: TuTech Agentur  
Harburger Schloßstr. 6-12  
21079 Hamburg  
[www.tutech.de/agentur](http://www.tutech.de/agentur)

Nachdruck, Vervielfältigung, Speicherung oder Übertragung in elektronische, optische, chemische oder mechanische Datenhaltungs- oder -verwertungssysteme sind – auch auszugsweise – ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung von TuTech Innovation GmbH verboten.

Die Verwertung von Informationen aus dem  
„Kursbuch Klimaanpassung. Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg“  
zum Zweck der gewerblichen Informationsvermittlung ist nicht zulässig.

Alle Rechte vorbehalten  
© TuTech Innovation GmbH



**Hans Gabányi**  
**Mitglied im Beirat von KLIMZUG-NORD**

## Grußwort

Als Mitglied des Beirats und als Amtsleiter in der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt möchte ich den vielen engagierten wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des KLIMZUG-Projekts zunächst gratulieren zu allem, was sie in den vergangenen fünf Jahren geleistet haben.

Mit dem Kursbuch Klimaanpassung halten wir ein wichtiges Produkt des Verbundes in unseren Händen. Es wird ergänzt durch die Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten. Hier möchte ich einige Projekte besonders hervorheben:

- Die disziplinübergreifenden Arbeiten im Wandsee-Einzugsgebiet,
- die stadtklimatischen Untersuchungen, die ergänzt werden durch weitere Forschung in CLISAP und für die BSU,
- die zukunftsweisenden Untersuchungen zum Hochwasserschutz an der Este, die zu einer verstärkten Zusammenarbeit verschiedener Kommunen geführt haben
- die Arbeiten der Querschnittsaufgabe Naturschutz, dabei besonders die Arbeitsgruppen mit den Stakeholdern
- und viele weitere könnte ich nennen.

Insgesamt ist mit über 30 Dissertationen, vielen Veröffentlichungen und vielen, wenn auch zeitlich befristeten, Jobs für junge Leute hier Beachtliches geleistet worden. KLIMZUG-NORD hat es in den vergangenen fünf Jahren geschafft, das Thema Klimaanpassung mehr und mehr ins Bewusstsein der Öffentlichkeit und der Verwaltung in der Metropolregion Hamburg zu rücken.

Weiter möchte ich auch ganz klar sagen, was die Stadt, die Praxis, die Verwaltung und die Politik von diesem und ähnlichen Projekten erwartet: Wir erwarten, dass Wissenschaft nicht im Elfenbeinturm forscht, sondern dass Forschung in praktische Anwendung übergeht. Was genau müssen wir im Klimawandel bedenken, welche Tipps geben Sie uns für die Anpassung, wo arbeiten Sie in der Zukunft mit uns gemeinsam an Lösungen?

KLIMZUG-NORD hat dies verstanden. Viele der Arbeiten haben einen Praxisbezug. Und auch das vorliegende Buch tritt an mit dem erklärten Ziel, die Forschungsergebnisse für die Praxis verständlich aufzubereiten. Dies ist gelungen, und damit hat das Projekt die Erwartungen des Beirats und der zuständigen Verwaltungsdienststellen voll und ganz erfüllt.

Ich möchte schließen in der Hoffnung, das Bundesministerium für Bildung und Forschung möge in Zukunft noch stärker diese Art von anwendungsorientierter und fachübergreifender Forschung unter Einbindung von Praxispartnern fördern.

Zu dem Ergebnis herzlichen Glückwunsch!

Hans Gabányi  
Leiter des Amtes für Natur- und Ressourcenschutz,  
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg  
und Mitglied im Beirat von KLIMZUG-NORD



# Inhalt

1	Einleitung .....	1
2	Charakteristika der Metropolregion Hamburg .....	4
3	Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg .....	8
4.1	Governance: Welchen Kurs wollen wir anlegen? .....	12
4.2	Kommunikation und Bildung – dem Klima auf der Spur.....	16
4.3	Planungs- und Umweltrecht im Klimawandel .....	18
4.4	Ökonomische Instrumente .....	20
EXKURS:	Modellgebiet Elmshorn und Umland – neue Beteiligungsformen als Anstoß für neue Kooperationen.....	22
	Interview mit Silke Faber (Stadt Elmshorn) .....	25
5	STADT: Kühler Kopf, trockene Füße – Leben und Arbeiten in klimaangepassten Städten .....	26
5.1	Leitbilder für Siedlungsstrukturen im Klimawandel .....	30
5.2	Stadtklima .....	32
5.3	Naturschutz: Lebendige Stadt – die Zukunft ist vielfältig!.....	34
5.4	Regenwassermanagement und -bewirtschaftung.....	36
	Interview mit Helga Schenk (BSU Hamburg) .....	41
5.5	Automatisierter Hochwasserschutz am Gebäude .....	42
5.6	Passive Klimatisierung im Verwaltungsbau .....	44
5.7	Reetdächer im Klimawandel .....	46
5.8	Dachaufstockungen in Massivholzbauweise .....	47
EXKURS:	Modellgebiet „Einzugsgebiet Wandse“ – Umgang mit Überflutung und Überhitzung in der Stadt.....	48
EXKURS:	Modellgebiet Wilhelmsburg – Elbinseln im Klimawandel .....	50
6	LAND: Klimaangepasste Kulturlandschaft – Leistungsfähiger Naturhaushalt und umweltschonende Landbewirtschaftung .....	52
6.1	Landwirtschaft: Flächenproduktivität sichern .....	56

6.2	Naturschutzverträglichkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen – effiziente Feldberegnung als Fallbeispiel .....	60
6.3	Grundwasserhaushaltssituation und Anpassungsstrategien bei Knappheit .....	62
	Interview mit Ulrich Ostermann (Wasser- und Bodenverband Uelzen) .....	65
6.4	Rückwirkungen von Feldberegnung und Waldumbau auf das regionale Klima – eine Modellrechnung.....	66
6.5	Möglichkeiten der Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser in der Landwirtschaft .....	68
6.6	Naturschutz in der Kulturlandschaft 2050 – Interaktion von Natur, Klima und Mensch.....	70
6.7	Obstbau an der Niederelbe .....	74
6.8	Klimawandel und Landwirtschaft: Ökonomische Aspekte.....	76
EXKURS:	Modellgebiet Elbtalaue – Anpassungsoptionen im Biosphärenreservat .....	78
EXKURS:	Klimawandel im Modellgebiet Lüneburger Heide – Wasserverfügbarkeit als zentrale Herausforderung.....	80
7	FLUSS: Klimaangepasste Ästuarentwicklung .....	82
7.1	Küsten- und Hochwasserschutz.....	86
7.2	Hochwasserschutz an tidebeeinflussten Nebenflüssen der Elbe.....	90
	Interview mit Gunnar Peter (Landkreis Harburg).....	93
7.3	Klimawandel und Wasserhaushalt in der Hamburger Elbmarsch .....	94
7.4	Lebensraum Elbeästuar – auch 2050 alles im Fluss? .....	96
7.5	Ökonomische Aspekte: Verwundbarkeiten und Kosten der Nicht-Anpassung .....	98
EXKURS:	Wasserüberschuss und Wasserbedarf im Alten Land – Nutzung von Synergien bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels .....	100
8	Zusammenfassung, Synthese und Ausblick.....	102
9	Quellen- und Literaturverzeichnis .....	108
10	Glossar .....	118
11	Am Kursbuch beteiligte Autorinnen und Autoren und Institutionen.....	130



# 1 Einleitung

Liebe Leserinnen und Leser,

Stürme und Sturmfluten, starke Niederschläge und Überschwemmungen, Hitze und Gewitter im Sommer und Eisregen im Winter: Diese Wetterkapriolen beeinträchtigen schon heute Leben und Arbeiten in der Metropolregion Hamburg. Mit dem Klimawandel können sie immer häufiger auftreten.

Sie halten das „Kursbuch Klimaanpassung“ in Ihren Händen. Warum haben wir es geschrieben? – Die Metropolregion Hamburg wird die Auswirkungen des Klimawandels zu spüren bekommen. Auf welche Weise und mit welchen Maßnahmen sich die Gesellschaft in der Region an diese Veränderungen anpassen kann, war Thema des wissenschaftlichen Verbundprojekts KLIMZUG-NORD. Dabei ging es zum einen um mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf natürliche und soziale Systeme, zum anderen um Techniken und Methoden, um mögliche Folgen des Klimawandels zu mindern. Der Klimawandel ist ein langfristiges Phänomen – er wird uns nicht nur Jahre und Jahrzehnte, sondern vermutlich Jahrhunderte beschäftigen. KLIMZUG-NORD hat sich bei den Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die nächsten etwa 40 - 50 Jahre konzentriert und versucht, mit dem vorliegenden Kursbuch einen Rahmen aufzeigen, welche Erfordernisse und Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel bestehen. Im Rahmen von KLIMZUG-NORD gründeten sich fachübergreifende Netzwerke zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden und Öffentlichkeit, wozu auch verschiedene Formen der Beteiligung und Bildungsangebote beitrugen. Mit der vorliegenden Zusammenfassung der Ergebnisse möchten wir all denjenigen, die den zukünftigen Kurs der Metropolregion Hamburg bestimmen, Handlungsoptionen aufzeigen und Empfehlungen geben, wie es gelingen kann, die Region zukunftsfähig und möglichst unempfindlich gegenüber den Folgen des Klimawandels zu gestalten.

Das Untersuchungsgebiet von KLIMZUG-NORD, die Metropolregion Hamburg, war eine von sieben Modellregionen in Deutschland, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durch das Forschungsprogramm „KLIMZUG - Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ über fünf Jahre förderte. Diese Modellregionen lieferten insgesamt Beiträge zur Steigerung der Anpassungskompetenz in Deutschland.

Der Verbund KLIMZUG-NORD entstand auf Initiative von Professor Erik Pasche, dem ehemaligen Leiter des Instituts für Wasserbau der TU Hamburg-Harburg. Er hat die Verbundpartner für das Vorhaben begeistert und zusammengebracht, durch seine Begeisterungsfähigkeit, hohe Fachkenntnis und Hartnäckigkeit ein Verbundprojekt entwickelt, das in seiner Multidisziplinarität einzigartig war und die Anforderungen der Ausschreibung des BMBF nach Regionalität, Praxisorientierung und Interdisziplinarität umfassend berücksichtigte. So konnte sich KLIMZUG-NORD im Antragsverfahren gegen starke Konsortien aus anderen Regionen Deutschlands durchsetzen. KLIMZUG-NORD wurde für die gesamte Metropolregion Hamburg konzipiert und konnte unter Begleitung der Kommunen und mit einer Kofinanzierung durch die Freie und Hansestadt Hamburg und die Metropolregion Hamburg realisiert werden. Professor Pasche verstarb leider viel zu früh im November 2010.

Vor dem Hintergrund der durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen in der Region vereinte KLIMZUG-NORD Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, Behörden, Unternehmen sowie Verwaltungsorgane und hat unterschiedlichste Akteure aus Forschung, Politik und Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft eingebunden.

KLIMZUG-NORD konzentrierte sich auf drei Schwerpunkte, in denen der Klimawandel besondere Auswirkungen für die Metropolregion Hamburg erwarten lässt:

- Das Themenfeld Integrierte Stadt- und Raumentwicklung bezog sich auf die Frage, welche Anforderungen an die integrierte Stadt- und Raumplanung aufgrund der Folgen des Klimawandels gestellt werden und welche Anpassungsmaßnahmen im Hinblick auf die Sicherung der Lebensqualität erforderlich sind. Das Kapitel Stadt fasst die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen zusammen.
- In dem Themenfeld Zukunftsfähige Kulturlandschaften ging es um Methoden und Techniken, um die äußerst vielfältige Kulturlandschaft der Metropolregion Hamburg unter den sich ändernden Klimabedingungen zu schützen, zu pflegen und als Lebens-, Wirtschafts- und Erholungsraum dauerhaft umweltgerecht weiterzuentwickeln. Ergebnisse aus diesem Themenfeld stellt das Kapitel Land dar.
- Das Themenfeld Ästuarmanagement widmete sich den Folgen des Klimawandels für den Natur- und Wirtschaftsraum der Tideelbe und hat darauf aufbauend Anpassungsstrategien des Küsten- und Hochwasserschutzes, der Wasserrwirtschaft und des Naturschutzes erarbeitet. Das Kapitel Fluss zeigt mögliche, durch den Klimawandel bedingte Veränderungen der Tideelbe auf und präsentiert Anpassungsprozesse und -maßnahmen, die Auswirkungen des Klimawandels entgegenwirken.

Die Struktur des Verbundvorhabens KLIMZUG-NORD zeigt Abbildung 1.1.



Abb. 1.1: Struktur des Projektes KLIMZUG-NORD

Ein wesentlicher Schwerpunkt von KLIMZUG-NORD war es, durch wissenschaftliche Arbeiten für die Metropolregion Hamburg spezifische Erkenntnisse über die Auswirkungen des Klimawandels zu gewinnen und durch die Bildung und Weiterentwicklung regionaler Netzwerke einen direkten Wissenstransfer an Akteure zu leisten, um das Thema Klimaanpassung in der Praxis zu verankern. Unterschiedliche Betrachtungsebenen und Forschungsansätze sowie Anforderungen aus Wissenschaft und Praxis wurden deshalb zusätzlich über fünf Querschnittsaufgaben zusammengeführt und kommuniziert.

- Die Querschnittsaufgabe Klimawandel bereitete Daten und Informationen zu projizierten Klimaänderungen in der Metropolregion Hamburg für das 21. Jahrhundert regionsspezifisch auf und stellte diese für die Erforschung von Klimafolgen und Anpassungsstrategien bereit. Sie unterstützte bei der Interpretation und der Anwendung der Klimainformationen. Darüber hinaus trug eine Vielfalt von Kommunikationsformaten dazu bei, die Ergebnisse in die Öffentlichkeit zu tragen.
- Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Lebensräume sowie Tier- und Pflanzenarten der Tideelbe, der Moore und Heiden, des Auengrünlands sowie städtischer Ökosysteme untersuchte die Querschnittsaufgabe Naturschutz. Parallel entstand das Netzwerk „Naturschutz & Klimawandel“, in dem Vertreter der Wissenschaft, der Umweltbehörden und auch der Umweltverbände Wissen über Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme ausgetauscht und Herausforderungen des Naturschutzes diskutiert haben, um gemeinsam Anpassungsoptionen zu entwickeln.
- Die Querschnittsaufgabe Ökonomie setzte sich mit den Zusammenhängen zwischen der Wirtschaftsstruktur von Regionen und ihrer Verwundbarkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels auseinander. Ergebnis ist u.a. ein Betroffenheitsindex für Kreise in der Metropolregion Hamburg, der nun auch anderen Kommunen in Deutschland zur Verfügung steht.
- Wie lassen sich Stakeholder aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft bei der Anpassung an den Klimawandel einbinden? Darum ging es in der Querschnittsaufgabe Governance mit Bezug auf Information, Meinungsbildung und Entscheidungsvorbereitung. Das Interesse galt u.a. der Problemwahrnehmung und der Kommunikation der Akteure. In der konkreten Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis fanden Dialog- und Partizipationsverfahren statt, was KLIMZUG-NORD eng mit den Bedürfnissen und Anforderungen der Region verknüpfte.
- Die Querschnittsaufgabe Kommunikation und Bildung bewegte sich an den Schnittstellen zwischen Gesellschaft, Politik und Wissenschaft und führte Dialoge mit den verschiedensten Partnern, Entscheidungsträgern und Interessengruppen. Als Ergebnis steht eine Vielzahl von Zugängen zur Klimaanpassungsforschung bereit, die KLIMZUG-NORD für die Bewältigung von zukünftigen Herausforderungen weitergeben möchte.

Die Ergebnisse der Arbeiten der Querschnittsaufgaben finden sich im Kursbuch in den Rahmenkapiteln 2 bis 4 und zudem jeweils in den Kapiteln Stadt, Land und Fluss als entsprechende Unterkapitel.

Liebe Leserinnen und Leser, bei der Lektüre des vorliegenden Kursbuches wird Ihnen auffallen, dass die Empfehlungen sowohl unterschiedlich konkret als auch zum Teil eher generell-strategischer bzw. detailliert-handlungsorientierter Natur sind. Der Grund hierfür liegt zum einem an den verschiedenen Forschungsansätzen der einzelnen beteiligten Wissenschaftsdisziplinen, zum anderen aber auch an einer unterschiedlichen Bearbeitungstiefe. Die Texte gehen auf die Arbeit mehrerer Personengruppen unterschiedlicher Fachrichtungen zurück. Das führt zu einer gewissen Vielfalt, die zugleich die Größe des

Projektes und die Vielzahl der Forschungsthemen widerspiegelt. Das Kursbuch hat vor allem den Anspruch, auf der Basis neuer Forschungsergebnisse Handlungsmöglichkeiten für die Metropolregion Hamburg und damit beispielhaft auch für andere – städtische wie ländliche – Fluss- und Küstenregionen aufzuzeigen.

Mit dem „KLIMZUG-NORD Kurs“ werden am Ende der einzelnen Kapitel jeweils konkrete Handlungsvorschläge genannt, wie sich die Region an die Folgen des Klimawandels anpassen kann. Diese Empfehlungen zur Adaptation bzw. Anpassung sind in der Regel Ergebnis intensiver Diskussions- und Beteiligungsprozesse innerhalb des Forschungsverbundes. Sie spiegeln auch die Vielfalt der gesellschaftlichen Ansprüche und Interessen wider, die zum Teil miteinander konkurrieren können. Eine Zusammenführung der Projektergebnisse finden Sie in Kapitel 8. Die Handlungsoptionen erheben außerdem den Anspruch, Zielen des Klimaschutzes (Mitigation), also der Vermeidung und Verminderung der Emissionen von Treibhausgasen, zumindest nicht entgegenzuwirken. Stellenweise können sie zugleich zu Klimaschutz wie zur Klimaanpassung beitragen.

Das Kursbuch umfasst eine große Bandbreite an Themen. Dennoch könnten Weitere, z.B. Gesundheit oder Logistik, ergänzt werden, die für die Anpassung an den Klimawandel ebenfalls wichtig sind. Im Rahmen von KLIMZUG-NORD war dies nicht möglich, aber es lassen sich daraus Ansatzpunkte für weiterführende Aufgabenstellungen ableiten, die Forschung und Praxis in Angriff nehmen sollten.

Das vorliegende Kursbuch möchte zum Lesen und Nachdenken anregen, neue Impulse setzen, über den Klimawandel und seine Folgen für die Metropolregion Hamburg informieren und zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit den Folgen des Klimawandels motivieren.

Das Kursbuch wendet sich an Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf allen Ebenen der Verwaltung in Ämtern, Behörden und branchenspezifischen Kammern und Verbänden sowie Nicht-Regierungsorganisationen, wie Umweltverbänden oder Initiativen. Es soll ausdrücklich sowohl Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger in Spitzenpositionen als auch Personen der mittleren Entscheidungsebene und ausführende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erreichen. Ebenso spricht das Kursbuch Vertreterinnen und Vertreter der Wirtschaft und der Politik auf allen Ebenen an, weiterhin Bürgerinnen und Bürger, vom Klimawandel Betroffene und die Fachwelt. Sie alle bekommen mit dem Kursbuch allgemeinverständliche Informationen zu Auswirkungen des Klimawandels sowie zu Anpassungsoptionen in der Metropolregion Hamburg.

In erster Linie spricht das Kursbuch Personen in der Metropolregion Hamburg an. Da KLIMZUG-NORD auch räumlich übertragbare Ergebnisse präsentiert, ist eine weitere Verbreitung über die Grenzen der Metropolregion Hamburg hinaus erwünscht. KLIMZUG-NORD ist sich sicher, dass viele der erarbeiteten Ergebnisse und Strategien auch in anderen Regionen dabei helfen können, sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen.

Weiterführende und vertiefende Informationen und Projektergebnisse finden sich in der das Kursbuch begleitenden Reihe „Berichte aus den KLIMZUG-NORD

Modellgebieten“, in zahlreichen Fachpublikationen (zum Überblick besuchen Sie bitte die Webseite [www.klimzug-nord.de](http://www.klimzug-nord.de)) und in der übergreifenden Publikationsreihe aller sieben KLIMZUG-Verbünde (oekom-Verlag).

### **Nun noch einige technische Hinweise, die Ihnen helfen können, die Beiträge leichter zu erschließen:**

- Wir benutzen den Begriff „Anpassung“ in den folgenden Kapiteln, auch wenn dieser dort für sich allein steht, stets mit der Bedeutung „Anpassung an mögliche Folgen des Klimawandels“.
- In Deutschland und so auch in dem vorliegenden Kursbuch werden Temperaturänderungen nach DIN 1345 in Kelvin (K) angegeben. Eine Änderung der Temperatur um 1 K entspricht einer Änderung um 1 °C. Aktuelle Werte der Temperatur finden Sie, wie gewohnt, in °C.
- In einem Glossar am Ende des Kursbuchs sind zahlreiche Fachbegriffe aufgeführt und allgemeinverständlich erläutert.
- Um die Lesbarkeit zu verbessern, wurde auf die für wissenschaftliche Texte üblichen Literaturverweise verzichtet. Das nach Kapiteln gegliederte Literaturverzeichnis bietet eine Auswahl vertiefender Publikationen zu den behandelten Themen sowie aus KLIMZUG-NORD hervorgegangene, weiterführende Veröffentlichungen.

Abschließend möchten wir uns bei allen denjenigen herzlich bedanken, die die Arbeiten in KLIMZUG-NORD auf vielfältige Weise unterstützt, begleitet und gefördert und damit zu den in diesem Kursbuch vorgestellten Ergebnissen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beigetragen haben. Insbesondere danken wir den Mitgliedern der internen „Kursbuch AG“, die den Prozess zur Entwicklung und Herstellung des Kursbuchs so umsichtig gesteuert haben sowie den vielen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus verschiedenen Bereichen der Verwaltung, die mit ihrer konstruktiven Kritik wesentlich zum Kursbuch beigetragen haben.

Wir hoffen, dass das Kursbuch Diskussionen zur Anpassung an den Klimawandel in den Städten, Gemeinden und (Land-) Kreisen der Metropolregion Hamburg, aber auch in Wirtschaft und Gesellschaft sowie darüber hinaus in anderen Regionen anregen kann. Die Anpassung an den Klimawandel ist eine große Zukunftsaufgabe, die Auswirkungen auf vielfältigste Handlungsfelder hat. Die Mitglieder des Forschungsverbunds KLIMZUG-NORD laden Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft ein, auch in Zukunft gemeinsam an dieser Aufgabe zu arbeiten und so die Vorteile zu erschließen, die sich durch einen intensiven Dialog von Praxis und Wissenschaft ergeben.

#### *Autorin und Autoren:*

*Daniela Jacob, Max-Planck-Institut für Meteorologie und Climate Service Center Hamburg,  
Kai Jensen, Universität Hamburg und  
Jörg Knieling, HafenCity Universität Hamburg*





Eine Besonderheit der Metropolregion Hamburg und auch eine Herausforderung für die Anpassung an den Klimawandel ist die komplexe administrative Struktur, die sich über mehrere Ebenen der Entscheidungsfindung erstreckt

und vier verschiedene Verwaltungsstrukturen auf Ebene der beteiligten Bundesländer einschließt. In den folgenden Abschnitten werden kurz die naturräumliche Gliederung, die klimatischen Gegebenheiten und die Raumgliederung der Metropolregion Hamburg skizziert und abschließend der Forschungsansatz von KLIMZUG-NORD sowie die im Verbundvorhaben untersuchten Modellgebiete vorgestellt.

Die Metropolregion Hamburg gehört geologisch gesehen zu den jungen Landschaften in Deutschland. Die Landschaftselemente sind überwiegend erst im jüngsten Zeitabschnitt der Erdgeschichte (Quartär; <400.000 Jahre) entstanden. Während der beiden letzten Vereisungsphasen (Saale: 310.000 bis 128.000, Weichsel: 115.000 bis 115.000 Jahre BP (Before Present)) wurden mächtige Lockersedimente von Gletschern abgelagert, die anschließend durch Frostdurchmischung, Bodenfließen, Verwitterung und Umlagerung überprägt wurden. Hinsichtlich der Bodeneigenschaften unterscheiden sich hier vor allem die im Nordosten der Metropolregion Hamburg vorkommenden Jungmoränenlandschaften (Entstehung in der Weichsel-Vereisung) von den großräumig dominierenden Altmoränenlandschaften (Entstehung in der Saale-Vereisung). Sowohl in den Alt- als auch in den Jungmoränenlandschaften finden sich zusätzlich Sanderflächen, die aus Schmelzwassersanden oder Flugsanddecken

aufgebaut sind. Durchschnitten werden die Räume der eiszeitlichen Ablagerungen von den großen Flusstälern von Elbe und Weser, in denen sich Auensedimente abgelagert haben. Im Laufe der letzten 5.000 Jahre kam es an der Nordseeküste und entlang der Ästuar schließlich im Einflussbereich der Gezeiten zur Ablagerung feinkörniger Sedimente (s. Abb. 2.2), die die Landschaft der Marsch prägen.

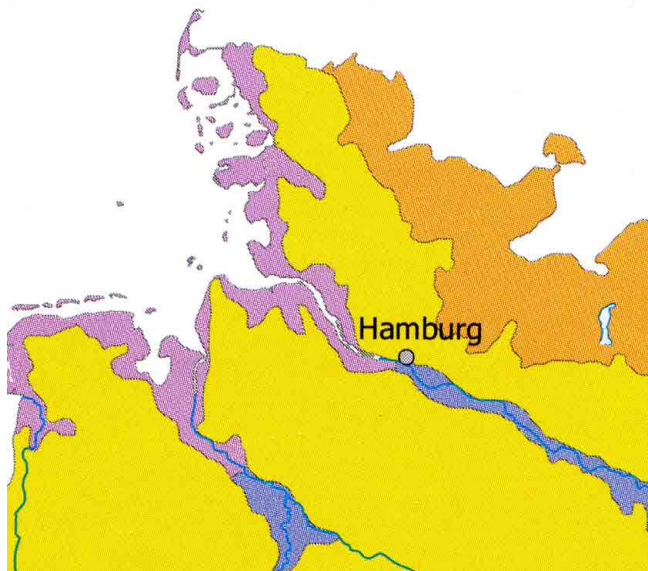


Abb. 2.2: Vereinfachte Darstellung der Naturräume der Metropolregion Hamburg. Dargestellt sind die Landschaftsräume der Jungmoräne (braun), der Altmoräne (gelb), der großen Flussniederungen (blau) sowie der Marschen der Ästuar und der Nordseeküste (violett). Quelle: Jensen et al. (2011), verändert.

Ohne Einfluss des Menschen würden vor allem von Buchen dominierte Wälder große Flächenanteile der Alt- und Jungmoränenlandschaften einnehmen. Weiterhin wären Hoch- und Niedermoore in abflusslosen Senken und in Gebieten mit hochanstehenden Grundwasserständen prägend für diese Naturlandschaft. Hochdynamische Auwälder würden sich in den großen Flusstälern finden. Die durch Ebbe und Flut geprägten Uferbereiche der Nordsee und der Ästuar würden bei hohem Salzgehalt durch Salzmarschen und in Bereichen mit Durchmischung von Meer- und Flusswasser schließlich von Brack- und Süßwassermarschen sowie Tide-Auwäldern eingenommen werden. Tatsächlich wird die Gegend der heutigen Metropolregion Hamburg aber seit Jahrtausenden durch den Menschen genutzt und verändert. Als Folge dieser menschlichen Tätigkeiten finden sich heute nur sehr kleinräumig naturnahe Lebensräume. Seit der Mensch in der Jungsteinzeit (im Gebiet der Metropolregion Hamburg seit etwa 6.000 Jahren) anfang, Dauersiedlungen anzulegen und Ackerbau und Viehzucht zu betreiben, hat er die Landschaft Norddeutschlands grundlegend überprägt: Wälder wurden gerodet, Moore entwässert, Marschen eingedeicht und im Laufe der Zeit breiteten sich als Folge der menschlichen Nutzung charakteristische Lebensräume der 'traditionellen' Kulturlandschaft wie Heiden oder Feucht- und Auwiesen aus.

Besonders anhand der Siedlungsentwicklung in den Marschen können auch frühere Anpassungen der Menschen an klimatische Änderungen und den damaligen Meeresspiegelanstieg nachvollzogen werden. Zunächst wurden etwa um 2.100 BP Flachsiedlungen auf der Marsch angelegt, seit etwa 1.900 BP gingen die Menschen dazu

über, ihre Häuser auf aufgeschütteten Hügeln (Warften oder Werten) anzulegen und somit gegen den Anstieg des Meeresspiegels zu schützen und seit etwa 900 BP wurde dann begonnen, Siedlungen in der Marsch durch Deiche zu schützen.

## Klima der Metropolregion Hamburg

Die Metropolregion Hamburg liegt in der feuchtwarm gemäßigten Klimazone, im Südosten der Region beginnt der Übergang zum feucht kontinentalen Klima. Aufgrund vorherrschender Westwinde dominieren maritime Wettereinflüsse und führen zu milden Wintern und kühlen Sommern mit ganzjährigen Niederschlägen. Der klimatologische Jahresgang der Temperatur bezogen auf den Zeitraum 1971 - 2000 für das Gebietsmittel der Metropolregion Hamburg (s. Abb. 2.3) verläuft im Monatsmittel zwischen 1 °C im Januar und 17 °C im Juli, die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 8,8 °C. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge liegt bei 796 mm. Die entsprechenden klimatologischen Mittelwerte im Vergleich für das Gebietsmittel von ganz Deutschland betragen 8,6 °C für die Jahrestemperatur (0 °C bis 17 °C im Jahresgang) und 850 mm für die Jahresniederschlagsmenge. Die Niederschlagsmengen sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt, mit leicht höheren Niederschlägen in Sommer und Winter gegenüber Frühling und Herbst.

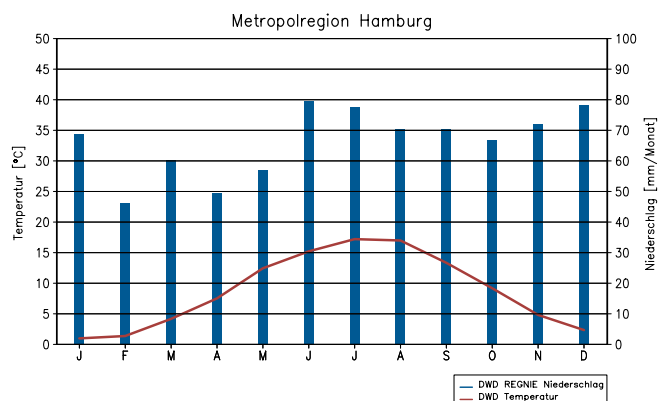


Abb. 2.3: Klimadiagramm nach Walter und Lieth für das Gebietsmittel von Temperatur und Niederschlag über die Metropolregion Hamburg und den Zeitraum 1971 - 2000. Datengrundlage sind auf ein 1 km x 1 km Gitter interpolierte Daten der bodennahen Lufttemperatur (2 m über Grund) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie REGNIE Daten mit Richterkorrektur des DWD zum Niederschlag (DWD 2011).

Innerhalb der Region verstärken sich in Richtung Südosten mit zunehmender Entfernung von der Nordsee die kontinentalen Merkmale des Klimas mit im Vergleich höheren Temperaturen im Sommer und geringeren Temperaturen im Winter. Die Jahresmitteltemperatur für 1971 - 2000 an der Wetterstation in Cuxhaven beträgt beispielsweise 9,2 °C und in Lüchow 8,9 °C; die Schwankung der Monatstemperaturen im mittleren Jahresgang beträgt in Cuxhaven 15,5 K, während sie in Lüchow 17 K beträgt (s. Tab. 2.1). Zugleich nehmen die durchschnittlichen Jahresniederschläge von Nordwest nach Südost deutlich ab, da sich die niederschlagsreichen Tiefdrucksysteme aus Richtung Nordsee in der Regel nach Osten hin abschwächen. So wird für 1971 - 2000 an der Messstation Cuxhaven-Altenbruch ein mittlerer Jahresniederschlag von 834 mm gemessen, während er in Lüchow nur noch 523 mm beträgt (s. Tab. 2.2).





Neben den Städten und Gemeinden wird die Metropolregion durch ihre Kulturlandschaften geprägt. Heute dominiert hier auf den Böden der Alt- und Jungmoränen sowie der Sander eine intensive landwirtschaftliche Nutzung mit Ackerbau, Viehzucht und Milchwirtschaft. Auch die eingedeichten Marschen entlang der Elbe und der Nordseeküste werden aufgrund der fruchtbaren Böden heute überwiegend intensiv landwirtschaftlich genutzt. In KLIMZUG-NORD wurden Fragen der Klimaanpassung in der Kulturlandschaft im Themenfeld *Zukunftsfähige Kulturlandschaften* exemplarisch für die eingedeichten Elbmarschen im Alten Land, für die Böden der Altmoränen und Sanderflächen in der Lüneburger Heide und für die großen Flusstäler im Bereich der Niedersächsischen Elbtalaue untersucht. Das Alte Land ist eines der größten Obstanbaugebiete in Nordeuropa. Südlich der Elbe entstand es durch holländische Siedler, die durch Deichbau und Entwässerung das Land entwickelt haben. Die Lüneburger Heide im Südosten der Metropolregion ist neben großflächig dominierender intensiver Landwirtschaft auch durch Moore, Wälder und Heidelandschaften geprägt. Die Heide entstand hier durch eine landwirtschaftliche Nutzung seit dem Mittelalter, ist aber seit Ende des 19. Jahrhunderts stark zurückgegangen und wird heute durch Naturschutzmaßnahmen gepflegt. Die Niedersächsische Elbtalaue ist Teil des von der UNESCO anerkannten, länderübergreifenden Biosphärenreservates „Flusslandschaft Elbe“. Übergeordnetes Ziel ist es hier, die Auenlandschaft so zu erhalten und zu entwickeln, dass ein Miteinander von Mensch und Natur möglich ist.

## Inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit und Modellgebiete

Die Folgen des Klimawandels beeinflussen und verändern nicht nur die natürlichen Lebensräume, sondern auch die gebaute und stark durch den Menschen überformte Umwelt. Demnach kann die gesamte Bandbreite der Auswirkungen des Klimawandels nur verstanden und nachvollziehbar gemacht werden, wenn unterschiedliche Forschungsdisziplinen zusammenwirken und sich ergänzen. KLIMZUG-NORD hat sich disziplinübergreifend mit der Entwicklung von Techniken und Methoden befasst, welche die Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion Hamburg erklären und zu ihrer Eindämmung beitragen können. Eine naturwissenschaftliche Betrachtungsweise ermöglichte, die Auswirkungen des Klimawandels auf die Region zu erfassen und begreifbar zu machen. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurden die Konsequenzen für die Betroffenen aus Wirtschaft und Zivilgesellschaft mithilfe sozial- und planungswissenschaftlicher Methoden abgeschätzt und gemeinsam mit den Betroffenen Strategien und Konzepte zum Umgang mit potenziellen Risiken und zur Verminderung der Folgen des Klimawandels entwickelt. Gestaltende Disziplinen, wie Ingenieure und Architekten, unterstützten die Machbarkeit der Konzepte.

In KLIMZUG-NORD wurden darüber hinaus für ausgewählte Modellgebiete, die jeweils charakteristische Raumtypen der Metropolregion Hamburg repräsentieren, exemplarisch Strategien und Konzepte der Anpassung an die Folgen des Klimawandels erarbeitet, die entsprechend auf vergleichbare Räume übertragen werden können. Mit den Akteuren vor Ort und disziplinübergreifend wurden Strategien und Lösungen zur Anpassung an den

Klimawandel anhand konkreter Problemkonstellationen entwickelt. Dabei wurden unterschiedliche Themenschwerpunkte und Herangehensweisen ausgewählt und getestet. Die Modellgebiete zeigen beispielhaft die unterschiedlichen Herausforderungen, der sich die verschiedenen Räume der Metropolregion aufgrund des Klimawandels stellen müssen.

- Aufgrund der dichten Bebauung sowie der wasser-nahen Lage zur Krückau und zum Rückstauraum der Elbe hat Elmshorn schon heute häufiger mit Überflutungen zu kämpfen. Als Modellgebiet in KLIMZUG-NORD stehen Elmshorn und sein Umland exemplarisch für Strategien zur Klimaanpassung in einem Mittelzentrum im Stadtumland einer Großstadt.
- Das Einzugsgebiet der Wandse ist ein innerstädtischer und baulich verdichteter Raum. Gemeinsam mit den beteiligten Akteuren wurden hier die Chancen und Risiken der Veränderungen des Stadtklimas sowie die stadträumliche Integration von Anpassungsmaßnahmen erörtert.
- Die Elbinseln Wilhelmsburg stehen für ein zentrales, vom Stadtbau und Hochwasser geprägtes Gebiet. In diesem Stadtteil wurden der Einfluss der lokalen Klimaveränderungen und des Strukturwandels auf das Siedlungsklima untersucht.
- Im Alten Land stehen Möglichkeiten zum Wasserrückhalt im Mittelpunkt, die künftig vermehrt auftretende Hochwasser der Este kompensieren und den Obstanbau schützen können. Zudem wurden Strategien entwickelt, wie sich der Obstanbau an den Klimawandel anpassen kann.
- Die Lüneburger Heide ist ein landwirtschaftlich geprägtes Gebiet im Südosten der Metropolregion. Die Landwirtschaft wird heute schon durch vergleichsweise trockene und warme Sommer geprägt. Hier wurde untersucht, wie eine Agrarproduktion unter sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen aufrechterhalten werden kann.
- Die Modellregion Elbtalaue entspricht dem Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue. Regelmäßige Überschwemmungen prägen die von Grünland dominierte Kulturlandschaft. Hier steht ein naturverträgliches und klimaangepasstes Management von Flussauen im Einklang mit Hochwasserschutz und Landwirtschaft im Mittelpunkt der Arbeiten.

Eine ausführliche Beschreibung der Modellgebiete und der Ergebnisse aus den Modellgebietsprozessen finden sich in den Exkursen in den Kapiteln 4 - 7 und den Modellgebietsberichten der KLIMZUG-NORD Reihe.

*Autoren und Autorin:*

*Kai Jensen, Universität Hamburg,  
Jörg Knieling, Hafen City Universität Hamburg,  
Diana Rechid, Max-Planck-Institut für Meteorologie und  
Climate Service Center Hamburg*

### 3 Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg

Seit Beginn der Industrialisierung nimmt die Konzentration langlebiger Treibhausgase in der Atmosphäre beständig zu. Dadurch wird eine langfristig zunehmende Erwärmung der Erdoberfläche und der bodennahen Atmosphäre angestoßen, was die Zirkulation der Luftmassen in der Atmosphäre und den Wasserkreislauf der Erde verändert. Diese globalen Veränderungen wirken sich auch auf die Metropolregion Hamburg aus.

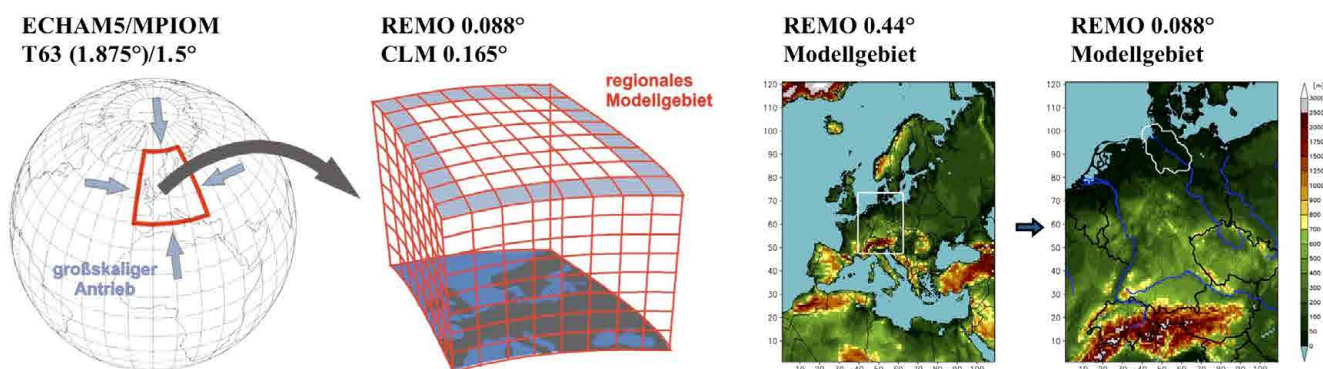


Abb. 3.1: Dynamische Regionalisierung globaler Klimasimulationen mit regionalen Klimamodellen

Um zu untersuchen, wie sich das Klima bei einem weiteren Anstieg der Emissionen verändern kann, werden sogenannte Emissionsszenarien genutzt. Die im Rahmen von KLIMZUG-NORD verwendeten Klimasimulationen basieren auf den im „Special Report on Emission Scenarios“ [1] publizierten Szenarien B1, A1B und A2 zur möglichen Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen im 21. Jahrhundert. Den Emissionsszenarien liegen unterschiedliche Annahmen zu plausiblen Pfaden globaler sozioökonomischer und technischer Entwicklungen zugrunde. Das A1B Szenario geht von starkem Wirtschaftswachstum, rascher Entwicklung neuer und effizienter Technologien sowie einer ausgewogenen Nutzung erneuerbarer und fossiler Energiequellen aus. Im B1 Szenario werden schnelle Konvergenz der Volkswirtschaften sowie ein rascher Übergang zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft angenommen. Der Ressourcenverbrauch wird reduziert, Technologien werden effizienter. Die Treibhausgasemissionen im B1 Szenario sind niedriger als im A1B Szenario. Das A2 Szenario dagegen geht von sehr heterogenen Volkswirtschaften und einer stark steigenden Weltbevölkerung aus. Wirtschaftswachstum und technologische Entwicklung sind langsamer als im A1B und B1 Szenario. Die Treibhausgasemissionen im A2 Szenario sind zur Mitte des 21. Jahrhunderts ähnlich, gegen Ende des 21. Jahrhunderts höher als im A1B Szenario.

Aus den Emissionsszenarien werden die Konzentrationen der Treibhausgase und Aerosole in der Atmosphäre für das 21. Jahrhundert abgeleitet. Diese Konzentrationen werden in globale Klimamodelle eingegeben, welche die daraus folgenden Veränderungen im Klimasystem abbilden. Diese sogenannten Klimaprojektionen bewegen sich

auch für ein bestimmtes Emissionsszenario innerhalb einer bestimmten Schwankungsbreite, die durch natürliche Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den verschiedenen Subsystemen des Klimasystems, also zum Beispiel Ozean, Land und Atmosphäre, entsteht. Um den Einfluss dieser Klimaschwankungen innerhalb des Klimasystems in die Projektionen von Klimaänderungen einzubeziehen, werden mit einem Modell mehrere Simulationen, sogenannte Realisierungen, erstellt, die sich im Ausgangszustand des Klimasystems unterscheiden. Daraus ergeben sich verschiedene zeitliche Entwicklungsmöglichkeiten des Klimas, die alle mit der gleichen Wahrscheinlichkeit eintreten können.

Um die Auswirkungen der globalen Klimaänderungen auf regionaler Ebene zu untersuchen, werden die globalen Klimaprojektionen mit regionalen Klimamodellen auf eine höhere räumliche Auflösung dynamisch verfeinert. So ist es möglich, eine bestimmte Region detaillierter zu untersuchen. Im Forschungsverbund KLIMZUG-NORD wurden mit dieser Methode Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg erstellt (s. Abb. 3.1). Es werden Simulationen der dynamischen Regionalmodelle REMO [2,3] und CLM [4] verwendet, die in vergleichsweise hoher räumlicher Auflösung für Deutschland für das gesamte 21. Jahrhundert vorliegen (s. Tab. 3.1). Die Simulationen beider Regionalmodelle basieren auf den globalen Klimaprojektionen des gekoppelten Atmosphären-Ozean-Modells ECHAM5/MPI-OM [5] für das 20. Jahrhundert („C20“) und für die Emissionsszenarien A2, A1B und B1. Tabelle 3.1 bietet eine Übersicht zu den verwendeten Klimaprojektionen mit knappen Hintergrundinformationen und den im Folgenden verwendeten Abkürzungen.

Tab. 3.1: Übersicht zu verwendeten Klimasimulationen

Modell	Gitterauflösung	Zeitraum	Simulationen	Zwischensimulation	Globalmodell
REMO	0.088°	1950 - 2000 2001 - 2100	3 C20 3 A2, A1B, B1	REMO 0.44°	ECHAM5/MPI-OM T63 (1.875°) /1.5°
CLM	0.165°	1960 - 2000 2001 - 2100	2 C20, 2 A1B, 2 B1	—	ECHAM5/MPI-OM T63 (1.875°) /1.5°



## Die Temperaturen steigen in allen Jahreszeiten an

Die Zeitreihen der simulierten Temperaturänderungen zeigen verschiedene mögliche Entwicklungen des mittleren Klimas in der Metropolregion Hamburg im 21. Jahrhundert (s. Abb. 3.2). In allen Simulationen und allen Jahreszeiten nimmt die durchschnittliche Temperatur der bodennahen Luftschicht zu. Im Verlauf des Jahrhunderts unterscheiden sich die für das B1 Szenario simulierten Temperaturen immer deutlicher von den Ergebnissen für das A1B und A2 Szenario. Unter den Annahmen des B1 Szenarios mit im Vergleich zu A1B und A2 geringeren Treibhausgasemissionen erhöht sich die Temperatur weniger stark. Das bedeutet, dass durch eine Verminderung der Treibhausgasemissionen deutlich geringere Klimaänderungen zu erwarten wären. Die Temperaturänderungen in den A2 und A1B Szenarien sind dagegen trotz höherer Treibhausgaskonzentrationen im A2 Szenario ähnlich. Eine Ursache hierfür kann der höhere Gehalt an Aerosolpartikeln (s. Glossar) in der Atmosphäre sein, vereinfacht gesagt der höhere Verschmutzungsgrad der Luft im A2 Szenario. Aerosole haben im Gegensatz zu Treibhausgasen eine primär abkühlende Wirkung, was die Erwärmung im A2 Szenario im Gesamteffekt weniger stark ausfallen lassen kann, als durch die hohen Treibhausgaskonzentration zu erwarten wäre.

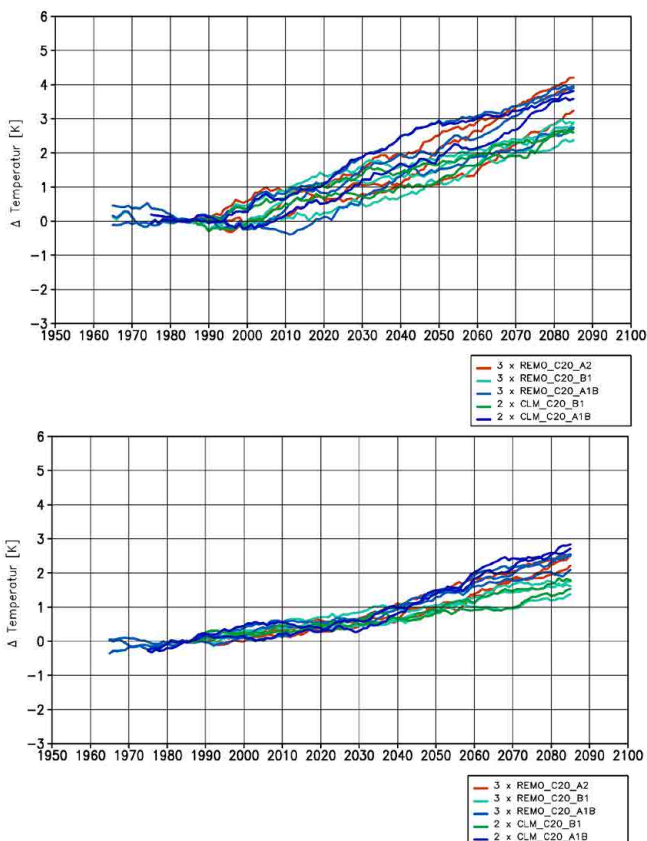


Abb. 3.2: Projizierte Änderungen der bodennahen Lufttemperatur [2 m über Grund] im Winter (oben) und im Sommer (unten) gegenüber 1971 - 2000 (als gleiches 31-Jahresmittel abgebildet jeweils auf das 16. Jahr) aus neun REMO - und vier CLM - Simulationen für das Gebietsmittel der Metropolregion Hamburg.

In Abbildung 3.3 sind die Bandbreiten der simulierten Temperaturänderungen für die beiden Zeiträume 2036 - 2065 und 2071 - 2100 dargestellt, die sich aus allen verwendeten Simulationen ergeben. Temperaturänderungen werden stets in Kelvin (K) angegeben, eine Änderung um 1 K entspricht einer Änderung um 1 °C

(s. weiterführende Erläuterung im Glossar). Es wurden jeweils 30-jährige Mittel der Jahreswerte und der meteorologischen Jahreszeiten berechnet: Winter: Dezember, Januar, Februar (DJF), Frühjahr: März, April, Mai (MAM), Sommer: Juni, Juli, August (JJA) und Herbst: September, Oktober, November (SON). Für das Gebiet der Metropolregion Hamburg werden zur Mitte des 21. Jahrhunderts auch für alle Jahreszeiten höhere Mitteltemperaturen projiziert; zum Ende des 21. Jahrhunderts sind noch größere Temperaturzunahmen zu erwarten. Die durchschnittliche Jahrestemperatur als Bandbreite über alle drei Emissionsszenarien erhöht sich im Projektionszeitraum 2036 - 2065 um 0,9 K bis 2 K und 2071 - 2100 um 1,9 K bis 3,3 K. Im Winter steigen die Temperaturen jeweils am stärksten.

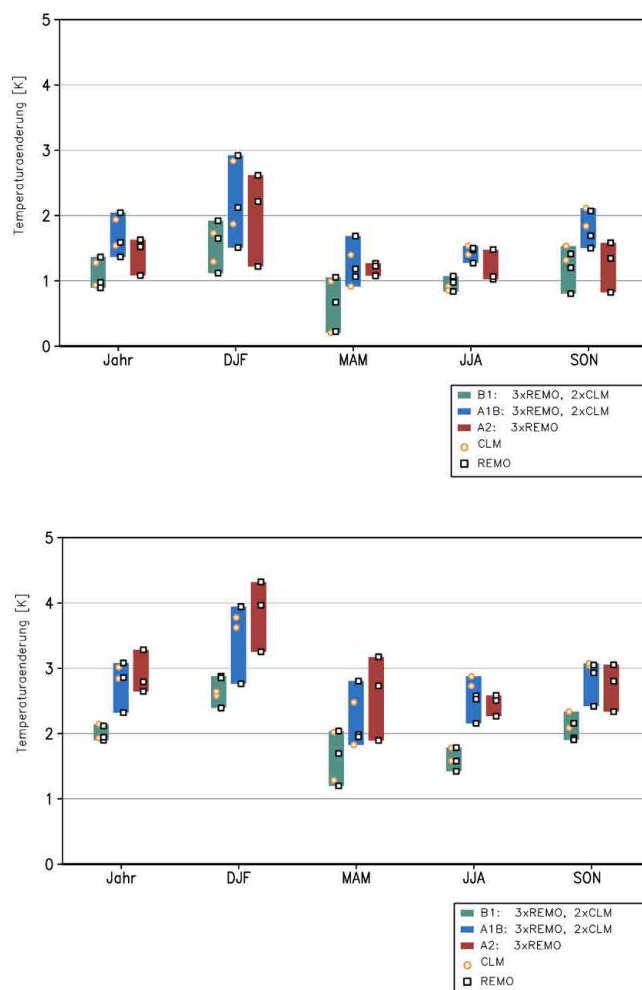


Abb. 3.3: Bandbreiten der jährlichen und saisonalen Temperaturänderungen 2036 - 2065 (oben) und 2071 - 2100 (unten) gegenüber 1971 - 2000 pro Emissionsszenario und Werte der einzelnen Simulationen für das Gebietsmittel der Metropolregion Hamburg.

Untersuchungen zur Häufigkeitsverteilung der Tagestemperaturen [6] zeigen, dass im Winter nicht alle Temperaturwerte gleichmäßig zunehmen, sondern dass die sehr niedrigen Werte deutlich stärker ansteigen als die höheren Werte und damit Tage mit besonders niedrigen Mitteltemperaturen, also von etwa -2 bis -7 °C, kaum mehr auftreten. Entsprechend treten Eis- und Frosttage deutlich seltener auf (s. Abb. 3.4), die Winter werden milder. Im Sommer nehmen die Tagesmittelwerte der Temperatur relativ gleichmäßig zu mit einer Tendenz zur stärkeren Zunahme hoher Tagestemperaturen.

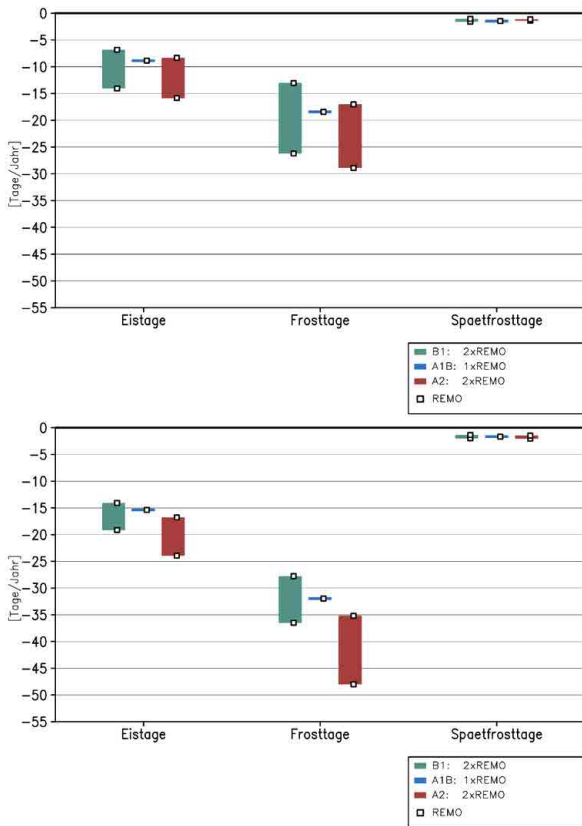


Abb. 3.4: Bandbreiten der simulierten Änderungen von Eis-, Frost- und Spätfrosttagen pro Jahr für 2036 - 2065 (oben) und 2071 - 2100 (unten) gegenüber 1971 - 2000 für die Szenarien B1, A2 und A1B für das Gebietsmittel der Metropolregion Hamburg, dargestellt mit den Werten der Simulationen, die keine unrealistische Häufung von 0 °C zeigen (s. [6]).

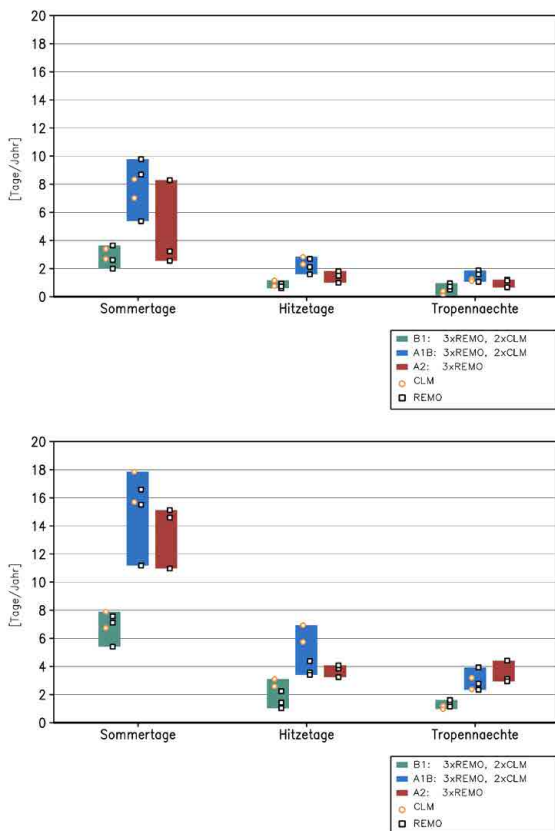


Abb. 3.5: Bandbreiten der simulierten Änderungen von Sommer- und Hitzetagen sowie Tropennächten pro Jahr für 2036 - 2065 (oben) und 2071 - 2100 (unten) gegenüber 1971 - 2000 für das Gebietsmittel der Metropolregion Hamburg für die Szenarien B1, A2 und A1B, dargestellt mit den Werten der einzelnen Simulationen.

Damit können Tage mit sehr hohen Temperaturen wie Hitzetage und Tropentage bzw. -nächte deutlich häufiger auftreten (s. Abb. 3.5), was zu einer größeren Hitzebelastung im Sommer führt. Im Jahr nimmt die Anzahl der Tage, an denen die Temperatur über 5 °C liegt, deutlich zu, was eine wichtige physiologische Schwelle für das Wachstum vieler Pflanzen ist.

## Die Niederschlagsmengen nehmen zu - im Sommer zeigt sich zum Teil eine abnehmende Tendenz

Die Zeitreihen der projizierten Niederschlagsänderungen (s. Abb. 3.6) zeigen auch für die über 30 Jahre gemittelten Werte deutliche Fluktuationen, die auf großen Schwankungen der Niederschlagsmengen von Jahr zu Jahr beruhen. Dennoch zeigen die mittleren Niederschlagsmengen im Winter im Verlauf des 21. Jahrhunderts eine immer stärkere Zunahme, im Sommer dagegen zum Ende des 21. Jahrhunderts überwiegend die Tendenz zur Abnahme des Niederschlags im Vergleich zu 1971 - 2000.

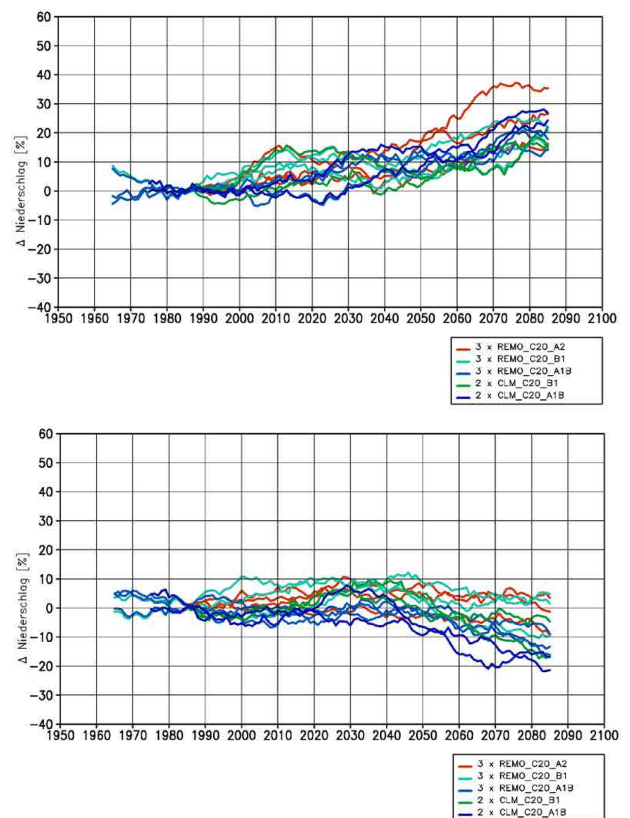


Abb. 3.6: Projizierte relative Abweichungen der Niederschlagsmenge im Winter (oben) und im Sommer (unten) gegenüber 1971 - 2000 (als gleitendes 31-Jahresmittel abgebildet jeweils auf das 16. Jahr) aus neun REMO- und vier CLM-Simulationen für das Gebietsmittel der Metropolregion Hamburg.

Der durchschnittliche Jahresniederschlag nimmt zur Mitte des 21. Jahrhunderts um 4 % bis 14 % zu (s. Abb. 3.7). Dabei finden die größten Zunahmen in Winter und Herbst statt. Im Sommer dagegen zeigen zur Mitte des Jahrhunderts die Simulationen für das A1B Szenario abnehmende Niederschläge mit -1 % bis -11 %. Zum Ende des 21. Jahrhunderts zeigen die meisten Simulationen für alle Szenarien im Sommer eine Niederschlagsabnahme. In Winter und Herbst verstärkt sich die Niederschlagszunahme.

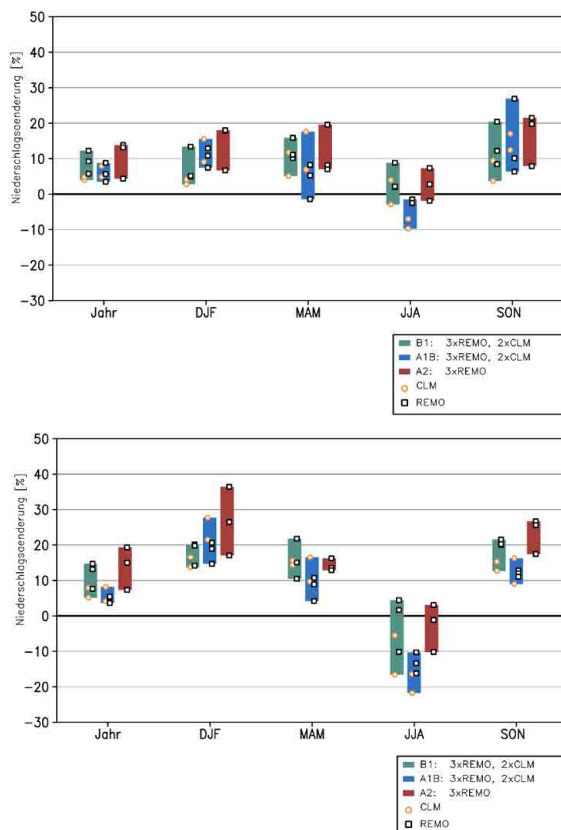


Abb. 3.7: Bandbreiten der jährlichen und saisonalen Niederschlagsänderungen 2036 - 2065 (oben) und 2071 - 2100 (unten) gegenüber 1971 - 2000 pro Emissionsszenario und Werte der einzelnen Simulationen für das Gebietsmittel der Metropolregion Hamburg.

Untersuchungen zur Verteilung der Tagesniederschläge an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag, also an sogenannten Niederschlagstagen, verdeutlichen, wie sich die Niederschlagsintensitäten verändern [6]. Im Winter zeigen alle Simulationen eine generelle Zunahme aller Niederschlagsintensitäten und besonders zum Ende des Jahrhunderts eine Tendenz zur stärkeren Zunahme höherer Intensitäten. Im Sommer wird 2036 - 2065 in fast allen und 2071 - 2100 in allen Simulationen eine Abnahme der Niederschlagsintensität an Tagen mit leichten bis mittleren Niederschlagsmengen projiziert. An Tagen mit sehr hohen Niederschlagsintensitäten dagegen nimmt in allen Simulationen die Niederschlagsmenge auch im Sommer zu. Das bedeutet, dass die leichte Abnahme der mittleren Niederschlagsmenge im Sommer gleichzeitig mit einer Zunahme der Intensität von Starkniederschlägen verbunden sein kann. Diese Änderungen sind im A2 und im A1B Szenario etwas stärker ausgeprägt als im B1 Szenario.

Das gibt einen Hinweis darauf, dass die Intensität von Starkniederschlägen umso mehr zunehmen kann, je höher der Grad der Erwärmung und damit der Wassergehalt der Atmosphäre ist. Dieser Zusammenhang wurde kürzlich in einer Studie basierend auf Beobachtungsdaten bestätigt [7]. Die Anzahl der Trockentage, also von Tagen mit weniger als 1 mm Niederschlag, verringert sich in beiden Projektionszeiträumen in Winter, Frühjahr und in den meisten Simulationen auch im Herbst. Im Sommer treten 2036 - 2065 im A1B und A2 Szenario häufiger Trockentage auf und 2071 - 2100 bis auf eine Realisierung auch im B1 Szenario. Die Anzahl der Tage mit Niederschlagsintensitäten größer als 20 mm erhöht sich in allen Jahreszeiten geringfügig, wobei diese Ereignisse auch im heutigen Klima relativ selten auftreten. Das bedeutet insgesamt,

dass es in den Projektionszeiträumen einige Tage mehr mit starkem Niederschlag geben kann. Zudem kann die Intensität des Niederschlags an Tagen mit starkem Niederschlag noch stärker ausfallen.

Die Daten und Informationen zu projizierten Klimaänderungen in der Metropolregion Hamburg im 21. Jahrhundert wurden im Rahmen der Querschnittsaufgabe Q1 Klimawandel für die gesamte Projektregion, für die Landkreise der Metropolregion Hamburg sowie für die Modellgebiete von KLIMZUG-NORD aufbereitet. Weiterführende Informationen zu den verwendeten Modellsimulationen und berechneten Klimaänderungen sind in dem Bericht „Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg“ zu finden, der in der kursbuchbegleitenden Reihe „Berichte aus den Modellgebieten“ erscheint. Darauf basierend wurden in verschiedenen Teilprojekten die Folgen möglicher Klimaänderungen zum Beispiel auf den Abfluss in Oberflächengewässern und die Grundwasserneubildung, auf den Wasser- und Stoffhaushalt der Böden, auf das Pflanzenwachstum in den ländlichen Räumen und auf die Wärmebelastung in den Städten untersucht. Besonders die Wechselwirkungen zwischen den regionalen Klimaänderungen und den verschiedenen lokalen Auswirkungen sind bei der Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu berücksichtigen.

Autorinnen: Diana Rechid, Juliane Petersen, Daniela Jacob, Max-Planck-Institut für Meteorologie und Climate Service Center Hamburg



## KLIMZUG-NORD KURS:

- Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur nimmt zur Mitte des Jahrhunderts um 0,9 K bis 2 K zu (und zum Ende des Jahrhunderts um 1,9 K bis 3,3 K), jeweils mit stärkstem Anstieg im Winter (eine Änderung von 1 K entspricht einer Änderung um 1 °C).
- Tage mit sehr hohen Temperaturen treten deutlich häufiger auf und führen zur größeren Hitzebelastung im Sommer.
- Der durchschnittliche Jahresniederschlag nimmt im Verlauf des 21. Jahrhunderts zu, dabei treten die stärksten Zunahmen im Herbst und im Winter auf.
- Im Sommer dagegen zeigen zur Mitte des 21. Jahrhunderts die Simulationen für das A1B Szenario abnehmende Niederschläge, zum Ende des Jahrhunderts fast alle Simulationen.
- Zudem zeigt sich im Sommer trotz im Mittel abnehmender Niederschlagsmengen eine Zunahme der Intensität von starken Niederschlägen.
- Eine Verminderung der globalen Treibhausgasemissionen führt zu deutlich geringeren Klimaänderungen.



## 4.1 Governance: Welchen Kurs wollen wir anlegen?

**Kennen Sie diesen Witz? Der Steuermann will das Schiff linksherum um die Untiefe steuern, der erste Offizier rechtsherum. Sagt der Kapitän: „Machen wir doch einen Kompromiss ...“.**



# Ihre Meinung ist gefragt!

Abb. 4.1.1: Postkarte zur Onlinebeteiligung zum Hochwasserschutz (TuTech Innovation, Bildquelle: PantherMedia)

Den richtigen Kurs anzulegen, ist auf Schiffen schon schwierig genug. Aber die Metropolregion Hamburg ist kein einfaches Schiff, es gibt nicht nur einen Kapitän und der Klimawandel selbst ist für uns noch unberechenbarer als das Meer. Um die Region gut durch die Untiefen des Klimawandels zu navigieren, brauchen wir, die Bevölkerung der Metropolregion, mehr als nur Wissen über das Klimasystem. Wir müssen uns über die Ziele und die Entwicklung der Region verständigen, die Eignung verschiedener Anpassungsmaßnahmen bewerten und heute Entscheidungen treffen, um auf die Zukunft vorbereitet zu sein. Dies ist nicht einfach, da die öffentlichen Gelder keinen Spielraum für Experimente ermöglichen und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel daher sinnvoll gewählt und zielgerichtet umgesetzt werden müssen. Wie gehen wir vor?

Deutschland hat weltweit eine der besten Demokratien und eine der funktionsfähigsten öffentlichen Verwaltungen. Beim Klimaschutz und bei der Anpassung an den Klimawandel werden wegen der Langfristigkeit und Komplexität der Herausforderungen jedoch auch die Defizite deutlich. Was wir brauchen, sind – zusätzlich zum bestehenden System – weitere (Steuerungs- und Regelungs-)Verfahren, die es uns ermöglichen, den richtigen Kurs durch die Untiefen des Klimawandels zu finden. Wissenschaftler nennen dies „Governance Modi“.

Bei KLIMZUG-NORD haben wir Beteiligungsverfahren besonders intensiv untersucht und erprobt, um direkt von betroffenen Bürgerinnen und Bürgern deren Wissen, Ziele und Bewertungen für die Entwicklung von Anpassungsstrategien verfügbar zu machen. Gut durchgeführte Beteiligungsverfahren leisten einen wertvollen Beitrag für die Entwicklung von Strategien zur Anpassung an den Klimawandel.

Bereits seit Längerem stellt die Partizipationsforschung heraus, dass geeignete Beteiligungsverfahren das Problembewusstsein erhöhen und die Beteiligten infolge von Lernprozessen befähigt werden, selbst tätig zu werden. Weitere bekannte Vorteile der Beteiligung bei einer Strategieentwicklung sind qualitativ hochwertigere Konzepte sowie eine breitere Akzeptanz der folgenden politischen Entscheidungen. Vorausgesetzt werden müssen jedoch ein hoher zeitlicher und organisatorischer Aufwand, ungewohnte Dialogformen und der aktive Umgang mit widersprüchlichen Positionen. Zu beachten ist weiterhin, dass schlecht ausgeführte oder ungeeignete Verfahren zu Frustration bei den Beteiligten führen können.

Mit den vorliegenden Empfehlungen möchten wir dazu beitragen, für den jeweiligen Anwendungsfall passende Öffentlichkeitsbeteiligungen zu finden und ihre Vorteile für Strategien und Maßnahmen der Klimaanpassung in Städten und Regionen auszuschöpfen.

Beteiligungsverfahren benötigen ein klares und erreichbares Ziel, um für die beteiligten Akteure befriedigend durchgeführt werden zu können. Eher diffuse Absichten wie „miteinander reden“ oder die Vermittlung von bereits getroffenen Entscheidungen rechtfertigen den Einsatz und den Aufwand von Beteiligungsverfahren nicht. Das Ziel muss klar und offensiv kommuniziert werden. Unterschieden werden sollten Ziele wie:

- Kommunikation zur einseitigen Vermittlung von Positionen und Wissen,
- Konsultationen, die im Einzelfall Entscheidungen beeinflussen können und
- Kooperation zur gemeinsamen Entwicklung von Bewertungskriterien und Entscheidungen.

## Auswahl der Beteiligten

Die Auswahl und Motivation der Teilnehmenden prägen das gesamte Beteiligungsverfahren. Daher sollte diesen Punkten besondere Sorgfalt gewidmet werden. KLIMZUG-NORD empfiehlt, im Vorfeld eine Akteursanalyse durchzuführen. Sie erleichtert die Einbeziehung aller relevanten Akteure und trägt wertvolles Wissen zusammen, um die kostbare Zeit im Beteiligungsverfahren effektiv zu nutzen. Möglich ist neben einer umfassenden Öffentlichkeitsbeteiligung auch die gezielte Ansprache bestimmter Gruppen. Die Auswahl der zu beteiligenden Akteure hängt daher auch von der Art, dem Umfang und der Zielrichtung der gewählten Beteiligungsmethode ab. Darüber hinaus ist es für die unterschiedlichen Verfahren von Vorteil, wenn eine kontinuierliche Teilnahme über die gesamte Dauer des Prozesses erfolgt. Die Aufrechterhaltung der Motivation bildet somit ebenfalls einen wichtigen Bestandteil des Partizipationsverfahrens.



Abb. 4.1.2: Einladung zum Onlinediskurs in Elmshorn (TuTech Innovation)

## Auswahl der Verfahren und Methoden

Im Rahmen von KLIMZUG-NORD wurden vier Beteiligungsformate erprobt. Zur Anregung für die Auswahl werden im Folgenden vier typische Situationen beschrieben und dann die jeweils geeigneten Verfahren:

Sie haben eine konkrete Problemlage (z. B. Hochwasserschutz, Trockenheit), aber das Wissen zum Umgang damit fehlt oder ist widersprüchlich. Dadurch kommt es zu kontroversen Diskussionen über die Relevanz des Problems, die geeigneten Maßnahmen und die gewünschten und unerwünschten Folgen:

→ Empfehlung: **Lern- und Aktionsallianzen (LAA)** mit Entscheiderinnen und Entscheidern sowie Expertinnen und Experten (s. Kap. 7.2).

Sie möchten die Öffentlichkeit umfassend und großräumig über eine bestimmte Problemlage (z. B. Gefahr durch Hochwasser, Starkregen) und Lösungsoptionen informieren. Darüber hinaus möchten sie auch die Bedürfnisse, Bedenken, Anregungen und Ideen der Anwohnerinnen und Anwohner vor Ort bei der Entwicklung geeigneter Maßnahmen und Strategien mit einbeziehen, um bereits frühzeitig Missverständnisse auszuräumen, Konfliktpotenzial zu reduzieren und die Akzeptanz für die Maßnahmen zu erhöhen:

→ Empfehlung: **Moderierte Onlinediskussion** mit der Öffentlichkeit.

Sie möchten, dass sich im Rahmen von Leitbildprozessen auf der Ebene von Kommunen und Stadtteilen eine breite Öffentlichkeit zunächst kreativ mit unterschiedlichen Anpassungsoptionen an den Klimawandel auseinandersetzt:

→ Empfehlung: **Szenario-Workshops** mit Entscheiderinnen und Entscheidern, Expertinnen und Experten sowie bisher wenig involvierten Querdenkern.

Sie machen sich grundsätzlich Gedanken, welche Entscheidungen heute zu fällen sind, um für die Zukunft noch besser vorbereitet zu sein (Stadtteil, Bezirk, Kommune). Dafür möchten Sie fachliche, sektorale und räumliche Barrieren überwinden:

→ Empfehlung: **Zukunfts-Workshops** mit Vertreterinnen und Vertretern politisch engagierter Gruppen.

Bei allen Methoden sollte auf professionelle Organisation und Durchführung geachtet werden, die den Qualitätskriterien guter Partizipationsverfahren verpflichtet ist.

## Wie kann gleichzeitig Wissen vermittelt und mit der Öffentlichkeit diskutiert werden?

Mit moderierten Onlinediskussionen können einfach und direkt viele Bürgerinnen und Bürger einbezogen, Kenntnisse vermittelt sowie potenzielle Anpassungsmaßnahmen gemeinsam erörtert werden.

Bei KLIMZUG-NORD wurden mit der Beteiligungsmethode und Internetplattform DEMOS drei Onlinediskussionen durchgeführt: Sie liefen je zwei bis drei Wochen, wurden permanent von Moderatorinnen begleitet und ergebnisorientiert gestaltet. Auf der Plattform konnten wichtige Hintergrundinformationen über die Problemlage, Ursachen und Wirkungen des Klimawandels und Maßnahmen vermittelt werden, während Laien und Experten miteinander diskutierten, wichtige Rahmenbedingungen klärten und individuelle Argumente austauschten. Inhaltlich ging es um den Hochwasserschutz in der gesamten Metropolregion Hamburg sowie um kleinteiligere Anpassungsoptionen in den KLIMZUG-NORD Modellgebieten „Einzugsgebiet Wandse“ und „Elmshorn und Umland“. Alle Beispiele waren mit Workshops, Schülerprojekten oder Informationsveranstaltungen vor Ort verknüpft.



Die Teilnehmenden bildeten einen guten Querschnitt aus der MRH ab. Besonders motiviert waren Schülerinnen und Schüler und Rentnerinnen und Rentner – Gruppen, die häufig schwer zu erreichen sind. Vielfältig gestalteten sich auch die inhaltlichen Diskussionen. Sie behandelten grundsätzliche Fragen zu Klimawandel und Folgen, die Eignung und Realisierbarkeit ganz spezieller lokaler Maßnahmen, Verordnungen, Kooperation und übergreifende interdisziplinäre Zusammenarbeit ebenso wie Zuständigkeiten oder das eigene Handeln in Notsituationen. Hierbei fielen vor allem die Schülerinnen und Schüler durch ihre sehr handlungsorientierte Sichtweise auf.

Zahlreiche Teilnehmende hatten mehr Fragen als dezidierte Meinungen. Als sehr hilfreich erwiesen sich daher die vielen Livediskussionen mit Expertinnen und Experten auf den Plattformen, die rege genutzt wurden. Auf der Basis einer guten Vorbereitung und unterstützender Aktivitäten lassen sich demnach auch komplexe Themen vermitteln und konstruktive Diskussionen mit der Öffentlichkeit initiieren. Moderierte Onlineplattformen mit ihren flexiblen Gestaltungsmöglichkeiten, Aggregationselementen sowie mit der Transparenz und Ergebnisdokumentation bieten hierfür ein vielversprechendes Instrument.

## Schülerbeteiligung über Onlinerollenspiel KLIMA-TALK

Um die Zielgruppe Schülerinnen und Schüler noch stärker für eine Diskussion des Themas Klimaanpassung zu gewinnen, wurde die Internetplattform DEMOS im Rahmen von KLIMZUG-NORD zum Onlinerollen- und Diskussionspiel KLIMA-TALK weiterentwickelt. In dem mehrwöchigen Onlinespiel konnten die durch den Klimawandel zunehmenden Problematiken – z.B. die Konkurrenz um Wasser in der Heide region – aus der Sicht verschiedener Rollen und Perspektiven (hier: Landwirtschaft, Naturschutz, Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Anwohnerschaft) diskutiert werden.

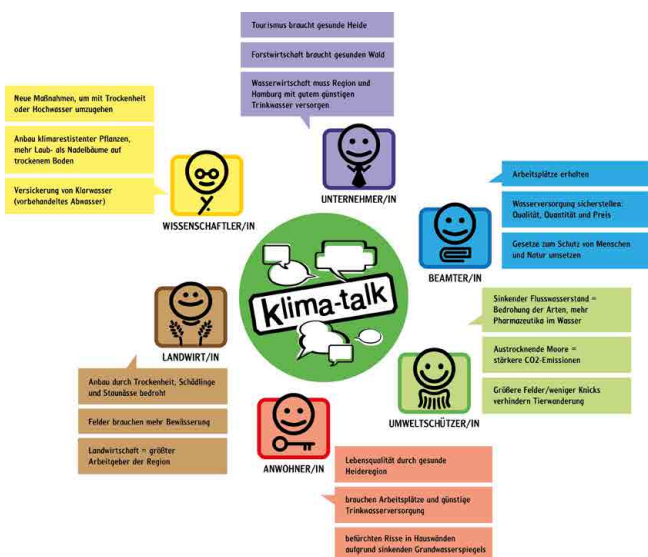


Abb. 4.1.3: Beispielpositionen der Rollen im KLIMA-TALK-Spiel (TuTech Innovation)

Dabei ließen sich Argumentationskarten mit individuellen Thesen eröffnen und gemeinschaftlich Pro- und Kontra-Argumente der einzelnen Rollen zu der jeweiligen Eingangsthese einbringen. Es ging darum, die anderen Klima-Talker argumentativ zu überzeugen und dabei möglichst viele Punkte für aktives Mitmachen und „Likes“ für gute Argumente zu sammeln sowie gute Bewertungen für Argumentationskarten zu erzielen.

	kopernikus26 20.11.2013	★★★★★	
Schutz des Heidewassers		Argumente 8	
	kopernikus21 03.12.2013	★★★★★	
Bäume ändern		Argumente 10	
	kopernikus14 20.11.2013	★★★★★	
Wasser ist auch Eine Waffe		Argumente 16	
	kopernikus08 20.11.2013	★★★★★	
Wie viel Wasser verbrauchen die jeweiligen Bereiche ?		Argumente 12	
	Vanja 21.11.2013	★★★★★	
Regenwasser nutzen?		Argumente 11	
	Vanja 21.11.2013	★★★★★	
Verbot gegen Düngemittel?		Argumente 4	
	LakritzWerg 27.11.2013	★★★★★	
Wasserverschmutzung stoppen und Fischsterben verhindern		Argumente 0	

Abb. 4.1.4: Schülerbeiträge aus dem KLIMA-TALK-Spiel (www.klima-talk.de, TuTech Innovation)

Wie unser KLIMA-TALK zeigte, wird bei den Schülerinnen und Schülern über das Spiel Interesse für komplexe Themen wie Klimawandel und Klimaanpassung geweckt und ihre Argumentationsfähigkeit angeregt. So brachten sich über 100 Jugendliche zwischen 13 und 18 Jahren unterschiedlichster Schulformen in knapp zwei Wochen sehr engagiert mit 228 Argumentationskarten und 1.752 Einzelargumenten in die Diskussion um einen nachhaltigen Umgang mit Wasser ein. Sie waren mit viel Freude dabei, wie die folgende Äußerung belegt: „Das Projekt hat viel Spaß gemacht. Es wäre cool, wenn es so etwas öfter geben würde.“

## Für die Kinder unserer Kinder – Zukunftsworkshops

Wie soll die Zukunft für die Kinder unserer Kinder aussehen – und was können wir heute dafür tun? Dies sind die zentralen Fragen der Zukunfts-Workshops, bei denen der Klimawandel neben Demografie und Ökonomie einbezogen wird. Die Teilnehmenden bilden einen Querschnitt der politisch engagierten Bevölkerung (Verbände, Vereine, Initiativen) plus öffentlicher Verwaltung (ideal: 8 bis 16 Personen, vier Stunden, vier bis sechs Treffen). Durch intensive Vorbereitung wird die wertvolle Workshopzeit effektiv für den intensiven Austausch-, Diskussions- und Verständigungsprozess genutzt.

Zum Einsatz kommen Methoden der partizipativen Modellierung und etablierte Moderationstechniken. Fundierte Impulsreferate von externen Referentinnen und Referenten schließen relevante Wissenslücken.

Der folgende thematische Ablauf hat sich bewährt:

(1) „Unsere Region macht Zukunft“ dient dazu, eine gemeinsame Vision mit einer langfristigen Perspektive (z.B. für das Jahr 2050) zu entwerfen. Bei Kontroversen werden diese in Form von Szenarien dargestellt.

(2) „Den Wald vor lauter Bäumen sehen“ beleuchtet die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Sektoren und Themen genauer. Alle Bereiche, die den Teilnehmenden wichtig erscheinen, beispielsweise Verkehrsentwicklung, Bildungsangebote und seniorengerechtes Wohnen, werden aufgenommen und qualitativ miteinander verknüpft.

(3) „Wissen – Macht – Konflikte“ reduziert das Erarbeitete auf wenige Handlungsfelder und fokussiert auf Wissenslücken, Interessengruppen und potenzielle Konfliktlagen. Besonderheit ist das systematische Suchen nach Gewinnern und Verlierern der angestrebten Vision. Ziel ist der konstruktive Umgang mit nicht vermeidbaren Konfliktlagen.

(4) „Die Zukunft angehen!“ konkretisiert weiter und erarbeitet eine Roadmap und konkrete Schritte auch unter Einbezug von weiteren Akteuren. Konkrete Allianzen, Fördermöglichkeiten und Organisationsstrukturen geben den Rahmen für einen weitergehenden Entwicklungsprozess.

### Qualitätskriterien guter Partizipation zur ernsthaften Konsultation und Kooperation

Basierend auf den vielfältigen Vorarbeiten und daraus resultierenden Erfahrungen machen wir folgenden Vorschlag: Scheinbar trivial und daher häufig der gravierendste Fehler bei Partizipationsverfahren ist die ehrliche Klärung des Ziels. Die Verantwortlichen müssen Klarheit geben, ob es um eine einseitige Information, um einen unverbindlichen Dialog, um eine einflussreiche Diskussion, um eine verbindliche Verhandlung oder um die Erarbeitung eines bindenden Konsenses geht. Bei den letzten Punkten geht es um Machtabgabe durch die Verantwortlichen und Einfluss der Beteiligten. Nur durch echte Machtabgabe und ernsthaften Umgang mit den Ergebnissen wird Verantwortungsübernahme und Akzeptanz erreicht. Im Zweifelsfall sollten eher Informationsveranstaltungen durchgeführt werden, als durch Scheinpartizipation Frustration und Widerstand zu erzeugen.

Die zur Durchführung bestimmte Person und deren Organisation muss über Autorität, Ansehen, Kompetenz, Wissen und ein Mandat zur Unabhängigkeit verfügen. Die Auswahl und Ansprache der Teilnehmenden muss sorgfältig und dem Ziel entsprechend durchgeführt werden: Geht es nur um direkt Betroffene oder soll ein Querschnitt der Bevölkerung beteiligt werden? Wer kann als Anwalt für die „sprachlose Mitwelt“ und nachfolgende Generationen fungieren? In anderen Fällen sollte möglichst großflächig und über alle möglichen Kommunikationskanäle eingeladen werden, um die breite Öffentlichkeit einzubeziehen.



Abb. 4.1.5: Workshop-Situation in Elmshorn (KLIMZUG-NORD)

Entscheidend für die Praktikabilität von Partizipation ist die zielorientierte und zeiteffektive Durchführung. Mit der wertvollen Zeit aller Beteiligten muss schonend umgegangen werden. Die Verfahren nutzen daher intensiv formale Methoden der Wissensstrukturierung, -sortierung, und -bewertung sowie professionelle Moderation zur Gesprächsleitung und Meinungsbildung. Bei der Beteiligung feststehender Gruppen dienen gemeinsame Treffen (auch Onlinechats) ausschließlich zum direkten Austausch und zur Diskussion mit der gesamten Gruppe. Aspekte, die nur für einen Teil der Gruppe relevant sind, werden separat besprochen. Reine Faktenvermittlung wird in der Regel schriftlich oder über Onlinemedien (Videos, Webinar) organisiert. Die Ergebnisse werden transparent dokumentiert und die Umsetzung überwacht, gegebenenfalls sind bei Nichteinhaltung der festgesetzten Umsetzungsschritte geeignete Sanktionen zu vereinbaren.

Autor und Autorin:

Manuel Gottschick, Universität Hamburg und  
Birgit Hohberg, TuTech Innovation



### KLIMZUG-NORD KURS:

- Diskussionsthema und Beteiligungsoptionen klar formulieren,
- nachvollziehbare Methodik umsetzen,
- verständliche, anschauliche Hintergrundinformationen bieten,
- direkten Austausch mit unabhängigen Experten ermöglichen,
- Beteiligung über Medien bekannt machen,
- mit den Ergebnissen ernsthaft und transparent umgehen,
- gegenseitiges Vertrauen unterstützen.

## 4.2 Kommunikation und Bildung – dem Klima auf der Spur

Zur politischen Bewältigung von zukünftig zu erwartenden Klimafolgen bedarf es aufgeklärter, kritischer Bürgerinnen und Bürger, die sich in Prozessen der Transformation souverän bewegen können. Das Interesse, sich mit den regionalen Auswirkungen des Klimawandels zu befassen, ist innerhalb der Bevölkerung allerdings unterschiedlich ausgeprägt und variiert auch in Abhängigkeit davon, welchem sozialen Milieu eine Person angehört. Die Vermittlungs- und Bildungsarbeit für die Vorbereitung von Änderungsprozessen in Zeiten des Klimawandels bleibt damit herausforderungsreich: Eine komplexe Problematik, deren Folgewirkungen unsicher sind und erst in der Zukunft sichtbar(er) werden, trifft auf ein sehr unterschiedliches Bewusstsein für die individuelle Betroffenheit durch den Klimawandel. Zudem bestehen nicht für alle Bürgerinnen und Bürger gleichermaßen die Optionen, Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (mit) zu gestalten.

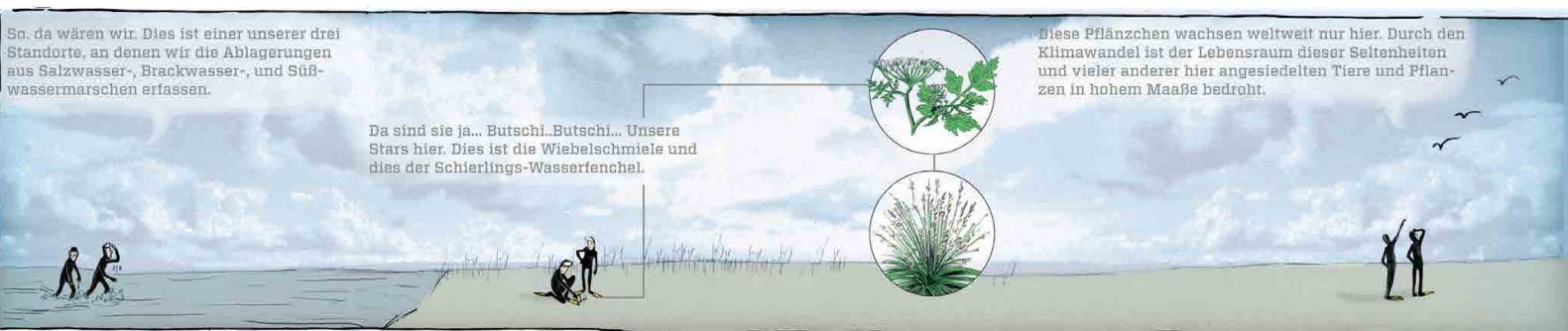


Abb. 4.2.1: Wie sieht meine Zukunft aus? In: Reinhard Schulz-Schäfer (Hrsg.) Klimanovelle 1 - 6, zweite Auflage 2013, S. 36f., HAW Hamburg (M. Amini).

Der kontinuierliche Prozess des Aufklärens darüber, wie sich Klimaveränderungen vor Ort auswirken können, erfordert emanzipatorische politische Bildung. Zu diesem Zweck haben wir in der KLIMZUG-NORD Querschnittsaufgabe „Kommunikation und Bildung“ Maßnahmen, Projekte und Aktivitäten insbesondere auch für den außerschulischen Bereich sowie für unterschiedliche Altersgruppen in verschiedenen sozialen Milieus zu entwickeln und zu erproben. In Zusammenarbeit mit diversen Praxispartnern sind unterschiedliche Formate entstanden:

### Kindertagesstätten: Der Startpunkt für naturnahes Lernen

Themenfelder wie Wetter, Jahreszeiten aber auch Kleidung und Ernährung können kreativ mit Experimenten, Gedichten, Erzählungen oder Liedern in den Tagesablauf einer Kita integriert werden. Zahlreiche spielerische Tätigkeiten für entdeckendes Lernen wurden entwickelt, wie beispielsweise eine jahreszeitlich angepasste Bepflanzung oder Experimente zur Feststellung von Temperaturunterschieden.

### Lebenslanges Lernen und generationenübergreifender Wissenstransfer

Mit dem demografischen Wandel gewinnt die Seniorenbildung an Bedeutung. KLIMZUG-NORD hat in dialogischer Vortragsform Beiträge aus der Forschung übermittelt. Insbesondere Themen wie Gesundheit, Ernährung, Sicherheit und politische Beteiligung über das Internet stießen auf großes Interesse in der Seniorenuniversität. In den Diskussionen konnte ein Bezug zum Leben der Teilnehmenden hergestellt werden. Die Relevanz von

Klimaanpassung für das persönliche und lokale Umfeld wurde deutlich.

Mit der Weiterbildung „Die Klimaweisen“ wurde ein intergeneratives Kooperationsprojekt zwischen der VHS Lüneburg und KLIMZUG-NORD verwirklicht. Am Thema interessierte Seniorinnen und Senioren wurden in Sachen regionaler Klimawandel weitergebildet, um ehrenamtlich in Kitas und im Grundschulbereich für Klimafolgen vor Ort zu sensibilisieren und die Notwendigkeit zu verdeutlichen, Mitmenschen zu motivieren und sich zu engagieren. Die Weiterbildung ist abgeschlossen. Eine zweite Auflage ist in Vorbereitung.

### Klimanovellen: Chancen für eine offene Wissenschaftskommunikation

In den Grafiknovellen von KLIMZUG-NORD wurden ausgewählte Themen visuell und dramaturgisch so aufbereitet, dass sie auch ohne fachliches Vorwissen attraktiv und zugänglich werden. Voraussetzung dafür war der direkte Austausch zwischen einzelnen Teilprojekten von KLIMZUG-NORD und Illustratorinnen und Illustratoren aus dem Studiengang „Informative Illustration“ der HAW Hamburg. Die Themenvielfalt eignet sich insbesondere für fächerübergreifenden Unterricht in der gymnasialen Oberstufe. Die Inhalte der Novellen können im lokalen Umfeld aufgegriffen, beobachtet und anschließend vertiefend bearbeitet werden. Das Format bietet diverse Schnittstellen zu verschiedenen Unterrichtsfächern und bleibt offen für die individuelle didaktische Ausrichtung durch die Lehrkräfte.



## Beteiligung, Erlebnis und Selbstwirksamkeit

Bildungsansätze, welche die individuelle Gestaltungsmacht in den Vordergrund rücken und das Erleben von Selbstbestimmtheit verstärken, gelten als besonders lehrreich. Häufig werden darunter beteiligungsorientierte und eigenstrukturierte Lernsettings gefasst. Im Rahmen von KLIMZUG-NORD wurden zahlreiche solcher Bildungsformate entwickelt und angewendet:

Beim Geocaching werden mithilfe eines tragbaren GPS-Empfängers Verstecke im öffentlichen Raum aufgesucht, deren Breiten- und Längen-Koordinaten im Internet abrufbar sind. Bildung und Kommunikation verschmelzen in diesem Format: Im Schulunterricht werden für die Konzeption und Gestaltung von Geocaching-Routen Forschungsthemen mit praktischer Medienkompetenz verknüpft. Das eigenständige Auswählen besonders klimasensibler Orte (sog. Points of Interest) dient dabei sowohl der Aufklärung der die GPS-Tour gestaltenden Jugendlichen als auch der Informationsweitergabe an alle Nutzerinnen und Nutzer der Routen. Dieser Ansatz für selbstgesteuerte, partizipative und informelle Kommunikation hat sich in Lüneburg und Elmshorn bewährt. Geocaching ist auf jede Region übertragbar und kann inhaltlich auf die lokalen Gegebenheiten und Herausforderungen ausgerichtet werden.



Abb. 4.2.2: Geocaching-Projekt in Lüneburg (K. Raudszus).

Studierende des ersten Semesters (Studium Generale) der Leuphana-Universität Lüneburg haben mit Unterstützung von KLIMZUG-NORD Vermittlungsaktivitäten mit provozierenden bzw. ironisierenden Elementen entwickelt. Vor allem die Gefühlswelt anregende theaterpädagogische und kreativ-künstlerische Methoden (z.B. „Kühlschrank auf fürs Klima“ - eine provozierende Befragungsaktion mit Vortrag) erleichtern offenbar den Zugang zu dem ernsten Thema Klimawandel und initiieren darüber eine fachliche Auseinandersetzung und Aufklärung. Die positive Resonanz spiegelt sich in den Einsätzen der Studierenden bei Bildungsveranstaltungen wider. Fundierte Kenntnisse aus bzw. Kooperationen mit der Theaterpädagogik, der Jugend(sozial)arbeit und der Klimaforschung werden für die Konzeption und Durchführung ebenso benötigt wie Vermittlungskompetenz.

## Vernetzung und Kooperation

Um den Folgen des Klimawandels angemessen begegnen zu können, bedarf es neben fachspezifischer technischer, natur- oder sozialwissenschaftlicher Kenntnisse insbesondere auch fachintegrierender und -übergreifender sowie handlungsorientierter sog. Nachhaltigkeitskompetenzen. Im Ansatz „Bildung für Nachhaltige Entwicklung“ (BNE) sind dafür Merkmale, Kriterien und Umsetzungsvorschläge ausgearbeitet. Bildungsträger haben großes Interesse, regionale Klimafolgen und Anpassungsmöglichkeiten als BNE-Maßnahmen zu entwickeln. Doch finanzielle Engpässe und Zeitmangel stehen dem in der Regel entgegen. Fortbildungen in flexiblen Unterstützungsstrukturen, wie beispielsweise die Ausbildung von „Flying Experts“, die in den Bildungsinstitutionen oder Umweltorganisationen Beratungen im Rahmen von Projekten durchführen, sind dafür hilfreich. Kooperative Netzwerke und institutionelle Zusammenarbeit wie zum Beispiel modulare und von allen nutzbare Veranstaltungsformen sollen dafür gezielt gefördert werden.

Zu allen in diesem Beitrag beschriebenen Ansätzen und Teilprojekten können Sie über die Autorin und die Autoren weitere Informationen erhalten.

*Autorin und Autoren:*

*Lothar Hartmann, Christoph Porschke, HAW Hamburg  
und Christine Katz, Leuphana Universität Lüneburg*



**KLIMZUG-NORD KURS:**

- Kindertagesstätten zu naturnahen Lernwelten ausbauen.
- Generationenübergreifend für lokale Klimaproblematiken sensibilisieren.
- Formelle und informelle Formate für erlebnisreiches Lernen gestalten und fördern.
- Die Klimanovellen im Unterricht der gymnasialen Oberstufe nutzen.
- Beteiligung von Jugendlichen an realen Gestaltungsräumen ermöglichen.
- Künstlerische und kreative Möglichkeiten der Vermittlung stärker für Klimathemen entwickeln und nutzen (Grafiknovellen, Theaterpädagogik, Ironisierungen).
- Innovative und experimentelle Wissenschaftskommunikation fördern.

## 4.3 Planungs- und Umweltrecht im Klimawandel

Die notwendige Anpassung an den Klimawandel stellt das Planungs- und Umweltrecht vor vielfältige Herausforderungen. Das Arbeitspaket „Regulative Regulationsformen“ hat deshalb im Rahmen von KLIMZUG-NORD die Frage gestellt, welcher rechtlichen Instrumente es bedarf, um dem Klimawandel zu begegnen und wie diese angewendet werden sollten. Als zentrales, alle Bereiche überspannendes Problem hat sich dabei erwiesen, dass Ausmaß und Intensität der Folgen des Klimawandels noch nicht absehbar sind (s. hierzu Kapitel 3). Gesetzgeber und Anwender stehen vor der Frage, wie mit der hieraus resultierenden Unsicherheit umgegangen werden kann.

### Regulative Regulationsformen als Bestandteil der Anpassungsgovernance

Regulative Instrumente sind wichtiger Bestandteil einer Anpassungsgovernance. Der Beitrag, den die regulativen Regulationsformen erbringen können, besteht vor allem in der Schaffung eines allgemeingültigen, verbindlichen Rechtsrahmens. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Folgen des Klimawandels noch nicht konkret absehbar sind. Allenfalls ist es möglich, den Rahmen der zu erwartenden Risiken anhand von Klimaprojektionen einzugrenzen. Die rechtliche Steuerung der Adaption erfordert deshalb vor allem den Umgang mit Unsicherheit im Hinblick auf die Umweltentwicklung. Das Instrumentarium hierfür ist in den meisten Fällen vorhanden. Verwaltungsakte können mit Nebenbestimmungen (z.B. Auflagen, Bedingungen, Befristungen) versehen werden. Beispielsweise kann die Nutzung eines Gewässers nur befristet oder unter dem Vorbehalt der regelmäßigen Überprüfung erlaubt werden. Auch nachträgliche Anordnungen (§ 17 Abs. 1 BImSchG), Teilgenehmigungen (§ 8 BImSchG) oder Nutzungsrechte auf Zeit (§ 9 Abs. 2 BauGB) können dazu beitragen, flexibel auf veränderte Umweltbedingungen zu reagieren. Probleme ergeben sich eher auf Seiten der Anwender. Die Komplexität der Rechtslage auch in Anbetracht der neuen Fragestellungen führt zu Unsicherheiten im Umgang mit den Rechtsgrundlagen.

### Anpassung im Planungsrecht: Risiko in der Abwägung

Pläne als Instrumente der Steuerung der räumlichen Entwicklung sind in besonderer Weise geeignet, auf die Anforderungen des Klimawandels zu reagieren. Sie ermöglichen, die Unsicherheit über die Umweltentwicklung in die Entscheidungen einzubeziehen und sie abwägend in ein Verhältnis zu anderen (z.B. wirtschaftlichen oder sozialen) Belangen zu stellen. Dabei genießt die Anpassung an den Klimawandel inzwischen besondere Beachtung: Das Raumordnungsgesetz (ROG) benennt seit 2008 die Anpassung an den Klimawandel als einen Grundsatz der Raumordnung (§ 2 Abs. 2 Nr. 6 ROG). In der Bauleitplanung sind die Erfordernisse der Klimaanpassung seit der Klimaschutznovelle 2011 ebenfalls besonders hervorgehoben (§§ 1 Abs. 5 S. 2, 1a Abs. 5 BauGB). Dies führt auf beiden Planungsebenen zu einer Stärkung der Anpassung als Belang in der für alle Pläne verbindlichen Abwägung. Hier kann auch den bestehenden Unsicherheiten und den damit einhergehenden Risiken Rechnung getragen werden. So beeinflusst die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses neben anderen Faktoren wie der Schadenshöhe dessen Gewicht in der Abwägung: Ein zwanzigjähriges Hochwasser rechtfertigt andere Maßnahmen

als ein hundertjähriges. Lässt sich die Wahrscheinlichkeit nicht klären, sollten langfristig wirkende Festlegungen zugunsten einer möglichen Revision vermieden werden. Im Übrigen bieten Raumordnung und Bauleitplanung vielfältige Möglichkeiten, konkrete Anpassungsmaßnahmen in die Pläne aufzunehmen, wie die Übersicht in Tabelle 4.3.1 zeigt. Dass dies auch schon vor den Novellen der jüngeren Vergangenheit möglich war, verdeutlicht, dass das Planungsinstrumentarium flexibel genug ist, auf die Erfordernisse der Anpassung zu reagieren. Entscheidend ist die Sensibilisierung der Planungspraxis, z. B. durch die Hervorhebung der Anpassung als Belang.

### Anpassung im Umweltrecht

Auch das Umweltrecht muss auf die Notwendigkeiten der Klimaanpassung reagieren. Das Umweltmedium Wasser ist in vielfältiger Weise von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen (Hochwasser, Absinken der Grundwasserspiegel, Umbau der technischen Infrastrukturen). Die Vorbeugung gegenüber den Folgen des Klimawandels gehört seit 2010 zu den Grundsätzen der Gewässerbewirtschaftung (§ 6 Abs. 1 WHG). Die Veränderung des Klimas und die daraus resultierenden Umweltveränderungen können also in die wasserwirtschaftliche Planung einbezogen werden (s. Kap. 7). Möglichkeiten der Erfassung und Koordination von Anpassungsmaßnahmen bietet das Managementsystem (Bewirtschaftungsplan, Maßnahmenprogramm) der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Auf die Unsicherheit über die Umweltentwicklung reagiert das Wasserrecht mit einer regelmäßigen Überprüfung der Pläne.

Das Naturschutzrecht nimmt sich zwar der Anpassung an den Klimawandel nicht ausdrücklich an. Naturschutzmaßnahmen führen jedoch meistens zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimaveränderungen. Das naturschutzrechtliche Schutzgebietssystem schafft Korridore, die Arten und Lebensgemeinschaften Wanderbewegungen zur Anpassung an den Klimawandel ermöglichen. Die Beobachtung von Natur und Landschaft (§ 6 BNatSchG) erfasst auch die durch den Klimawandel hervorgerufenen Veränderungen und könnte damit ein wichtiges Instrument zur Erfassung von klimawandelbezogenen Daten darstellen. Mittels der Landschaftsplanung können ökologische Belange (z.B. Schutzgebiete oder Freiraumschutz) in Raumordnung und Bauleitplanung integriert werden.

Tab. 4.3.1: Anpassungsbezogene Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten in der Bauleitplanung (Eigene Darstellung, vgl. auch Lülff in: Klee et al., ARL E-Paper Nr. 5, S. 80 und Fleischhauer/Bornefeld, RuR 2006, S. 166 u. 168).

Norm (BauGB)	Text	Maßnahme
§ 5 Abs. 2 Nr. 2c	... mit Anlagen, Einrichtungen und sonstigen Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen	anpassungsbezogene Maßnahmen, z. B. System von Kaltluftschneisen
§ 5 Abs. 2 Nr. 5	Grünflächen	Verbesserung des Kleinklimas
§ 5 Abs. 2 Nr. 7*	... sowie die Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind	Hochwasserschutz
§ 5 Abs. 2 Nr. 9	Flächen für a) die Landwirtschaft und b) Wald	Flächenfreihaltung, dient gleichzeitig der Anpassung
§ 5 Abs. 2 Nr. 10	Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft	s.o.
§ 9 Abs. 1 Nrn. 1 und 2 i.V.m. BauNVO	(Nr. 1) die Art und das Maß der baulichen Nutzung; (Nr. 2) die Bauweise, die überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen	Baugebiete der BauNVO, anpassungsgerechte Gestaltung der Grundstücke
§ 9 Abs. 1 Nr. 3	für die Größe, Breite und Tiefe der Baugrundstücke Mindestmaße und aus Gründen des sparsamen Umgangs mit Grund und Boden für Wohnbaugrundstücke auch Höchstmaße	Freihaltung von Flächen, z.B. Versickerung; Verbindung mit § 1 a Abs. 2 BauGB
§ 9 Abs. 1 Nr. 10	Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihre Nutzung;	Nicht nur Freihaltung einer Fläche sondern Möglichkeit der Festlegung einer an erwartete Naturphänomene angepassten Nutzung
§ 9 Abs. 1 Nr. 15	die öffentlichen und privaten Grünflächen	Flächenfreihaltung
§ 9 Abs. 1 Nr. 16	..., für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses	Hochwasserschutz
§ 9 Abs. 1 Nr. 18	a) die Flächen für die Landwirtschaft und b) Wald	Flächenfreihaltung
§ 9 Abs. 1 Nr. 20	... die Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft	Flächenfreihaltung
§ 9 Abs. 1 Nr. 25	... für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen [...] a) das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen, b) Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern;	Gestalterische Maßnahmen, z. B. Fassaden- oder Dachbegrünung
* nachrichtliche Übernahme der festgesetzten Überschwemmungsgebiete und Vermerk der noch nicht festgesetzten Überschwemmungsgebiete sowie der als Risikogebiete bestimmten Gebiete nach dem WHG gem. §§ 5 Abs. 4 a und § 9 Abs. 6 a BauGB		

## Anpassung durch Verfahren: Strategische Umweltprüfung (SUP) und Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

Besonderes Potenzial zur Anpassung an den Klimawandel bieten auch verfahrensrechtliche Elemente wie die SUP und die UVP. So können im Rahmen der SUP die Auswirkungen des Klimawandels auf den Plan und dessen Widerstandsfähigkeit gegenüber den Phänomenen des Klimawandels erfasst und bewertet werden. Besonders der integrierte Ansatz der Umweltprüfungen ist geeignet, die Veränderungen der Umweltbedingungen in Planungsverfahren einzubeziehen.

Die Unsicherheiten, mit denen die Planungsentscheidung behaftet ist, lassen die Erfassung und Zusammenstellung des vorhandenen Wissens in Form von zyklisch zu überarbeitenden Datengrundlagen nötig erscheinen. Ein Monitoring, das mit der SUP einhergeht (§ 14m UVPG), ist besonders geeignet, auf beobachtete Veränderungen zu reagieren.

Mit Blick auf das Potenzial verfahrensrechtlicher Regelungen ist es konsequent, dass für die UVP die Einbeziehung der Auswirkungen des Klimawandels auf ein Projekt und dessen Anpassungsfähigkeit in das Prüfprogramm diskutiert werden (Anhang III, Nr. 1.g des UVP-Richtlinien-Entwurfes vom 26.10.2012).

Autor und Autorin:  
Martin Wickel und Nelly Morgenstern,  
HafenCity Universität Hamburg



## KLIMZUG-NORD KURS:

- Das rechtliche Instrumentarium ist im Wesentlichen bereits vorhanden. Die Probleme liegen überwiegend in der praktischen Anwendung; hier ist die Kenntnis über die Notwendigkeit und Möglichkeit der Anpassung noch nicht weit genug verbreitet.
- Die ausdrückliche Nennung der Anpassung an den Klimawandel als Belang, der in Entscheidungen einzubeziehen ist, kann zur Sensibilisierung beitragen. Dies bedeutet eine Betonung und Stärkung in der Abwägung, dem zentralen Element jeder planerischen Entscheidung.
- Es bestehen aber auch noch Möglichkeiten der Optimierung des Instrumentariums, wie etwa im Bereich der Umweltprüfungen oder im Naturschutzrecht.



## 4.4 Ökonomische Instrumente

**Um eine Anpassung der Metropolregion Hamburg (MRH) an die Folgen des Klimawandels zu unterstützen, müssen neben der Erforschung von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen auch Strategien und Instrumente entwickelt werden, die die Umsetzung der Maßnahmen fördern. In diesem Kapitel werden Handlungsempfehlungen für den Einsatz ökonomischer Instrumente zur Förderung der Klimaanpassung gegeben. Diese basieren auf einer Auswertung der derzeitigen Nutzung ökonomischer Instrumente in der MRH und der gegenwärtigen Fachdiskussion.**

### Ökonomische Instrumente

Grundsätzlich wird mit ökonomischen Instrumenten versucht, durch einen spürbaren positiven oder negativen finanziellen Anreiz das Handeln der Akteure zielgerichtet zu beeinflussen [s. z.B. 1, 2]. Einen positiven finanziellen Anreiz stellen z.B. Barsubventionen dar, die im Rahmen eines Förderprogrammes für die Durchführung einer bestimmten Maßnahme oder die Erreichung eines Zieles vergeben werden. Ein negativer finanzieller Anreiz ist z.B. eine Gebühr für die Entnahme von Grundwasser. Ökonomische Instrumente können daher auch dazu genutzt werden, Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu fördern. Im Unterschied zu den formellen Instrumenten stellen es ökonomische Instrumente den Akteuren aber frei, ob, wann und wie sie handeln wollen.

Ökonomische Instrumente können, basierend auf dem Kostenträger, in zwei Gruppen unterteilt werden [s. z.B. 2]: Bei ökonomischen Instrumenten, die auf dem „Gemeinlastprinzip“ beruhen, wird die Finanzierung des Instruments durch die Allgemeinheit bzw. die Steuerzahler übernommen. Bei solchen, die auf dem „Verursacherprinzip“ beruhen, kommt hingegen der Verursacher des Problems bzw. der von dem Instrument betroffene Akteur für die Kosten auf.

Ökonomische Instrumente werden in den meisten Fällen von staatlicher Seite gesteuert oder angeboten. Sie eignen sich besonders dann, wenn keine einheitliche, flächendeckende oder schnelle Anpassung an die Folgen des Klimawandels notwendig ist. Obwohl ökonomische Instrumente vielfältig eingesetzt werden können, sollte ihre Auswahl bzw. Ausgestaltung aber immer von der individuellen Situation und Zielstellung abhängig gemacht werden. Eine Übersicht über (ausgewählte) ökonomische Instrumente, den jeweiligen Kostenträger sowie ihre Einsatzmöglichkeiten gibt die Tabelle 4.4.1. Einige ökonomische Instrumente, insbesondere Abgaben und handelbare Zertifikate bzw. Lizenzen, können außerdem einen dynamischen Anreiz für eine anhaltende Verbesserung geben.

Beispiele für ökonomische Instrumente, die zum Teil bereits genutzt werden, sind Gebühren und handelbare Lizenzen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs bei Grundwasserknappeit. Auch eine Flächennutzungssteuer [s. z.B. 3], deren Höhe von der Art und Intensität der Nutzung einer Fläche abhängig ist, könnte eingesetzt werden, um Anreize für die Anpassung zu setzen, indem z.B. der Steuersatz vom Versiegelungsgrad abhängig gemacht wird.

### Gegenwärtige Nutzung ökonomischer Instrumente zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel in der Metropolregion Hamburg

Im Rahmen von KLIMZUG-NORD wurde eine Befragung in der MRH durchgeführt, an der sich 80 Akteure aus der öffentlichen Verwaltung, der Wirtschaft und dem Verbandswesen beteiligt haben, was rund 25 % der Befragten entspricht. Danach halten ungefähr drei Viertel der Akteure ökonomische Instrumente für ein sinnvolles Mittel zur Förderung der Anpassung. Genannte Gründe hierfür waren u.a., dass die für die Anpassung notwendigen Investitionen häufig nicht alleine finanziert werden können und dass Bewusstseinsbildung ohne weitere (finanzielle) Anreize nicht ausreichend ist. Genutzt werden ökonomische Instrumente bisher jedoch nur von ca. einem Drittel dieser Akteure. Einige ökonomische Instrumente werden bevorzugt eingesetzt. Zu diesen zählen neben öffentlichen Investitionen vor allem Barsubventionen (s. Abb. 4.4.1). Als Hemmnisse für die umfassendere Einführung ökonomischer Instrumente lassen sich folgende Punkte benennen: Unklare Zuständigkeiten (welche Verwaltungsebene und/oder welcher Fachbereich ist zuständig?), fehlende Finanzierungsmöglichkeiten, mangelndes Risikobewusstsein, eine nicht ausreichende Wissens- bzw. Datenlage zu den Folgen des Klimawandels, die Befürchtung geringer Akzeptanz durch die Öffentlichkeit und Wissensdefizite bezüglich der ökonomischen Instrumente selbst.

### Handlungsempfehlungen

Damit ökonomische Instrumente in der MRH (noch) stärker für die Förderung der Anpassung an den Klimawandel genutzt werden können, sollte versucht werden, die oben genannten Hemmnisse abzubauen:

Unklare Zuständigkeiten könnten vermieden werden, wenn eine koordinierende Stelle geschaffen wird, wie dies im Bereich des Klimaschutzes bereits immer häufiger der Fall ist. Auch wäre eine Verbindung dieser beiden Bereiche denkbar. Es ist allerdings zu überlegen, auf welcher Verwaltungsebene eine solche Stelle angesiedelt sein sollte. Hierdurch könnten z.B. Förderbedarfe besser aufgedeckt und die Verwaltung bzw. die Finanzierung von Förderprogrammen erleichtert werden. Auch könnte so einfacher festgestellt werden, ob bereits auf einer anderen Ebene oder in einem anderen Fachbereich ein entsprechendes ökonomisches Instrument angeboten wird.

Bezüglich der fehlenden Finanzierungsmöglichkeiten, vor allem für solche ökonomischen Instrumente, die auf dem Gemeinlastprinzip beruhen, sollte geprüft werden, ob

Tab. 4.4.1: Übersicht über verschiedene ökonomische Instrumente (Auswahl), ihre Unterteilung hinsichtlich der Kostenträger und Einsatzmöglichkeiten (eigene Darstellung)

Ökonomische Instrumente (Auswahl)		
Instrumententyp	Kostenträger	Einsatzmöglichkeiten
Barsubventionen	Gemeinlastprinzip	Nutzbar im Rahmen von Programmen zur Förderung verschiedenster Anpassungsmaßnahmen, häufig für bauliche Maßnahmen
Zinsvergünstigte Kredite		s.o.
Steuererleichterungen		s.o.
Fonds		Katastrophenhilfe, verschiedene Möglichkeiten der Unterstützung, z.B. durch Barsubventionen
Steuern	Verursacherprinzip	Reduzierung/Steuerung des Ressourcen- und Flächenverbrauchs
Gebühren/Beiträge		Reduzierung der Grundwasserentnahme (z.B. Grundwasserentnahmegebühren)
(Handelbare) Zertifikate/Lizenzen		Reduzierung des Ressourcen- und Flächenverbrauchs
(Zweckgebundene) Abgaben		(Unterstützung der) Finanzierung flächendeckend durchzuführender Anpassungsmaßnahmen

Förderprogramme der Landes- oder Bundesebene für die Finanzierung herangezogen werden können. Auch könnten ggf. bereits existierende Instrumente genutzt werden, um das Anpassungsziel zu erreichen.

Ein mangelndes Risikobewusstsein der Bevölkerung und auch der verantwortlichen Akteure sollte durch Informationsveranstaltungen und Bürgerbeteiligung verringert werden. Die dafür notwendige Wissens- bzw. Datenlage zu den Folgen des Klimawandels sowie zur Effektivität und den Kosten der einzelnen Maßnahmen und Instrumente sollte auch nach dem Abschluss von KLIMZUG-NORD weiter ausgebaut und entsprechend vermittelt werden. Durch ein adäquates Risikobewusstsein und eine gute Datenlage könnte auch die Akzeptanz der Maßnahmen und Instrumente bzw. ihrer Kosten in der Öffentlichkeit erhöht werden. Beim Einsatz ökonomischer Instrumente ist es grundsätzlich notwendig, dass eine detaillierte Information erfolgt. Neben ausführlichem Informationsmaterial bieten sich vor allem auf die jeweilige Zielgruppe zugeschnittene Informationsveranstaltungen an, die sich auch mit der Frage beschäftigen sollten, welcher Instrumententyp (formelle, ökonomische oder informelle Instrumente) am besten geeignet ist, um das Anpassungsziel unter den jeweiligen Gegebenheiten zu erreichen. Oft kann es sinnvoll sein, verschiedene formelle, ökonomische und/oder informelle Instrumente zu kombinieren, um durch einen Instrumenten-Mix, z.B. zinsvergünstigte

Kredite und Informationskampagnen, das Anpassungsziel am effektivsten zu erreichen. Um die Wirksamkeit der ökonomischen Instrumente zu erhöhen, sollten über den Abbau der Hemmnisse hinaus bei der Auswahl eines Instruments auch folgende Punkte berücksichtigt werden: Effizienz und Kosten des Instrumentes, Dringlichkeit der Anpassungsmaßnahme, Wechselwirkungen mit anderen Bereichen sowie soziale Gerechtigkeit, d.h. inwieweit eine Gruppe übermäßig von den finanziellen Anreizen profitiert oder übermäßig belastet wird.

Autorin und Autor:  
Sabine Schempp und Jürgen Oßenbrügge,  
Universität Hamburg

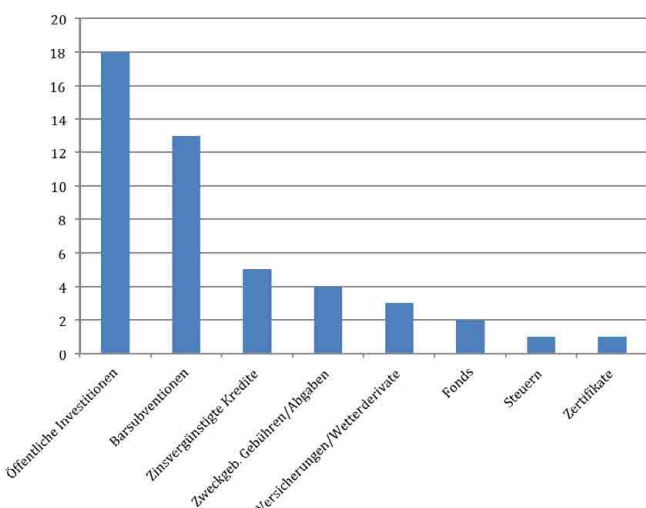


Abb. 4.4.1: In der MRH für die Förderung der Anpassung an den Klimawandel eingesetzte ökonomische Instrumente (eigene Darstellung)



## KLIMZUG-NORD KURS:

- Breitere Informationen über Typen und Einsatzformen ökonomischer Instrumente in der Klimaanpassungspolitik schaffen und bereitstellen.
- Abbau von Hemmnissen, die den Einsatz ökonomischer Instrumente für die Förderung der Anpassung der MRH an den Klimawandel einschränken.
- Nutzung ökonomischer Instrumente im Rahmen eines Instrumenten-Mix: Besonders dann geeignet, wenn gesetzliche Regelungen nicht möglich/erwünscht sind oder formelle und/oder informelle Instrumente alleine nicht den gewünschten Effekt erzielen.
- Klärung der Zuständigkeiten: Erlauben die rechtlichen Rahmenbedingungen die Einführung ökonomischer Instrumente? Welche politische Ebene und welches Ressort sind zuständig?
- Erweiterung und/oder Anpassung bereits bestehender ökonomischer Instrumente, um den Einstieg in die Thematik zu unterstützen, den Verwaltungsaufwand zu senken und unter Umständen auch die Finanzierung zu erleichtern.



## EXKURS:

# Modellgebiet Elmshorn und Umland – neue Beteiligungsformen als Anstoß für neue Kooperationen

Schon heute sind die Stadt Elmshorn und die umliegenden Gemeinden entlang des Flusses Krückau vom Hochwasser bedroht. Zukünftig ist mit einer Häufung der Hochwassersituationen in Kombination mit insgesamt höheren Wasserständen zu rechnen. Integrierte Anpassungsmaßnahmen können die Risiken für Bevölkerung und Sachwerte verringern. Um das Bewusstsein bei der Stadt und den Gemeinden im Einzugsgebiet der Krückau für eine notwendige Zusammenarbeit zu schaffen, helfen Beteiligungsformen. Daher hat KLIMZUG-NORD eine Lern- und Aktionsallianz (LAA) für die Fachöffentlichkeit durchgeführt und die breite Öffentlichkeit mittels einer Onlinediskussion (s. Kap. 4.1) einbezogen.

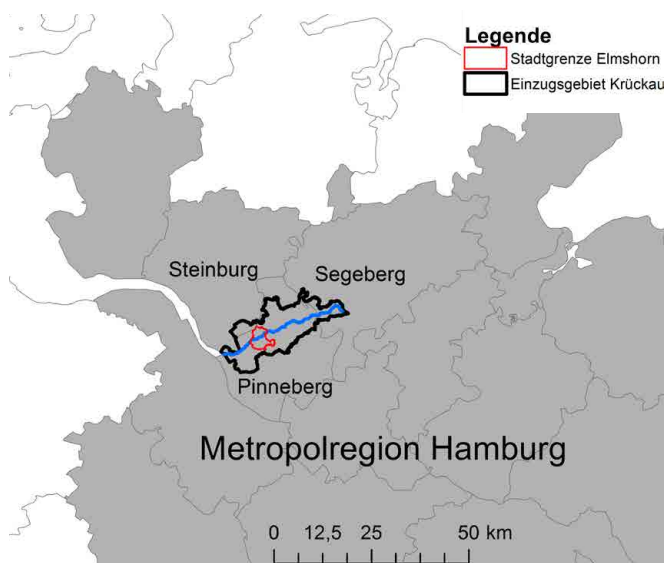


Abb. E.1.1: Einzugsgebiet der Krückau (E. Nehlsen)



Abb. E.1.2: Straßenzug in Elmshorn nach einem Starkregenereignis (Stadtentwässerung Elmshorn)

## Zusammenarbeiten...

Da Klimafolgen weder an naturräumlichen oder administrativen Grenzen haltmachen noch nur einzelne Sektoren betreffen, bedarf es der Erstellung von Strategien zur Klimaanpassung, die die gesamte Problemlage abdecken und eine Vielzahl von Akteuren einbeziehen. Zunächst muss jedoch bei den potenziell Betroffenen (Personen, Institutionen, Verbänden, Unternehmen etc.) das Bewusstsein für die Gefährdungen sowie Risiken und letztendlich die Notwendigkeit eines gemeinsamen Handelns geschaffen werden. Beteiligung ist ein Schlüssel zur Erhöhung des Problembewusstseins, da Betroffene über die Hintergründe und mögliche Folgen und Chancen informiert werden. Darüber hinaus steigern Beteiligungsformen für die Fachöffentlichkeit als Teilnehmer die Qualität der daraus hervorgehenden Konzepte zur Bearbeitung der Problemstellung deutlich, wenn deren Wissen mit einbezogen wird. Zudem fördern Formen, die die Bevölkerung als Teilnehmer ansprechen, die öffentliche Akzeptanz von politischen Entscheidungen, die sich auf Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel beziehen. KLIMZUG-NORD hat im Modellgebiet Elmshorn und Umland über verschiedene Formen versucht, das notwendige Bewusstsein zu wecken und zu schärfen.

## ...wenn das Wasser von allen Seiten kommt!

Die auch zukünftig wachsende Stadt Elmshorn ist gekennzeichnet durch eine weiterhin sehr hohe Bebauungsdichte, die unmittelbare Lage an der Krückau, das flache Gelände sowie den Einfluss der Elbe. Daher müssen in der Stadtentwicklung sowohl der Hochwasserschutz entlang der Krückau, als auch derzeit schon bestehende Entwässerungsprobleme im Stadtgebiet berücksichtigt werden.

Es ist zu erwarten, dass der Klimawandel diese Probleme verschärfen und mögliche Lösungen erschweren wird. Neben dem Anstieg der mittleren Temperatur wird eine Zunahme der Niederschlagsmengen in Frühling, Herbst und Winter sowie der Intensität der Niederschläge insgesamt erwartet. Bei intensiven Regenereignissen kann es zu einem Rückstau in der Kanalisation und damit zu lokalen Überflutungen im Stadtgebiet Elmshorns kommen. Diese können umso stärker ausfallen, wenn gleichzeitig ein hoher Wasserstand in der Krückau ansteht. Dieser Umstand wird durch einen steigenden Meeresspiegel und möglicherweise häufiger auftretende Sturmfluten begünstigt. Beides hat zur Folge, dass das Krückausperrwerk an der Mündung häufiger und über einen längeren Zeitraum

geschlossen werden muss. Eine längere Schließung führt zu einem größeren Rückstau der Krückau, was wiederum zu Überschwemmungen der niedrig gelegenen Bereiche entlang des Flusslaufs führen kann. Damit steht Elmshorn vor der Herausforderung, seine zukünftige Stadtentwicklung klimaangepasst zu gestalten. Um die Gefahren für Personen und Sachwerte möglichst zu minimieren, ist dem Wasser genügend Platz einzuräumen.

### Eine gemeinsame Lösung ist gefragt...

Für die Stadt Elmshorn würde eine Lösung der Wasserproblematik im Zusammenhang mit der Stadtentwicklung allein für das Stadtgebiet zu kurz greifen. Mit der Stadt-Umland-Kooperation Elmshorn gibt es bereits Strukturen der Zusammenarbeit. Jedoch müsste zur Erstellung eines Anpassungskonzeptes ein anderer Zuschnitt gewählt werden, der alle alle Gemeinden und Wasserbehörden des Einzugsgebiets der Krückau umfasst. Dies ist insofern von großer Bedeutung, als dass eine umfassende Lösung der entstandenen Probleme am besten übergreifend gefunden werden kann. Ein Instrument zur thematischen Zusammenarbeit von Stadt und Gemeinden ist das Aufstellen eines gemeinsamen Leitbildes zur Klimaanpassung (s. Kap. 5). Doch bevor ein Leitbild für Elmshorn und die betroffenen Gemeinden entwickelt werden kann, ist es zunächst notwendig, die relevanten Akteure für die Thematik und die möglichen Probleme zu sensibilisieren und eine Diskussion über Klimafolgen und -anpassung anzustoßen. Diese Diskussion soll die Notwendigkeit einer gemeinsamen Lösungsfindung verdeutlichen.

### ... aber zuerst muss das Problembewusstsein da sein!

KLIMZUG-NORD hat im Modellgebiet unter anderem eine LAA durchgeführt. Dieses Format kann einen Beitrag zur Entwicklung von Leitbildern zur Klimaanpassung leisten, indem es für ein bestimmtes Thema Wissen vermittelt und die relevanten Akteure in diesem Rahmen darüber diskutieren. Dabei stehen die Etablierung einer gemeinsamen Problemdefinition und die Erarbeitung eines gemeinsamen Wissensstands im Mittelpunkt – das heißt Wissenschaft und Praxis lernen gleichermaßen voneinander. In Elmshorn bestand die LAA aus fünf Veranstaltungen für einen festgelegten Teilnehmerkreis aus der Fachöffentlichkeit. In der ersten Veranstaltung wurde erläutert, wie der Klimawandel entsteht, wie er sich voraussichtlich auf Elmshorn und sein Umland auswirken wird, welche Stadtentwicklungstrends sich in Zukunft abzeichnen und welche Herausforderungen sich daraus ergeben. In der zweiten und dritten Veranstaltung wurden Anpassungsmaßnahmen für Binnenhochwasser und für lokale Überflutungen im Stadtgebiet analysiert und diskutiert. Mögliche Instrumente zur Zusammenarbeit über Verwaltungsgrenzen hinweg waren das Thema der vierten Veranstaltung. Zuletzt wurde gezeigt, wie andere Städte das Thema über die Entwicklung eines Leitbildes angegangen sind. Alle Themen wurden in den Veranstaltungen auch mit den Praktikerinnen und Praktikern diskutiert, um auszuloten, was für den Raum Elmshorn und Umland denkbar bzw. möglich ist und was geringe Chancen auf Erfolg hat.

Parallel dazu konnte die Öffentlichkeit über die zweieinhalbwöchige Onlinediskussion [www.elmshorn-klimaanpassung.de](http://www.elmshorn-klimaanpassung.de) bei der Erörterung potenzieller Anpassungsmaßnahmen mitreden. Die Ergebnisse wurden in die LAA-Veranstaltungen zurückgespiegelt und bei weiteren Überlegungen berücksichtigt.

### Und dann?

In der LAA saßen erstmals die Vertreterinnen und Vertreter der betroffenen Gemeinden und relevanten Fachrichtungen an einem Tisch und haben gemeinsam zum Thema Klimaanpassung diskutiert. Dies wurde von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern positiv bewertet. Abschließend wurde erörtert, was notwendig ist, um auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse einen Prozess zur Entwicklung eines Leitbildes zur Klimaanpassung anzustoßen und umzusetzen. Für die Fachöffentlichkeit ist ein Leitbild für das gesamte Einzugsgebiet durchaus vorstellbar – es sollte jedoch alle für den Klimawandel relevanten Themen berücksichtigen und Vorteile für alle beteiligten Gemeinden aufzeigen. Zum Anstoß eines Leitbildprozesses sehen die Akteure allerdings die Notwendigkeit eines „Motors“ in Form einer Person oder Institution. Dies kann im positiven Sinn die Politik sein, die dieses Thema auf die Agenda setzt. Im negativen Sinn könnte ein Extremereignis die Notwendigkeit zum Handeln aufzeigen, ein Problembewusstsein in der Bevölkerung erzeugen und gleichzeitig den politischen Willen in diese Richtung lenken. Allerdings sollte im Sinne der Vorsorge bereits jetzt ein Prozess angestoßen werden, damit es nicht erst zum Ernstfall kommen muss. Darüber hinaus wurde der Wunsch nach einer übergeordneten Institution, die einen solchen Prozess koordiniert, sowie nach einer finanziellen Unterstützung in Form von Forschungsgeldern geäußert.

Autorin und Autor:

Nancy Kretschmann, HafenCity Universität und  
Edgar Nehlsen, TU Hamburg-Harburg



### KLIMZUG-NORD KURS:

- Die Reduzierung städtischer Binnenhochwassergefahren erfordert Kooperationen auf Flusseinzugsgebietsebene.
- Um ein gemeinsames Problembewusstsein bei den verschiedenen Akteuren zu erzeugen, sind partizipative Verfahren wie LAAs notwendig.
- Um einen gemeinsamen Wissensstand zu entwickeln, sollte in partizipativen Verfahren die Forschung eingebunden werden.
- Die Verstetigung der Zusammenarbeit auf Einzugsgebietsebene erfordert über das Sensibilisieren der Akteure hinaus eine treibende Kraft und definierte Zuständigkeiten.









**Silke Faber,**  
**Leiterin des Amtes für Stadtentwicklung**  
**der Stadt Elmshorn**

**1. Welche Relevanz hat das Thema Anpassung an den Klimawandel für Ihre tägliche Arbeit?**

Eine hohe Relevanz. Elmshorn wird in den nächsten zehn Jahren in einem einmaligen Prozess die Innenstadt entwickeln, um die Stadt zukunftsfähig zu machen. Die Lage an der Krückau bedingt, dass die Anpassung an den Klimawandel mit dem Schwerpunkt Hochwasserschutz dabei ein zentrales Thema darstellt.

**2. Wie sind Sie mit dem Verbundprojekt KLIMZUG-NORD in Berührung gekommen und mit welchen Projektthemen hatten Sie Kontakt?**

Wir sind über ein vorhergehendes Projekt zum Sedimentmanagement der Krückau mit der TUHH bzw. TuTech zu KLIMZUG-NORD gekommen. Themenschwerpunkte waren *Ästuarmanagement* und *Integrierte Stadt- und Raumentwicklung*.

**3. Wurden in Kooperation mit den Projektpartnern von KLIMZUG-NORD Maßnahmen konkret umgesetzt oder werden in Zukunft Projekte realisiert?**

Für eine kurzfristige Umsetzung sind die im Ergebnis vorgeschlagenen Maßnahmen zu komplex und langfristig. Es wurden jedoch bereits wertvolle Diskussionen angestoßen, die im weiteren Prozess zur Planung und Umsetzung konkreter Projekte führen können.

**4. In welcher Form hat das Projekt Ihre eigene Arbeit beeinflusst?**

Ich selbst wurde für die Probleme und Lösungen zur Klimaanpassung stärker sensibilisiert. Ich prüfe das Thema jetzt immer gedanklich mit ab, auch wenn wir an Planungen gehen, die auf den ersten Blick nichts mit Klimaanpassung zu tun haben.

**5. Glauben Sie, dass sich die Ergebnisse des Projekts normativ oder institutionell auf die politischen oder verwaltungstechnischen Abläufe ihrer jeweiligen Region, Stadt oder Gemeinde auswirken?**

Ich gehe davon aus, dass wir das Thema Klimaanpassung weiter verfolgen werden. Dabei werden wir um die Mitwirkung der betroffenen Umlandgemeinden, des Kreises und die Unterstützung des Landes werben. Ohne diese Partner werden wir wenig bewegen können.

**6. Wie bewerten Sie aus Ihrer persönlichen Sicht den Erfolg des Projektes?**

Wir haben mit dem Projekt sehr viel Klarheit über die Situation und Lösungsansätze erhalten. Das hätten wir aus eigener Kraft nicht geschafft.

**7. Was möchten Sie den Kursbuchleserinnen und -lesern sonst noch ans Herz legen?**

Es ist mir wichtig zu betonen, dass wir unbedingt über Institutionsgrenzen und kurzfristige Probleme hinwegdenken müssen, wenn wir diese große Zukunftsaufgabe lösen wollen. Wenn wir uns dieser Aufgabe jetzt nicht annehmen wollen, wird uns eines Tages nichts anderes überbleiben als es zu müssen.



# STADT: Kühler Kopf, trockene Füße – Leben und Arbeiten in klimaangepassten Städten







Das Kapitel Stadt beschreibt Maßnahmen zur Anpassung an Folgen des Klimawandels, die sich auf die unterschiedlich ausgeprägten Siedlungen in der Metropolregion Hamburg beziehen. Ihren dominierenden Siedlungsschwerpunkt bildet die Stadt Hamburg, an die ein verdichteter suburban geprägter Stadt-Umland-Bereich anschließt. Mit zunehmender Entfernung von Hamburg sinkt die Siedlungsdichte. Hier dominieren ländlich geprägte Siedlungen sowie einzelne regionale Siedlungsschwerpunkte, wie die Städte Lüneburg, Lübeck, Ludwigslust oder Cuxhaven. Das Kapitel fokussiert auf die Anpassung an Niederschlagsveränderungen und steigende Temperaturen. Den Schutz von Siedlungen vor der Gefährdung durch den Meeresspiegelanstieg, ebenfalls relevant für die Metropolregion Hamburg, deckt das Kapitel Fluss ab.

Der Klimawandel verändert die Niederschlagsverteilung und -intensität. Städte betrifft dies aufgrund ihres hohen Versiegelungsgrades in vielfältiger Weise. Nur ein kleiner Anteil der Niederschläge verdunstet oder versickert. Daher muss die Kanalisation einen großen Teil des Wassers abführen. In der Folge von länger anhaltenden Niederschlägen und bei Starkregenereignissen kann sie an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen und überlaufen. Darüber hinaus steigt die Gefahr, dass vermehrt Binnenhochwasser auftreten. Neben der Wasserwirtschaft betreffen die Überflutungen auch Gebäude und Infrastrukturen. Schäden entstehen dabei sowohl an den Gebäuden selbst als auch am Inventar. Wenn das Hochwasser Straßen und Verkehrswege überflutet, beeinträchtigt dies Mobilität und Transport.



Die Wirkungen des allgemeinen Temperaturanstiegs verstärken die im Vergleich zum Umland zeitweise höheren Temperaturen in städtischen Bereichen. Das Phänomen wird auch als städtische Wärmeinsel bezeichnet. Damit nimmt zukünftig die Häufigkeit von Tropennächten und Hitzetagen zu. Häufigere und längere Hitzeperioden beeinträchtigen damit zunehmend die Lebensqualität und die Arbeitsbedingungen sowohl in Gebäuden als auch im Außenraum. Dies betrifft Ältere und Kranke sowie Kleinkinder in einem besonderen Maße. Eine massive Bauweise beeinflusst aufgrund der höheren Speichermasse die Hitzeentwicklung innerhalb von Gebäuden positiv. Auch hier können jedoch lange Hitzeperioden den Nutzerkomfort erheblich verschlechtern. Betroffen sind davon vor allem Verwaltungsgebäude. Darüber hinaus beeinflussen die höheren Temperaturen und die veränderten Niederschläge das Artenspektrum von Flora und Fauna sowie die räumliche Verteilung der Biotope.

Neben den klimatischen Veränderungen beeinflussen auch städtebauliche Merkmale die Auswirkungen des Klimawandels auf Städte und Gemeinden. Wenn mehr Flächen versiegelt werden, etwa für den Bau neuer Verkehrswege oder Wohngebiete, muss die Siedlungsentwässerung zusätzliches Niederschlagswasser ableiten. Bei einem bereits ausgelasteten Entwässerungssystem kann dies die Überschwemmungsgefährdung für die unterschiedlichen Nutzungen erhöhen. Darüber hinaus verstärkt die Versiegelung den städtischen Wärmeinsel-Effekt. Aufgrund der flächenhaften Ausdehnung der Siedlungsfläche Hamburgs ist hier die Überwärmung stärker als in den anderen Städten und Gemeinden der Metropolregion. Auch die Bebauung attraktiver, aber oft hochwassergefährdeter Wasserlagen verstärkt die Gefährdung von Siedlungen durch die Folgen des Klimawandels.



Abb. 5.0.1: Hochwasser in der Hamburger Speicherstadt (J. Fröhlich)

## Mögliche Entwicklungspfade

Städte und Gemeinden können die Folgen des Klimawandels aktiv beeinflussen und sich an sie anpassen. Abhängig von sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen und dem Stellenwert, den eine Gesellschaft der Anpassung an die Folgen der klimatischen Veränderungen beimisst, sind dabei bis 2050 unterschiedliche Entwicklungspfade möglich. Diese beschreiben die drei Szenarien „*Rück- und Umbau in privater Verantwortung*“, „*Florierender Wirtschaftsstandort und Zunahme des Flächenbedarfs*“ sowie „*Kompakte Stadt als Zentrum für Innovationen im Bereich Umwelt*“.

Im Szenario „*Rück- und Umbau in privater Verantwortung*“ sind aufgrund sinkender wirtschaftlicher Aktivität und dem damit verbundenen Bevölkerungsrückgang öffentliche Mittel nur in einem geringen Maße verfügbar. Da eine verstärkte Suburbanisierung die Siedlungsentwicklung prägt, nimmt der Gebäudeleerstand in den innerstädtischen Stadtteilen zu und Grundstücke fallen zum Teil brach. Abrisse sind selten, sodass die bauliche Struktur weitestgehend erhalten bleibt. Bestehende Stadtviertel werden nur sehr kleinräumig und in Einzelfällen durch Nachverdichtung weiterentwickelt. Maßnahmen zur Klimaanpassung koordinieren die Kommunen kaum untereinander. Vielmehr warten sie die Folgen der klimatischen Veränderungen ab. Anpassungsmaßnahmen zum Hochwasser- und Überflutungsschutz betroffener Grundstücke oder zum Hitzeschutz setzen private Eigentümerinnen und Eigentümer vereinzelt in eigener Verantwortung um.

Im Szenario „*Florierender Wirtschaftsstandort und Zunahme des Flächenbedarfs*“ setzt die Stadt Hamburg auf eine Förderung der Entwicklung von Hafen und Industrie. Um den zunehmenden Bedarf nach Wohnraum aufgrund einer wachsenden Bevölkerung zu decken, werden Baulücken geschlossen sowie Blockinnenbereiche, Freiflächen und Kleingartenanlagen bebaut. Darüber hinaus werden auch neue Siedlungsgebiete an den Rändern der Siedlungen in der Metropolregion entwickelt. Umweltbelange haben eine niedrige Priorität. Die Kommunen verfolgen die Strategie, wichtige Infrastrukturen vor den Folgen des Klimawandels zu schützen. Neben Schutzmaßnahmen setzen private Grundstückseigentümerinnen und -eigentümer bei Neu- oder Umbaumaßnahmen auf eine passive Klimatisierung der Gebäude, eine hellere Dachfarbe zur Vermeidung der Aufheizung und auf die Versickerung und den Rückhalt von Niederschlagswasser auf dem Grundstück. Flächendeckend werden Anpassungsmaßnahmen in den Siedlungen der Metropolregion jedoch nicht umgesetzt.

Im Szenario „*Kompakte Stadt als Zentrum für Innovationen im Bereich Umwelt*“ wächst die Wirtschaft dank der Ansiedlung von Industrie und Dienstleistungen u.a. aus den Bereichen Umweltschutz und erneuerbare Energien. Damit einhergehend steigt die Bevölkerung. Durch gezielte Nachverdichtung und Innenentwicklung nimmt die Bebauungsdichte in den Innenstädten und entlang der Hauptverkehrsachsen zu. Die Aufstockung und der Umbau von Gebäuden verhindert jedoch eine weitere Versiegelung. Die Sensibilität für Umweltbelange ist hoch und die Kommunen verfolgen die Klimaanpassung strategisch mit einem breiten Mix an Anpassungsmaßnahmen sowohl im öffentlichen Raum als auch durch die Unterstützung von Maßnahmen auf privaten Grundstücken. Im öffentlichen



Abb. 5.0.2: „Leben mit Wasser“ im Wohnpark Trabrennbahn Hamburg Farmsen (L. Kunert)

Raum umfassen sie u.a. die temporäre Mitbenutzung von Straßen, Spiel- und Sportplätzen, Grünflächen sowie Stadtteilplätzen zum Rückhalt bzw. zur Versickerung von Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen, um gefährdete Gebäude oder Bereiche vor Überflutungen zu schützen. Niederschlagswasser wird grundsätzlich auf den Grundstücken, wo es anfällt, versickert, zurückgehalten, verdunstet oder genutzt. Zur Erhöhung der Albedo (Rückstrahlvermögen) werden vor allem helle Oberflächenmaterialien verwendet.

## Leitbild für eine klimaangepasste Entwicklung von Städten und Gemeinden

Welches Leitbild ist auf Grundlage der drei Szenarien für die Metropolregion Hamburg zu empfehlen? – Das Leitbild „Kühler Kopf, trockene Füße – Leben und Arbeiten in klimaangepassten Städten“ umreißt die Vorstellung, wie auch zukünftig lebenswerte Siedlungen in den Städten und Gemeinden der Metropolregion Hamburg aussehen könnten. Eine vorausschauende Siedlungsentwicklung trägt dazu bei, dass die Städte und Gemeinden mit höheren Temperaturen umgehen und ihre Folgen reduzieren können. Damit bleibt die Lebensqualität für die Bewohnerinnen und Bewohner auch zukünftig erhalten. Ein anderer Umgang mit dem Wasser, der sich an dem Konzept „Leben mit Wasser“ orientiert, schafft attraktive Siedlungsräume und reduziert die Gefahren des Klimawandels. Die folgenden „Leitlinien für eine klimaangepasste Entwicklung von Städten und Gemeinden in der Metropolregion Hamburg“ konkretisieren die Zukunftsvorstellung und strategischen Ansätze für die Entwicklung der Städte und Gemeinden. Dazu wird zwischen unterschiedlichen Handlungsebenen unterschieden, die von der Stadtregion bis zum Gebäude reichen:

- Auf der stadtreionalen Ebene empfiehlt KLIMZUG-NORD eine an punkt-axialen Konzepten bzw. der dezentralen Konzentration ausgerichtete Siedlungsentwicklung.
- Auf der gesamtstädtischen Ebene empfiehlt KLIMZUG-NORD die Entwicklung klimagerechter Siedlungs- und Freiraumstrukturen, die der Überwärmung der Städte mit Kaltluftschneisen entgegenwirken und die in überschwemmungsgefährdeten Bereichen zusätzliche Siedlungsentwicklung und Infrastrukturen vermeiden.

- Auf der Ebene des Quartiers empfiehlt KLIMZUG-NORD eine konsequente Integration von Niederschlagswasser und kühlenden Elementen.
- Auf der Ebene der einzelnen Gebäude empfiehlt KLIMZUG-NORD, Lösungen für eine passive Klimatisierung sowie bauliche Maßnahmen des Hochwasserschutzes zu integrieren.

Konkrete Maßnahmen zur Umsetzung des Mottos „Kühler Kopf, trockene Füße – Leben und Arbeiten in klimaangepassten Städten“ und der Leitlinien zeigen die folgenden Kapitel auf. Im Folgenden geht es darum,

- klimaangepasste siedlungsstrukturelle Leitbilder zu entwickeln und umzusetzen (5.1),
- stadtklimatische Aspekte zu berücksichtigen (5.2),
- Raum für natürliche dynamische Prozesse zu schaffen (5.3),
- dezentrale Regenwasserbewirtschaftung großflächig umzusetzen (5.4),
- Maßnahmen zum Schutz von Gebäuden vor Hochwasserschäden umzusetzen (5.5),
- passiv klimatisierte Gebäude zu planen und umzusetzen (5.6),
- klimaangepasste Reetdächer zu konstruieren (5.7) sowie
- Gebäude aufzustocken, um in wachsenden Städten möglichst wenige neue Siedlungsflächen in Anspruch zu nehmen (5.8).

*Autoren:*

*Jörg Knieling und Thomas Zimmermann,  
HafenCity Universität Hamburg*



## 5.1 Leitbilder für Siedlungsstrukturen im Klimawandel

Die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen gefährden die Funktionen von Siedlungen. Die Stadt- und Regionalplanung sollte sie daher zukünftig verstärkt berücksichtigen und dabei naturräumlichen Zusammenhängen mehr Beachtung schenken. Entsprechend gewinnen großräumige Konzepte für die Gestaltung von Stadtregionen an Bedeutung. Mit siedlungsstrukturellen Leitbildern verfügt die Stadt- und Regionalplanung bereits über ein Instrument, das es ermöglicht, Siedlungsstrukturen konzeptionell über administrative Grenzen hinweg zu denken. Inwieweit die bestehenden Leitbilder für die Klimaanpassung geeignet und welche Veränderungen gegebenenfalls erforderlich sind, thematisiert der folgende Beitrag.



Abb. 5.1.1: Glückstadt an der Elbe (Foto: www.mediaserver.hamburg.de)

### Warum regional planen?

Die Folgen des Klimawandels wirken sich sowohl auf Gebäude und Infrastrukturen als auch auf Freiflächen aus. Baulich-räumliche Veränderungen können die Auswirkungen des Klimawandels zusätzlich verstärken. Ursächlich für die lokal auftretenden Folgen in Form von Überschwemmungen oder Hitzeinseln sind auch Landnutzungen an anderer Stelle und in anderen administrativen Einheiten, sodass Klimaanpassung eine großräumige Betrachtungsweise erfordert (s. Kap. 7 Fluss). Daher können die lokal beobachtbaren Folgen meist nur in einem größeren räumlichen Planungskontext gelöst werden.

### Warum ein siedlungsstrukturelles Leitbild für die Klimaanpassung?

Raumplanung hat die Aufgabe, die siedlungsstrukturelle Entwicklung von Stadtregionen zu koordinieren. In vielen Fällen überschreitet sie dabei kommunale Grenzen. Dazu nutzt sie u.a. siedlungsstrukturelle Leitbilder. Diese beschreiben anschaulich den gewünschten Zustand für einen Planungsraum. Sie setzen Siedlungs- und Freiflächen zueinander in Beziehung. Inhaltlich bedienen siedlungsstrukturelle Leitbilder zwei Maßstabsebenen, die

gesamstädtische bzw. stadtreionale Ebene und die Quartiersebene. Für die Klimaanpassung sind sie ein geeignetes Instrument, weil sie Akteuren Orientierung für Entscheidungen unter unsicheren Rahmenbedingungen bieten, weil sie flexibel an geänderte Rahmenbedingungen angepasst werden können und weil ihr räumlicher Zuschnitt frei wählbar ist. Es gibt bereits diverse siedlungsstrukturelle Leitbilder, die jeweils unter den spezifischen Voraussetzungen eines Raumes entstanden sind. Allerdings thematisieren sie Aspekte der Klimaanpassung nicht explizit. Es stellt sich deshalb die Frage, ob bestehende siedlungsstrukturelle Leitbilder für die Bewältigung der neuen Herausforderungen geeignete Ansätze bieten. Dazu wurden Leitbilder der vier siedlungsstrukturellen Typen kompakte Stadt, punkt-axiales Modell, dezentrale Konzentration und Dezentralisierung (s. Abb. 5.1.2) unter diesem Blickwinkel analysiert.

### Was kennzeichnet klimaangepasste Siedlungsstrukturen?

Die folgende Bewertung greift auf das Konzept der Resilienz zurück. Es beschreibt mit Redundanz, Diversität, Expositionsverminderung und Stärke Merkmale von Systemen, die bei extremen Schocks sicherstellen, dass sie ihre Leistungsfähigkeit aufrechterhalten können. Für Siedlungsstrukturen beschreiben sie, wie diese ausgestaltet sein müssen, um mit den Auswirkungen des Klimawandels, wie extremen Wetterereignissen, umgehen zu können.

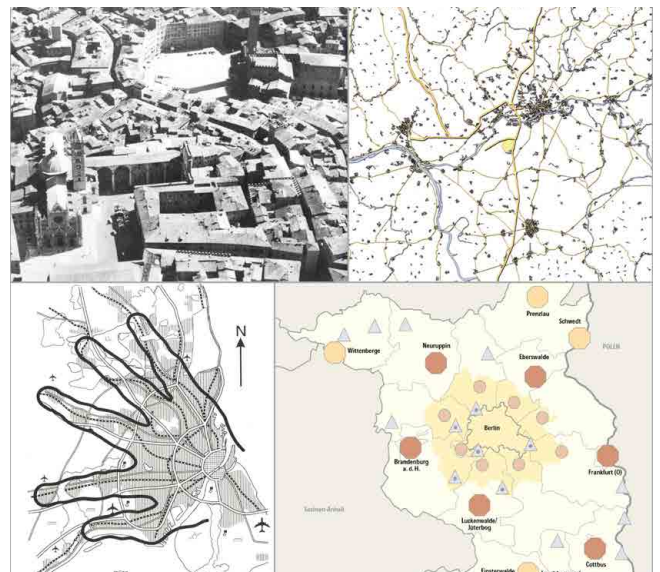


Abb. 5.1.2: Siedlungsstrukturelle Leitbilder (oben links: kompakte Stadt, unten links: punkt-axiales Modell, oben rechts: Dezentralisierung, unten rechts: dezentrale Konzentration) (Quellen: siehe Literaturverzeichnis)

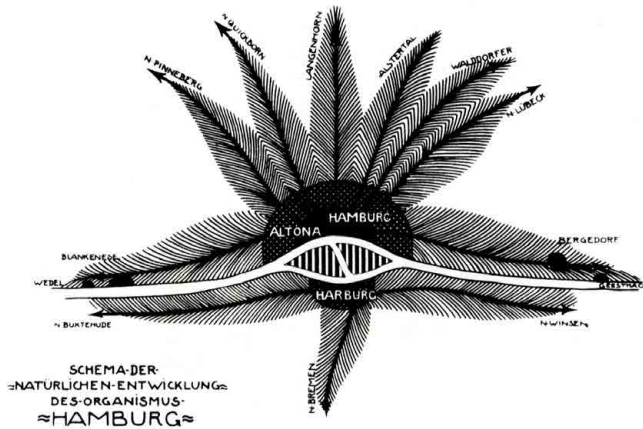


Abb. 5.1.3: Federplan für Hamburg von Fritz Schumacher, 1920 (BSU 2007: 30)

Ein Ziel aus regionaler Sicht ist hierbei, dass bei Extremereignissen, die einen Teil der Region betreffen, andere Siedlungen und Infrastrukturverbindungen ihre Funktionsfähigkeit behalten. Dazu sollten zentralörtliche Funktionen, wie Verwaltung, Versorgung, Infrastruktur und Bildung, dezentral verteilt werden. Um eine Verknüpfung der Siedlungskerne zu gewährleisten, sollten verbindende Infrastrukturen aus mehreren, sich ergänzenden Komponenten (Straße, Schiene) bestehen (Redundanz). Im Zusammenhang mit stadtklimatischen Aspekten, wie Luftqualität und Überwärmung, ist auf eine möglichst geringe Versiegelung und ein kleinteiliges Nebeneinander von Bau- und Freiflächen zu achten (Diversität). Große zusammenhängende Freiflächen sollten einen Austausch der kühlen Luft aus dem Umland in das Innere der Siedlungen sicherstellen. Damit einher geht die Begrenzung der Siedlungsentwicklung in den für das Stadtklima wichtigen Kaltluftentstehungs- und -transportgebieten. Sowohl auf der gesamtstädtischen/stadtregionalen als auch auf der Quartiersebene sollten von Extremereignissen, wie Sturmfluten und Überschwemmungen, betroffene Bereiche von Bebauung und Infrastrukturen freigehalten werden (Expositionsverminderung). Sind hier bereits bauliche Nutzungen vorhanden, können zwei Strategien verfolgt werden, um das Schadenspotenzial zu minimieren: Entweder kann ein Rückbau erfolgen oder ihre Anpassung angestrebt werden, um sie widerstandsfähig zu gestalten (Stärke).

### Was kann Schumachers Federplan zu einer klimaangepassten Siedlungsstruktur der Metropolregion Hamburg beitragen?

Das bestehende siedlungsstrukturelle Leitbild einer punkt-axialen Entwicklung Hamburgs und seines Umlandes basiert konzeptionell auf dem 1920 von Fritz Schumacher entwickelten Federplan (s. Abb. 5.1.3). Er sah eine Begrenzung der Siedlungsentwicklung auf das Stadtzentrum und kleinere Zentren entlang von Entwicklungsachsen („Federn“) vor. In den Achsenzwischenräumen sollten Freiräume für Ausgleich sorgen. Nachfolgende Planungen konkretisieren mit kompakten und nutzungsgemischten Strukturen die Ausgestaltung der Siedlungsachsen. Die Bereiche zwischen den einzelnen „Federn“ bilden Grünkeile und sind von Bebauung freizuhalten. Damit erfüllte der Federplan bereits wichtige Eigenschaften für eine klimaangepasste siedlungsstrukturelle Entwicklung. Allerdings folgte die räumliche Entwicklung

in den vergangenen 90 Jahren diesem Ansatz nicht konsequent, sodass auch die Grünkeile zunehmend bebaut wurden.

Um das planerische Leitbild im Hinblick auf Klimaanpassung weiterzuentwickeln, sind neben Aussagen zur Verortung und Ausgestaltung neuer Siedlungsbereiche auch Aussagen für die Bestandsentwicklung erforderlich, insbesondere für Bereiche, die durch Extremereignisse gefährdet sind. Entweder sollte Bebauung dort ausgeschlossen oder entsprechend des Konzeptes der Resilienz Rückbau oder Anpassung erfolgen. Neben der Gestaltung der Siedlungen ist ein besonderes Augenmerk auf die verbindende Infrastruktur zu legen, wo im besten Fall mehrere Optionen (Straße, Schiene) parallel vorhanden sein sollten, um bei Ausfall einer Komponente Verbindungen aufrechtzuerhalten. Zudem sollte stärker auf die konsequente Umsetzung des Leitbilds geachtet werden, um das „Zuwachsen“ der klimatisch bedeutenden, aber potenziell gefährdeten Freiräume zu vermeiden.

Autoren und Autorin:

Jörg Knieling, Nancy Kretschmann und

Thomas Zimmermann, HafenCity Universität Hamburg



### KLIMZUG-NORD KURS:

- Stadtregional planen! – Eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung erfordert administrative Grenzen überschreitende Konzepte.
- Federplan weiterentwickeln! – Das punkt-axiale Modell für die Siedlungsentwicklung sollte durch Aspekte der Klimaanpassung optimiert werden.
- Siedlungswachstum auf Achsen konzentrieren! – Nur eine konsequentere Umsetzung des Federplans gewährleistet eine klimaangepasste Siedlungsstruktur.
- Nutzungen in Quartieren mischen! – Nutzungsgemischte Quartiere sichern die Funktionsfähigkeit von Stadt und Region bei Ausfall einzelner Teilbereiche durch Extremereignisse.
- Gefährdete Bereiche möglichst meiden! – Bei der Siedlungsentwicklung in gefährdeten Bereichen sollten die Risiken des Klimawandels höher gewichtet werden.
- Mit dem Risiko umgehen! – Bei Entwicklungen in gefährdeten Bereichen ist dem Risiko durch angepasste Bauweisen Rechnung zu tragen.



## 5.2 Stadtklima

Das Stadtklima zeichnet sich durch gegenüber dem Umland niedrigere mittlere Windgeschwindigkeiten, erhöhte Böigkeit, oftmals erhöhte abendliche und nächtliche Temperaturen, einer Tendenz zu Niederschlagserhöhungen im Lee der Städte sowie erhöhte Luftbelastungen von primär emittierten Stoffen aus. Das Stadtklima wird durch Gebäude, versiegelte Oberflächen, Veränderungen der natürlichen Wassergegebenheiten und stadtspezifische Vegetation beeinflusst. Ein stadtspezifisches Klima ist in allen Städten vorhanden und umso ausgeprägter, je stärker der anthropogene Einfluss ist. Durch eine Stadtentwicklung, die gezielt zu einer Reduktion der Unterschiede zwischen Stadt und Umland führt, lassen sich die Stadteffekte reduzieren. Dadurch kann die Stadtentwicklung bis zu einem gewissen Grad den negativen Auswirkungen des Klimawandels wie einer Zunahme der Häufigkeit von Tropennächten und Tagen mit Starkniederschlägen entgegenwirken.

### Temperatur

Das Stadtklima von Hamburg wurde durch Auswertung von Messdaten des Deutschen Wetterdienstes untersucht. An einem Standort mit dichter Bebauung (Messstation St. Pauli) wurde eine deutliche nächtliche Temperaturüberhöhung gegenüber dem Umland (Messstationen Grambek und Ahrensburg) ermittelt. Die Erhöhung der Minimaltemperaturen monatlich im Monatsdurchschnitt in den Vegetationsmonaten lokal 2,5 K betragen, wird aber durch Parkanlagen erheblich reduziert (Messstation Wandsbek) [1]. Mithilfe eines statistischen Modellansatzes wurde gezeigt, dass die zu erwartenden Klimaänderungen die zusätzliche nächtliche Temperaturüberhöhung im Sommer nicht verändern [2].

Mithilfe von Simulationen des numerischen Modells METRAS wurden die mittleren abendlichen Sommertemperaturen im Großraum Hamburg für den Zeitraum 1971 - 2000 berechnet (s. Abb. 5.2.1a). Die niedrigsten Temperaturen werden in den höher gelegenen Harburger Bergen sowie in den ländlichen Gebieten im Osten von Hamburg simuliert. Im Elbtal, in den dicht bebauten Gebieten und insbesondere im Hafen sind die mittleren Temperaturen um bis zu 1,5 K höher als im ländlichen Umland. Über ein statistisch-dynamisches Verfahren wurde ermittelt, dass bei gleichbleibender Stadtstruktur im zukünftigen Klima das räumliche Muster der nächtlichen Temperaturüberhöhung nahezu gleich bleibt [3]. Werden dagegen Anpassungsmaßnahmen wie eine intensive Begrünung der Dächer und Hauswände (s. Abb. 5.2.2) sowie die Verwendung von reflektierenden bzw. helleren Materialien (Erhöhung der Albedo) für den Bau von Häusern und Straßen vorgenommen (Szenario 3 im Bericht zum Modellgebiet „Einzugsbereich der Wandse“), nimmt die mittlere abendliche Sommertemperatur großflächig ab (s. Abb. 5.2.1b). Diese Temperaturreduktion beträgt in der Nähe des Stadtzentrums im Sommermittel bis zu 0,2 K für das gegenwärtige Klima. Für das zukünftige Klima ist ein ähnlicher Effekt der Anpassungsmaßnahmen zu erwarten.

Werden nur die Bereiche betrachtet, in denen wenigstens 40 % auf 250 x 250 m<sup>2</sup> versiegelt sind, so treten dort höhere Temperaturen häufiger auf, als in Bereichen, in denen weniger als 10 % auf 250 x 250 m<sup>2</sup> versiegelt sind. Abbildung 5.2.3 zeigt eine Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen. Für das Szenario 3 ergibt sich eine deutliche Reduktion dieses Temperatureffekts versiegelter Flächen (s. Abb. 5.2.3).

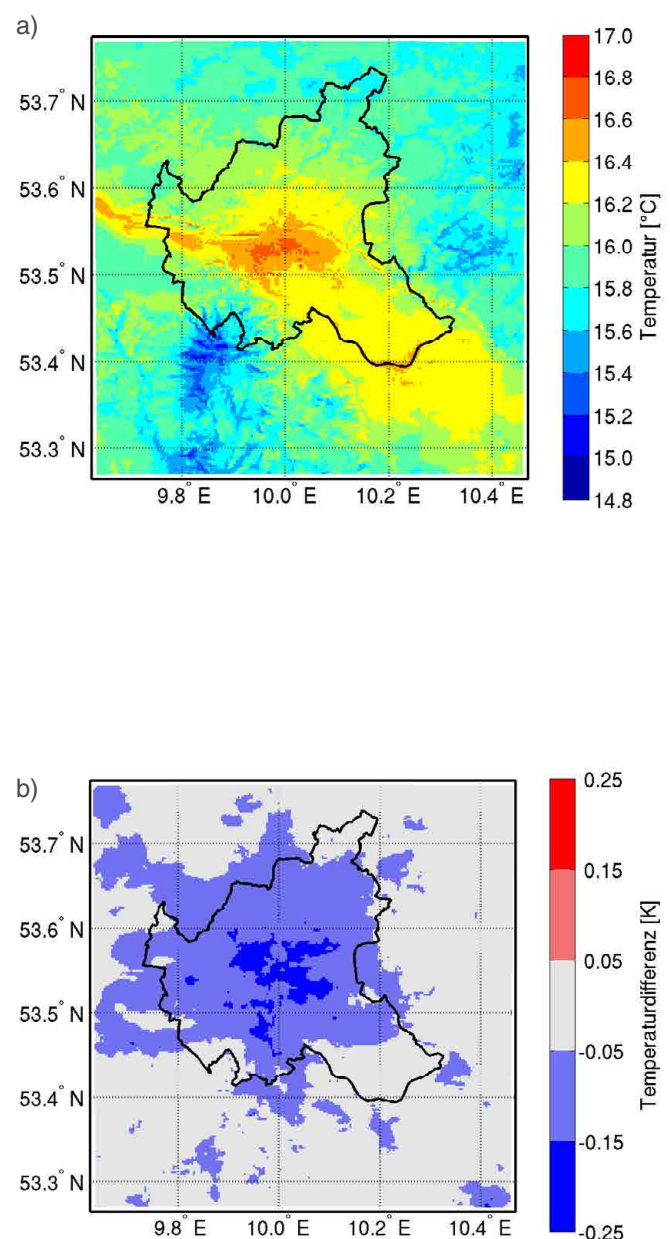


Abb. 5.2.1: (a) Mittlere sommerliche Temperatur zwischen 20 und 24 Uhr im Großraum Hamburg in 10 m über Grund für den Zeitraum 1971 - 2000. (b) Temperaturänderung für das Szenario 3. Die Ergebnisse basieren auf Modellrechnungen mit METRAS bei 250 m Auflösung (M. Linde).



Abb. 5.2.2: Anpassungsmaßnahmen wie z. B. das Begrünen von Gebäuden führen bei flächendeckender Umsetzung zur Reduzierung der nächtlichen Temperaturüberhöhung (K. H. Schlünzen).

## Gefühlte Temperatur

Änderungen der Stadtstruktur wirken nicht nur auf die Temperatur, sondern auch auf die sogenannte gefühlte Temperatur, die das thermische Wohlbefinden des Menschen charakterisiert. Dabei werden zusätzlich zur Temperatur auch Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Strahlung berücksichtigt. Die im Sommer entstehende Hitzebelastung kann tagsüber am effizientesten durch erhöhte Verschattung (Reduktion der direkten Sonneneinstrahlung) sowie die Vermeidung von Regionen mit sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten vermindert werden [4]. Falls die Verschattung durch Aufstockung der Gebäude erhöht werden soll, muss bei der Planung darauf geachtet werden, die positiven Effekte der Verschattung nicht durch eine Reduktion der Windgeschwindigkeit zunichte zu machen. Zudem sollte geprüft werden, ob eine Verschattung mittels Straßenbäumen nicht effektiver ist, da diese im Winter ihre Blätter verlieren und der Verschattungseffekt in dieser Jahreszeit nicht benötigt wird.

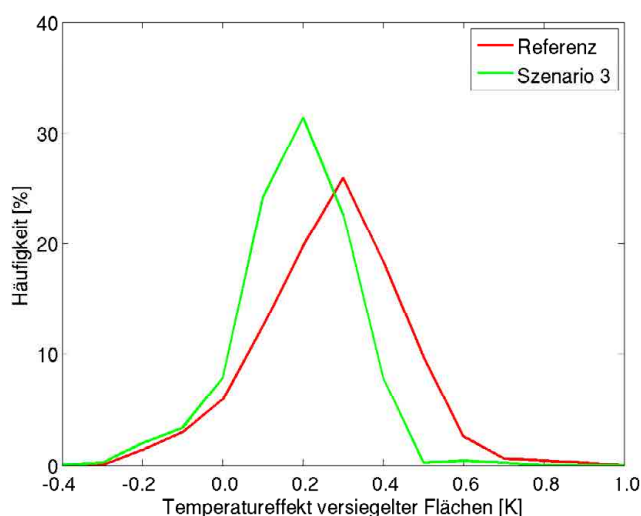


Abb. 5.2.3: Häufigkeitsverteilungen des Temperatureffekts versiegelter Flächen gegenüber wenig versiegelten Flächen im Referenz Szenario (jetzige Stadtstruktur) und Szenario 3 für den Zeitraum 1971 - 2000 in den Abendstunden (20 bis 24 Uhr) (R. Schoetter).

## Niederschlag

Niederschlagsänderungen werden die Städte vor besondere Herausforderungen stellen, da es durch die hohe Versiegelung leicht zu Überflutungen kommen kann. Stadtstrukturänderungen, wie sie für die Reduktion der Erwärmung sinnvoll sind und dem Szenario 3 entsprechen, führen nicht zu erhöhten, aber auch nicht zu reduzierten Starkniederschlägen in Hamburg oder im Hamburger Umland [5]. Allerdings beziehen sich die Untersuchungen nur auf die sommerlichen Starkniederschläge. Für den Sommer sind die städtischen Niederschlagseffekte in Hamburg allerdings gering, wie Analysen aus Messdaten zeigen [6]; modellgestützte Untersuchungen für den Winter stehen noch aus.

## Wind

Windänderungen aufgrund des Klimawandels sind für Städte sowohl hinsichtlich der Geschwindigkeit als auch der Richtung relevant, da sich hierdurch die Temperaturüberhöhung und die Durchlüftungssituation in Straßen ändern können. Die aus den regionalen Klimamodellen ermittelten Änderungen sind jedoch gering und somit auch die Änderung des Zusatzeinflusses der Stadt. Dieses gilt jedoch nicht für Einflüsse durch veränderte Bebauungen. Für die detaillierte Einschätzung der Windeffekte müssen allerdings gebäudeauflösende Modelle eingesetzt werden (s. Exkurs Wilhelmsburg), die gegenwärtig nur für einzelne Stadtquartiere einsetzbar sind.

Autorinnen und Autoren:

K. Heinke Schlünzen, Robert Schoetter, Marita Linde, Peter Hoffmann, Universität Hamburg



## KLIMZUG-NORD KURS:

- Zusätzliche Versiegelung vermeiden, um die nächtliche Überwärmung nicht zu erhöhen und ausreichend Versickerungsflächen für Niederschläge zu erhalten.
- Gründächer mit auch in Trockenzeiten ausreichender Substratfeuchtigkeit und Erhöhungen der Albedo helfen, die Maximaltemperaturen sowie die nächtliche Überwärmung etwas zu reduzieren (0,2 K), können aber die für die Zukunft projizierte regionale Temperaturzunahme (etwa 2,0 K) nicht kompensieren.
- Dichte Bebauung mit Straßenschluchten vermeiden, um Frischluft in die bebauten Flächen zu bekommen.
- Möglichkeiten der Verschattung durch Laubbäume, mobile Verschattungselemente und vereinzelte höhere Gebäude schaffen, um die sommerliche Hitzebelastung zu reduzieren.



## 5.3 Naturschutz: Lebendige Stadt – die Zukunft ist vielfältig!

Aufgrund unterschiedlich intensiver Nutzung und Bebauung kann sich in Städten ein kleinräumiges Mosaik verschiedener Ökosysteme entwickeln. Während an den Stadträndern naturnahe Standorte und Relikte der Kulturlandschaften vorkommen, steigt mit zunehmender Verdichtung der Anteil typisch urbaner Lebensräume wie Parks oder Brachflächen. So unterschiedlich diese Lebensräume und ihre Artenzusammensetzung sind, so unterschiedlich sind auch die Effekte des Klimawandels auf die urbane biologische Vielfalt und Ökosystemfunktionen. Der Naturschutz muss diesen Entwicklungen mit vielfältigen Konzepten und zusätzlichen Prioritäten begegnen.

### Biologische Vielfalt in der Stadt

Von der ländlichen Umgebung hin zum Stadtzentrum treten zahlreiche Gradienten auf. In der Regel nehmen Besiedlungsdichte, Versiegelungsgrad, Temperatur, atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration, Luftverschmutzung und Bodenverdichtung in Richtung Stadtzentrum zu. Die städtischen Umweltbedingungen sind also eng mit der Stadtstruktur verknüpft und von sozio-ökonomischen Faktoren abhängig. Besondere Bedeutung hat die Temperatur, die in urbanen Zentren höher ist als im Umland (Wärmeinsellekt, s. Kap. 5.2). Vegetation wirkt durch die Dämpfung von Temperaturmaxima positiv auf das Stadtklima.

Bedingt durch die geologische Vielfalt, die kleinräumige Stadtstruktur und vielfältige Eingriffe des Menschen sind Städte meist reich an Pflanzenarten. So zählt Hamburg mit ca. 1.600 Arten zu den pflanzenartenreichsten Gebieten Deutschlands. Auch die räumliche Verteilung der Pflanzen ist stark von der Stadtstruktur und damit verknüpften Faktoren wie Temperatur und Bodenfeuchte abhängig (s. Abb. 5.3.1). Wärmeliebende Arten sind z.B. im Umland seltener als in der Stadtmitte. Hotspots der Pflanzenvielfalt sind der überwiegend von Feuchtgebieten geprägte Hamburger Stadtrand, die Elbhänge und das von trockenen Ruderalstandorten gekennzeichnete Hafengebiet.

Auch das Vorkommen nichtheimischer Arten (Neobiota), wie z.B. das Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens*), die von dem milderen Stadtklima und menschlicher Aktivität profitieren, trägt zu der Artenvielfalt bei. Neobiota treten meist zuerst an Verkehrs- und Handelsknotenpunkten auf. Aus zoologischer Sicht ermöglichen eine hohe Strukturvielfalt im urbanen Raum sowie besonders trockene oder naturnahe, feuchte Habitate das Vorkommen spezialisierter Tierarten. Fließgewässer wie Alster und Wandse in Hamburg mit der begleitenden Ufervegetation bieten z.B. gefährdeten Amphibien und Kleinsäugetern Lebensraum. Zudem haben sie eine große Bedeutung als Ausbreitungssachse im Biotopverbund.

### Welche Veränderungen sind zu erwarten?

Durch die zu erwartende Temperaturerhöhung (bei nahezu gleichbleibendem Wärmeinsellekt) und veränderte Niederschlagsmuster werden künftig häufiger extreme Standortbedingungen im suburbanen wie im urbanen Raum auftreten. Wärmeliebende und trockenresistente Arten könnten von den klimatischen Veränderungen profitieren. Dies gilt für heute bereits etablierte Neobiota

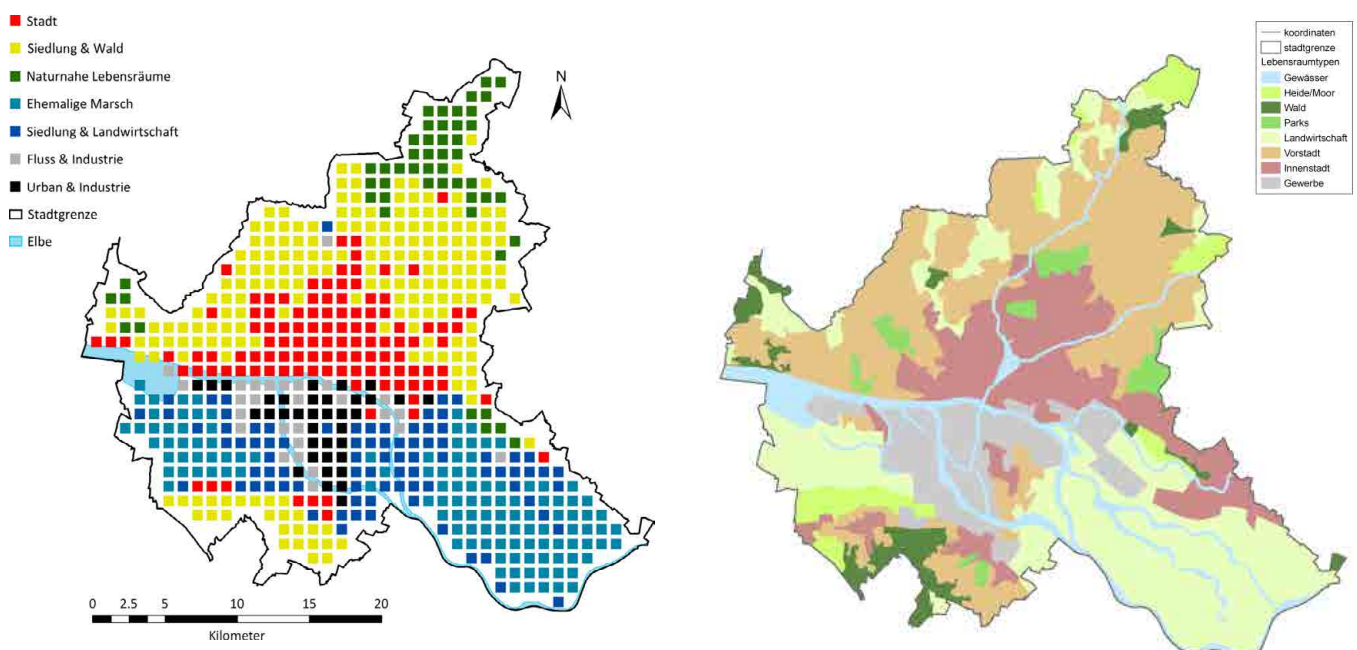


Abb. 5.3.1: Anhand einer Clusteranalyse ermittelte Gebiete mit ähnlicher floristischer Zusammensetzung. Die räumliche Verteilung der Pflanzenarten spiegelt die Stadtstruktur wider (Schmidt 2013, Poppendieck et al. 2010).

ebenso wie für aus angrenzenden Regionen zuwandernde Arten. Die Erschließung neuer Lebensräume durch Wanderbewegungen (sogenannte Kompensationswanderungen) kann erfolgreich sein, sofern genügend kleinklimatisch geeignete Ersatzlebensräume verfügbar sind. Feuchtgebiete und deren Arteninventar könnten hingegen durch Erwärmung, erhöhte Verdunstung und trockenere Sommer erheblich beeinträchtigt werden. Häufigere Phasen geringer Wasserführung in Fließgewässern, die frühzeitige Austrocknung temporärer Gewässer und sinkende Grundwasserstände könnten zum Rückgang der typischen Flora und Fauna (darunter viele Arten der Roten Liste) führen – unter anderem aufgrund einer mangelnden Vernetzung kleinklimatisch geeigneter Lebensräume. Die Vitalität von Straßenbäumen würde durch zunehmende Sommertrockenheit beeinträchtigt, der Pflegeaufwand für Grünflächen und Parks würde sich erhöhen.

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Trends können künftig vermehrt Starkregenereignisse auftreten. Während viele Pflanzen vorübergehend erhöhte Wasserstände tolerieren, können Überschwemmungen die Populationen bodenbewohnender Organismen wie Kleinsäuger dezimieren. Zudem können erhöhte Abflussmengen (Ufer-) Erosion auslösen.

Weitere Effekte des Klimawandels wie die Entkoppelung ökologischer Prozesse, ein verminderter Reproduktionserfolg, Änderungen der Artenzusammensetzung oder die veränderte Ausprägung ökosystemarer Funktionen (z.B. Kohlenstoff-Speicherung) können bislang kaum abgeschätzt werden.

## Erweiterte Prioritäten für den Naturschutz im urbanen Raum

Anforderungen zum Erhalt der biologischen Vielfalt stehen in der Stadt einer hohen Nutzungsintensität mit entsprechend umfangreichem Flächenbedarf gegenüber. Unter Berücksichtigung des Klimawandels sollten Schutz und Entwicklung vielfältiger Lebensräume in Städten Priorität haben – zugunsten der Biodiversität sowie des städtischen Klimas und der damit verbundenen Lebensqualität.

Beeinflusst werden Biodiversität und Ökosystemfunktionen im urbanen Raum besonders durch die Stadt- und Freiraumplanung. Auf allen Planungsebenen und in rechtlichen Instrumenten wie der Eingriffsregelung sollten die Effekte des Klimawandels berücksichtigt und Synergien mit anderen Fachbereichen genutzt werden. So kann z.B. eine Erhöhung des Anteils strukturreicher Gründächer in stark verdichteten Räumen ergänzenden Lebensraum für Pflanzen sowie für zahlreiche, zum Teil seltene wirbellose Tierarten bieten und wie andere urbane Grünflächen zugleich temperatursenkend wirken. Maßnahmen wie die Schaffung zusätzlicher naturnaher Grünflächen, eine Flächenentsiegelung oder vergrößerte Baumscheiben der Straßenbäume können die dezentrale Versickerung von Regenwasser fördern. Planerische Konzepte wie das der Innenverdichtung sind somit zu überarbeiten. Die Einbeziehung meteorologischer Erkenntnisse in die Stadtplanung ist notwendig.

Generell sollte den zunehmenden klimatischen Veränderungen begegnet werden, indem Raum für natürliche dynamische Prozesse geschaffen wird. In vom Klimawandel vermutlich stark betroffenen Feuchtgebieten (s.o.) am Stadtrand von Hamburg sind naturnahe Wasserstände und auch Wasserrückhalt zu fördern. Fließgewässer und angrenzende Ufer sollten renaturiert werden, um ausgedehnte strukturreiche Auen zu schaffen und deren Funktion als Verbundelement und Stoffspeicher zu stärken. Typisch urbane Lebensräume wie Brachflächen, Straßenrandstreifen oder Stadtbäume übernehmen im dicht besiedelten Raum wichtige ökologische Funktionen: Sie bieten Raum für spontane Vegetationsentwicklung und eine spezialisierte Fauna, können die Verbindung von Lebensräumen verbessern oder eine wesentliche Rolle im Kohlenstoffhaushalt übernehmen. Im Unterschied zu naturnahen Standorten und Relikten der Kulturlandschaft wird ihnen gesetzlich bislang kein Schutzstatus zugewiesen. Aufgrund des zu erwartenden Klimawandels nimmt die Bedeutung urbaner Lebensräume jedoch zu: Das Zulassen von Spontanvegetation fördert lokale Anpassungen und damit die Etablierung klimatisch angepasster Flora und Fauna, naturnahe städtische Grünzüge können Wanderbewegungen auch von Arten der Kulturlandschaft erleichtern. Wesentlich ist, durch die Schaffung eines Biotopverbunds in der Stadt und in das Umland vielfältige Lebensräume miteinander zu verbinden.

*Autorinnen und Autoren:*

*Wiebke Schoenberg, Julian Glos, Veit Hennig, Kai Jensen, Hans-Helmut Poppendieck, Katharina Schmidt, Julia Stockinger, Esther Verjans, Universität Hamburg; Elena Rottgardt, Karsten Runge, Leuphana Universität Lüneburg*



## KLIMZUG-NORD KURS:

- Grüne Stadtplanung - Durchlässigkeit der Stadt erhöhen, Strukturvielfalt fördern!
- Kompensationswanderungen ermöglichen, Biotopverbund umsetzen!
- Lokales Anpassungspotenzial nutzen, Spontanvegetation im urbanen Raum zulassen!
- Natürliche Wasserstandsdynamik in Feuchtgebieten erhöhen, aber auch Wasserrückhalt fördern und so Lebensräume stärken!
- Wertschätzung des Naturschutzes im urbanen Raum stärken: Prioritäten erweitern, bekannte Ideen nutzen!



## 5.4 Regenwassermanagement und -bewirtschaftung

Durch Ableitung und Bewirtschaftung anfallenden Niederschlagswassers in Kanal- und Gewässersystemen wird ein hoher, auf ein ökonomisch vertretbares Maß begrenzter Entwässerungskomfort in Siedlungsgebieten bereitgestellt. Durch den Klimawandel könnten sowohl die Häufigkeit als auch die Intensität von systemrelevanten Niederschlagsereignissen zunehmen, sodass der vorhandene Entwässerungskomfort zukünftig schwinden könnte. Die zunehmende Flächenversiegelung als Folge der wachsenden Stadt verschärft diesen Effekt. Obwohl eine klimabedingte Zunahme von Starkregenereignissen derzeit noch nicht eindeutig nachgewiesen werden kann, ist es sinnvoll, bereits heute nach wirtschaftlichen Kompensationsmaßnahmen zu suchen. Neben einer optimalen Ausnutzung noch vorhandener Bewirtschaftungspotenziale in den bestehenden Systemen ist es empfehlenswert, eine gezielte Einbindung von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen zur Entlastung der Kanal- und Gewässersysteme voranzutreiben und damit langfristig den Erhalt bzw. die Erhöhung des Entwässerungskomforts zu gewährleisten.



Abb. 5.4.1: Überlauf einer Dachrinne nach einem Starkregenereignis [5].

### Was kommt auf uns zu?

Zur Analyse der möglichen Folgen des Klimawandels im Laufe des 21. Jahrhunderts für das Kanalnetz und die Gewässer wurden Niederschlagsdaten der regionalen Klimamodelle REMO und CLM für Hamburg untersucht (s. Kap. 3). Die Bandbreite der möglichen zukünftigen Änderungen im Niederschlagsgeschehen zwischen den betrachteten Klimaprojektionen von 2001 bis 2100 ist groß. So kommt es in einigen Klimasimulationen zu häufigerem Auftreten von Starkregenereignissen sowie zur Erhöhung der Niederschlagsintensität, in anderen wiederum nicht. Dies könnte im Kanalnetz zu einem Anstieg der Überstau- und Überlaufhäufigkeiten [1] und im Gewässer zu einer höheren hydraulischen und stofflichen Belastung führen.

Für die Gewässer ergeben sich je nach Klimaprojektion für das 21. Jahrhundert unterschiedlich starke Auswirkungen auf die Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeiten (s. Abb. 5.4.2). Steigende Hochwasserabflüsse bedeuten, dass der Wasserstand im Gewässer häufiger die Uferkante überschreitet und es zu Überschwemmungen der angrenzenden Gebäude und Grundstücke kommen kann. Neben dem zukünftigen Niederschlagsverhalten beeinflusst auch die Stadtentwicklung die Anforderungen an die Entwässerung. Durch eine zunehmende Flächenversiegelung erhöht sich insgesamt die Abflussmenge mit einhergehender Erhöhung des Risikopotenzials von Überflutungen.

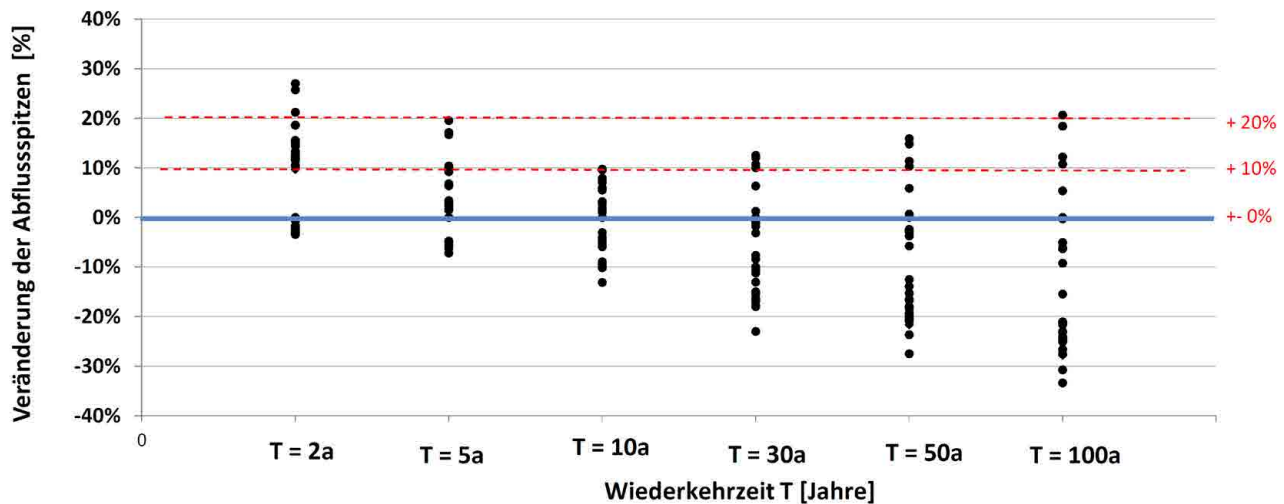


Abb. 5.4.2 Änderungen der Hochwasserabflüsse bestimmter Auftretenswahrscheinlichkeiten in 2, 5, 10, 30, 50 und 100 Jahren für den Unterlauf der Wandse. Berechnet mit unterschiedlichen Niederschlagszeitreihen des Klimamodells REMO von 2036 - 2065 im Vergleich zu den simulierten Hochwasserabflüssen des Zeitraums 1971 - 2000. Quelle: [3].

## Handlungsoptionen

Wegen der hohen Bandbreite zukünftiger Auswirkungen für das 21. Jahrhundert auf das Kanalnetz und die Gewässer müssen Anpassungsmaßnahmen an klimatische und städtebauliche Änderungen möglichst kostengünstig und modular strukturiert sein. Kanäle und Speicherbauwerke stellen aufgrund ihrer hohen Abschreibungszeiten von rund 80 Jahren ein weitestgehend starres und wenig flexibles System dar. Eine pauschale Erhöhung der Kapazitäten von Kanälen und Speicherbauwerken wäre unter den zu berücksichtigenden Unsicherheiten mit erheblichen Kosten verbunden und wäre zudem in innerstädtischen Gebieten baulich oftmals schwer umzusetzen [2]. Bessere adaptive Eigenschaften weisen Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung (DRWB) auf. Hierzu zählen Maßnahmen zur vollständigen oder zumindest teilweisen Abkopplung der abflusswirksamen Flächen vom Kanalnetz (s. Abb. 5.4.3).

Die Vorteile der DRWB liegen in der Dämpfung von Zuflussspitzen und der Verringerung der Zuflussmengen zu Kanal- und Gewässersystemen. Darüber hinaus trägt die DRWB durch einen hohen Verdunstungs- und Versickerungsanteil zum Erhalt eines naturnahen Wasserhaushaltes sowie zur Verbesserung des Mikroklimas bei.

Zentrale Handlungsoption für die Kompensierung möglicher Effekte durch Klimawandel und Städtebau ist daher die schrittweise Flexibilisierung des bislang zentral strukturierten Entwässerungssystems durch Ergänzung von dezentralen, kurzfristig anpassungsfähigen Entwässerungsmodulen vornehmlich im Grundstücksbereich. Unklar ist bislang noch, wie die übergangsweise zusätzlich entstehenden Kosten volkswirtschaftlich getragen werden können (s. Kap. 4.4).

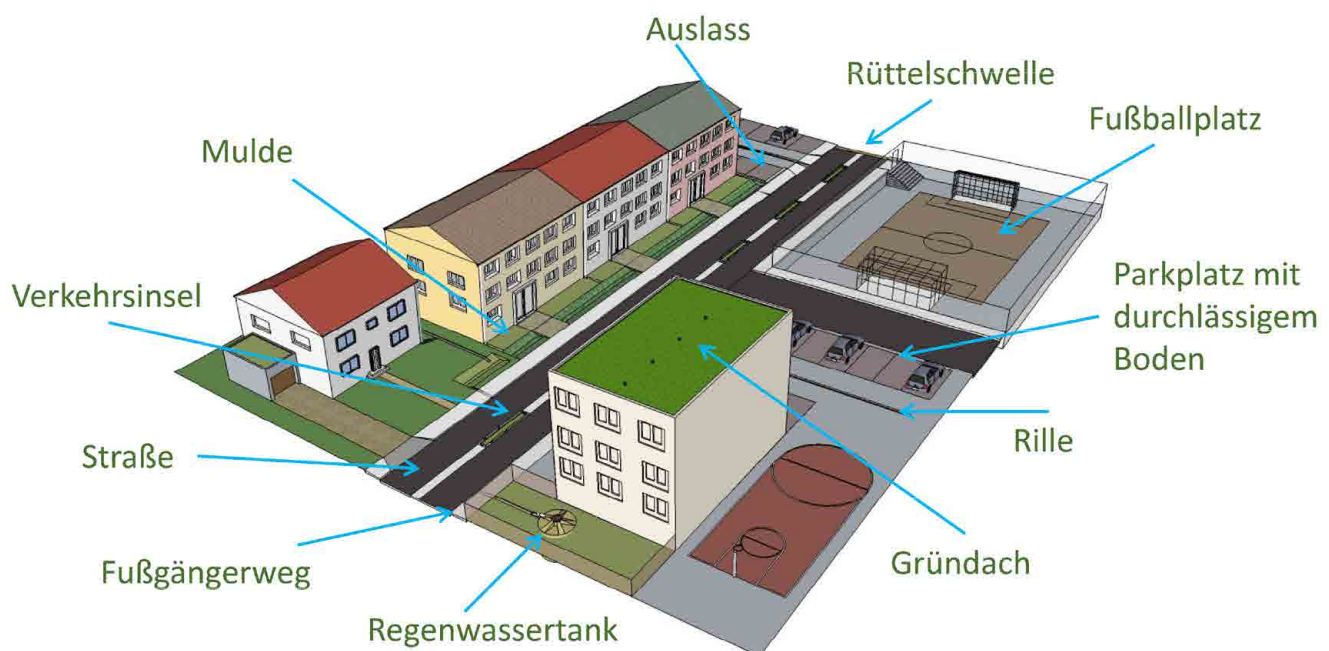


Abb.5.4.3: Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung [4].



## Quantifizierung der Wirksamkeit der Anpassungsstrategie

In KLIMZUG-NORD wurden integrierte Konzepte der DRWB entwickelt und deren Wirksamkeit zur Anpassung bestehender Systeme an die Folgen des Klimawandels untersucht. Ziel war es, eine bedarfsgerechte und funktionstechnisch abgestimmte Kombination einzelner DRWB-Maßnahmen sicherzustellen. Für unterschiedliche Siedlungsstrukturtypen sind Anpassungskonzepte der DRWB erarbeitet und quantifiziert worden.

Die Untersuchungen, die im Rahmen des Projektes im Einzugsgebiet der Wandse (s. Kap. 5, Exkurs) durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die Abkopplung von Flächen vom Kanalnetz in Teilbereichen eine effektive Maßnahme zur Entlastung des Kanalnetzes darstellt. Im Rahmen der Quantifizierung der Auswirkungen auf das Gewässer wurde gezeigt, dass durch die genannten Anpassungsmaßnahmen in den Stadtentwicklungsszenarien eine Reduzierung der überschwemmten Flächen entlang des Gewässers erreicht werden kann. In Abbildung 5.4.5 ist exemplarisch für ein Gebiet die Zunahme der überschwemmten Fläche für klimatische und städtebauliche Veränderungen für 2050 dargestellt. Im Szenario 1 wurden klimatische und städtebauliche Veränderungen für 2050 modelliert, wodurch eine Zunahme der überschwemmten Fläche berechnet wurde. Im Szenario 2 wurde teilweise eine Umsetzung von DRWB-Maßnahmen modelliert, wodurch eine Verminderung der überschwemmten Flächen

berechnet wurde. Im Szenario 3 wurde eine großflächige Umsetzung von DRWB-Maßnahmen modelliert, wodurch die überschwemmten Flächen weiter reduziert werden konnten.

Daneben wurde die Wirkungsweise von DRWB-Maßnahmen auf Grundwasserstände, Niedrigwasserabflüsse und Speichervolumen in Rückhaltebecken im Gewässer untersucht. Durch die Maßnahmen kann ein Absinken der Niedrigwasserabflüsse, der Grundwasserabflüsse und der Speichervolumen in Rückhaltebecken nach längeren Trockenperioden ausgeglichen werden. Allerdings können erhöhte Versickerungsraten auch zu einem Anstieg von oberflächennahen Grundwasserständen und damit zu Kellervernässungen führen. Dieser Aspekt muss bei der Planung von Maßnahmen der DRWB mit berücksichtigt werden.

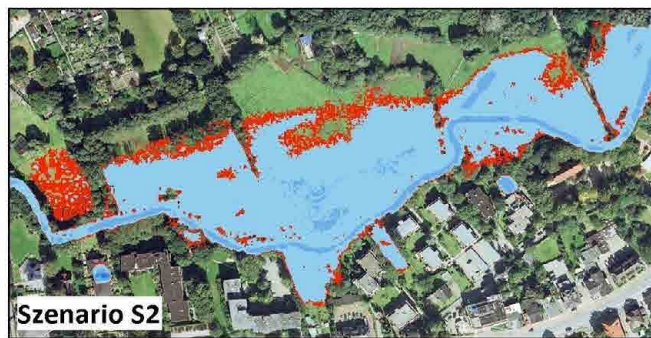
## Handlungsempfehlungen und Ausblick

Zur Stärkung der Verdunstungskomponente sollte die Begrünung von Grundstücken und Gebäuden, die Entsiegelung von Flächen und die Schaffung offener Wasserflächen zukünftig stärker berücksichtigt und in die Planung eingebunden werden.



Abb. 5.4.4: Städtisches Wohngebiet nach einem Starkregenereignis (A. Hüß)





### Legende

■ zusätzl. Überschwemmung

### Referenz HQ100

### Fließtiefe

<span style="background-color: white; border: 1px solid black;"> </span> < 0,01m	<span style="background-color: lightblue;"> </span> 1,50m - 2,00m
<span style="background-color: lightblue;"> </span> 0,01m - 0,50m	<span style="background-color: blue;"> </span> 2,00m - 2,50m
<span style="background-color: blue;"> </span> 0,50m - 1,00m	<span style="background-color: darkblue;"> </span> 2,50m - 3,00m
<span style="background-color: darkblue;"> </span> 1,00m - 1,50m	<span style="background-color: navy;"> </span> 3,00m - 3,50m

0 100 200 400  
Meter



Abb. 5.4.5: Überschwemmte Flächen im Wandse Einzugsgebiet eines Hochwasserereignisses mit einer Wiederkehrzeit von einmal in 100 Jahren für ein Klimaszenario mit starken Auswirkungen und drei städtebaulichen Szenarien für 2050. Szenario 1: ohne DRWB-Maßnahmen; Szenario 2: teilweise Umsetzung von DRWB-Maßnahmen; Szenario 3: großflächige Umsetzung von DRWB-Maßnahmen.

Für eine verstärkte Anwendung der DRWB in der Praxis ist eine bessere gestalterische Einbindung der Anlagen in den Freiraum erforderlich. Darüber hinaus sollten die Kenntnisse der Reinigungsleistungen der Anlagen verbessert und klare Absprachen zur Unterhaltung bereits in der Planungsphase festgelegt werden.

Dachbegrünung kann in der Jahresbilanz einen wesentlichen Beitrag zur Abflussreduzierung leisten, bei seltenen und außergewöhnlichen Starkregen können sie jedoch nur einen begrenzten Beitrag zum Überflutungsschutz leisten. Als Abhilfe sollten Gründächer entwickelt werden, die durch ihren Aufbau besser als bisher geeignet sind, Retention bei Starkregen zu garantieren. Hierfür ist gegebenenfalls die Statik der Gebäude anzupassen.

In Hamburg werden bereits seit Jahren bei Neu- und Umbaumaßnahmen die Einleitmengen von den Grundstücken in das Kanalnetz auf ein sinnvolles Maß begrenzt. Als Folge dieser Begrenzung werden auf den Grundstücken zwangsläufig Kompensationsmaßnahmen erforderlich, die überwiegend als DRWB-Maßnahmen realisiert wurden.

Empfohlen wird die Entwicklung von Planungsrichtlinien zur Berücksichtigung der Mitbenutzung von Flächen für den Rückhalt und die Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema Mitbenutzung. Des Weiteren sollte die Kooperation und Interdisziplinarität der beteiligten Akteure gefördert werden, um eine gestalterische Einbindung wasserwirtschaftlicher Elemente in die Landschafts- sowie Freiraumplanung zu ermöglichen (s. Kap. 5.1).

### Autorinnen und Autoren:

Sandra Hellmers und Giovanni Palmaricciotti,  
TU Hamburg-Harburg; Nina Hüffmeyer und Andreas  
Kuchenbecker, Hamburg Wasser



## KLIMZUG-NORD KURS:

- Begrenzung von Einleitmengen in die Kanalnetze auf ein wasserwirtschaftlich und volkswirtschaftlich sinnvolles Maß.
- Maßnahmen der DRWB sollten als flexible Anpassungsmaßnahmen gezielt eingesetzt werden.
- Sensibilisierung der Bevölkerung zum Thema DRWB und Mitbenutzung von Flächen als Rückhalteraum.
- Entwicklung von Planungsrichtlinien zur Berücksichtigung der Mitbenutzung von Flächen als Rückhalteräume.
- Förderung der Kooperation und Interdisziplinarität der beteiligten Akteure.
- Klärung der Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zur Umsetzung der Maßnahmen.









**Helga Schenk,**  
**Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt,**  
**Hamburg, Leitstelle Klimaschutz**

### **1. Welche Relevanz hat das Thema Anpassung an den Klimawandel für Ihre tägliche Arbeit?**

Klimawandel und Anpassung an den Klimawandel für die Stadt Hamburg sind der Hauptinhalt meiner Arbeit. Ich nehme die ministeriellen Aufgaben zu dem Thema wahr, organisiere die Zusammenarbeit mit dem Bund und den Nachbarländern, richte – mit diesen – die Regionalkonferenzen „Klimaanpassung Küstenregion“ aus. Gleichzeitig habe ich die Federführung bei der Hamburger Anpassungsstrategie und dem Aktionsplan Klimaanpassung, der im Hamburger Senat und in der Bürgerschaft behandelt wird.

### **2. Wie sind Sie mit dem Verbundprojekt KLIMZUG-NORD in Berührung gekommen und mit welchen Projektthemen hatten Sie Kontakt?**

Ich war von Anfang an dabei! Schon in der (sehr langen und schwierigen) Antragsphase war ich, zusammen mit Herrn Lindlahr (von der Leitstelle Klimaschutz) Ansprechpartnerin auf Behördenseite. Ich bin mit nach Bonn gefahren, um mit den Projektträgern zu verhandeln. Durch meine Mitarbeit im Projektausschuss war ich bis zuletzt in Steuerung und Organisation eingebunden. An fachlichen Themen habe ich hauptsächlich den Naturschutz und die Stadtklimaforschung verfolgt, beides Themen, für die ich auch in der Leitstelle Klimaschutz zuständig bin.

### **3. Wurden in Kooperation mit den Projektpartnern von KLIMZUG-NORD Maßnahmen konkret umgesetzt oder werden in Zukunft Projekte realisiert?**

Aus dem Projekt heraus hat sich ein großes Netzwerk gebildet. Und aus diesem Netzwerk heraus picken meine Kollegen und ich uns nun unsere jeweiligen Kooperationspartner. Ja, es wird vieles umgesetzt werden. Um nur ein Beispiel zu nennen: der staatliche Naturschutz hat gelernt, dynamisch zu denken. Dies ist ein großes Verdienst des Arbeitskreises Naturschutz, welcher gemeinsam mit KLIMZUG-NORD und der Metropolregion in vielen Sitzungen Naturschützer aus Verbänden, Kreisen und Landkreisen und Wissenschaftler zusammengebracht hat.

### **4. In welcher Form hat das Projekt Ihre eigene Arbeit beeinflusst?**

Für mich war es ein echtes Erlebnis, nach vielen Jahren wieder engen Kontakt zur Wissenschaft zu bekommen. Ohne das KLIMZUG-Projekt hätte ich vieles nicht gelernt und verstanden, ich hätte Einblicke in das vielfältige Feld der Forschung versäumt – ohne natürlich zu realisieren, dass ich etwas versäume. Aus diesen Kontakten ist eine höhere Bereitschaft entstanden, neue gemeinsame Projekte anzupacken.

Es ist ja so: Wissenschaft sollte vorangehen, vordenken, auch provozieren, Verwaltung hingegen muss verantwortlich handeln, dazu gehört ein gewisses konservativ-bewahrendes, vorsichtiges Zögern im Annehmen von neuen Gedanken und Denkweisen.

### **5. Glauben Sie, dass sich die Ergebnisse des Projekts normativ oder institutionell auf die politischen oder verwaltungstechnischen Abläufe ihrer jeweiligen Region, Stadt oder Gemeinde auswirken?**

Was die normative Umsetzung angeht, so hat doch der Beitrag von Wickel/Morgenstern (s. Kap. 4.3) klar aufgezeigt, dass wir derzeit keine strengeren Gesetze benötigen. Wir müssen nur konsequent die bestehenden Gesetze anwenden. Und auch das ist noch ein weiter Weg. Die Politik hat sich immer vorbehalten, eigene Arbeitsschwerpunkte in der jeweiligen Legislaturperiode zu setzen. Die Anpassung an den Klimawandel konkurriert da mit anderen Themen, und nicht immer gewinnt sie.

### **6. Wie bewerten Sie aus Ihrer persönlichen Sicht den Erfolg des Projektes?**

Das Projekt hat gut gearbeitet. Es sind viele Erkenntnisse gewonnen, viele gute Arbeiten geschrieben worden. Auch die Netzwerkarbeit war ein Ziel, das erreicht wurde.

Aber letztlich wird sich KLIMZUG-NORD – wie alle derartigen Projekte – an dem messen lassen müssen, was bleibt. 100 junge Wissenschaftler, die zu Klimawandel und Anpassung geforscht haben – wohin wird es sie verschlagen? Wie viele werden die Chance haben, die beschriebenen Ergebnisse in die Praxis umzusetzen? Und wer setzt sie hier bei uns um? Genau deswegen ist dieses Kursbuch so wichtig.

### **7. Was möchten Sie den Kursbuchleserinnen und -lesern sonst noch ans Herz legen?**

Nehmen Sie das Buch immer mal wieder zur Hand! Besorgen Sie sich zwei Exemplare, sodass Sie eines verleihen oder auslegen können. Lesen Sie die Beiträge, die Ihnen erst nicht gefallen haben, noch einmal. Vielleicht war Ihre erste Ablehnung nur dadurch verursacht, dass die beschriebenen Gedanken zu neu, zu anders waren als das, was Sie vorher dachten...

## 5.5 Automatisierter Hochwasserschutz am Gebäude

Durch den Klimawandel sowie die Bauverdichtung städtischer Gebiete kann es künftig zu einer Steigerung des Überflutungsrisikos und der damit verbundenen Schäden kommen. In KLIMZUG-NORD wurden Schadenspotenzialanalysen urbaner Räume durchgeführt und Techniken entwickelt, um Gebäude gegen die Beschädigung durch Überflutungen zu schützen. Darüber hinaus wurde ein Prüfsiegel für die Eignung von Komponenten der gebäudebezogenen Hochwasserschutzsysteme sowie zur Gesamtbewertung der Hochwassersicherung von Gebäuden entworfen.

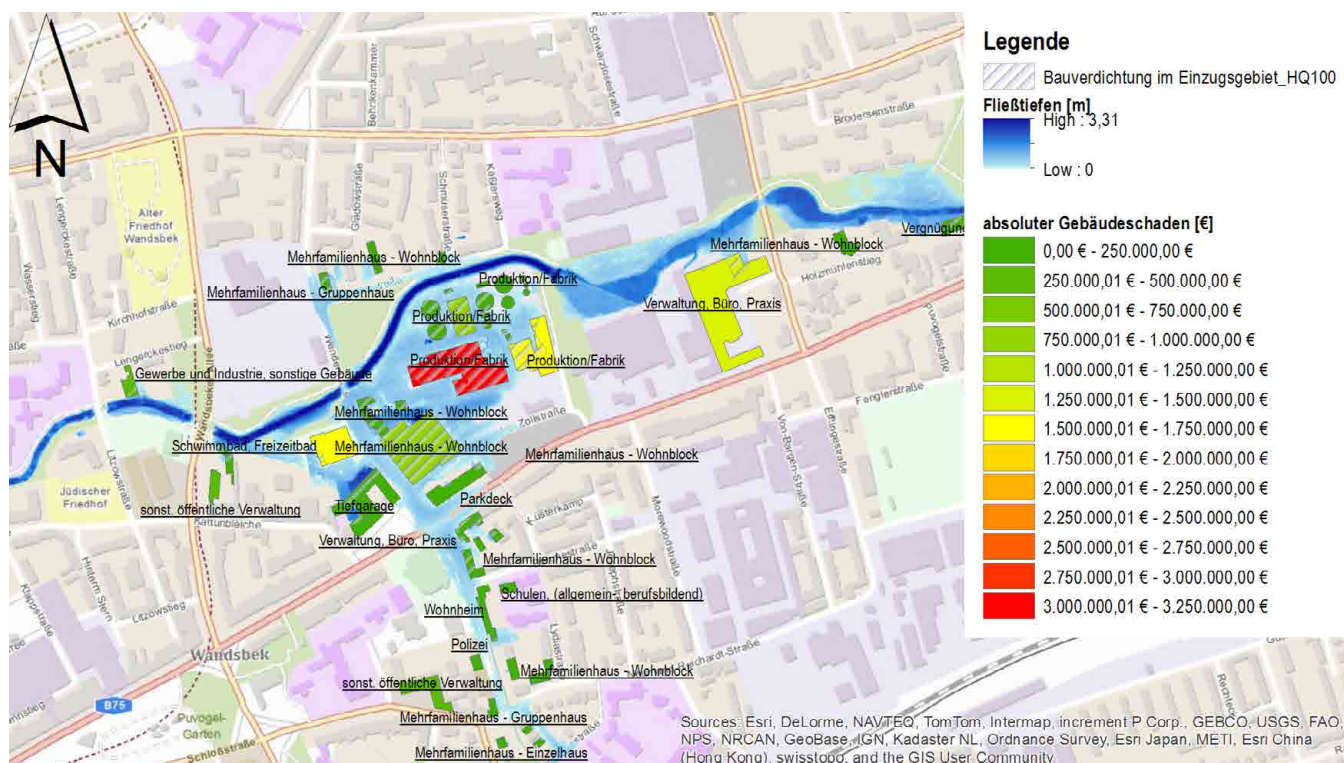


Abb. 5.5.1: Ausschnitt der durch die TUHH durchgeführten Simulation: „Instandsetzungskosten bei einem Hochwasser bei Bauverdichtung des Einzugsgebiets der Wandse in Hamburg“ (D. Fries)

### Weshalb muss man sich schützen?

Nicht zuletzt die Überflutungen der vergangenen Jahre (z.B. am 06.06.2011) haben gezeigt, dass die städtische Bebauung in Hamburg bei Starkregenereignissen unzureichend geschützt ist. Wenn die Regenwassermengen bei Extremereignissen von den innerstädtischen Kanal- und Gewässernetzen nicht vollständig aufgenommen werden können, kommt es zur Überflutung durch Rückstau aus der Kanalisation und Ausuferung kleiner Gewässer.

In einer Schadenspotenzialanalyse wird ein urban geprägter Raum innerhalb eines Flusseinzugsgebietes unter dem Einfluss eines Hochwassers auf potenzielle volkswirtschaftliche Schäden untersucht. Im Fallbeispiel Hamburg, im Einzugsgebiet der Wandse, wurde die Wirkung der Umsetzung von Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung (s. Kap. 5.4) sowie von Bauverdichtung untersucht. Bei der Umsetzung solcher Maßnahmen sind Rückhaltungs-, Versickerungs- und Verdunstungsraten deutlich erhöht, wodurch die Menge des abzuleitenden Wassers verringert wird. Die Folgewirkungen von

überlasteten Kanal- und Gewässernetzen können hierdurch gemindert werden. Zusätzlich verschärfen sich bei einer Bauverdichtung des Einzugsgebiets die schadensauslösenden Faktoren wie Fließtiefen, Fließgeschwindigkeiten, Hochwasserdauer, Vorwarnzeit und die Kontamination, die das Wasser mit sich bringt. In Abb. 5.5.1 ist ein Beispiel der Ergebnisse dieser Analyse dargestellt.

Die direkten, greifbaren Schäden sind in erster Linie an Gebäudestrukturen aufzufinden und werden dort gemessen. Ist ein Gebäude dem Hochwasser ausgesetzt, entstehen auf der bauphysikalischen und strukturellen Seite des Gebäudes Schäden. Diese haben eine Spanne von der Durchfeuchtung des Gebäudes bis hin zu schwerwiegenden, strukturellen Schäden, die die Standsicherheit des Objektes gefährden können. Diese Auswirkungen sind im Wesentlichen abhängig von den verwendeten Baumaterialien und dem Gebäudealter.



## Wie schützen wir uns vor Überflutungen und Hochwasser?

Wenn die Überflutung nicht von den bebauten Gebieten ferngehalten werden kann, ist ein gebäudebezogener Schutz erforderlich. Zurzeit gibt es auf dem Markt dafür eine Reihe von Hochwasserschutzprodukten, die unter dem Begriff „Dry-Floodproofing“ zusammengefasst sind. Dies umfasst Maßnahmen, die die Bausubstanz eines Gebäudes gegen Wasserschäden unempfindlich machen und auch mobile Elemente, die bei bevorstehenden Hochwasserereignissen vorübergehend zum Schutz vor einem Hochwasser eingesetzt werden. Da diese Systeme eine gewisse Aufbauzeit benötigen, sind sie für Ereignisse mit kurzen Vorwarnzeiten, die vor allem bei extremen Niederschlagsereignissen auftreten können, kaum geeignet. Für plötzliche Starkregenereignisse konzipierte Hochwasserschutzsysteme sollten den Schutz von Gebäuden auch dann ermöglichen, wenn deren Bewohner oder Nutzer nicht anwesend sind.

Im Rahmen von KLIMZUG-NORD hat die Partnerfirma Aqua-Stop GmbH Hochwasserschutzsysteme entwickelt, die den Schutz von Gebäudeöffnungen wie Eingangstüren, Keller- und Erdgeschossfenstern gegen eindringendes Hochwasser vollautomatisch gewährleisten können (s. Abb. 5.5.2).



Abb. 5.5.2: Schutzelemente für Tür, Fenster und Kellerfenster während eines Tests im Wasserbecken der TUHH

Die Steuerung dieser Hochwasserschutzsysteme erfolgt mittels eines Schwimmerschalters oder eines Regensensors. Sollte der Wasserstand eine vorher zu bestimmende, kritische Marke erreichen, fährt die Anlage automatisch in die gewünschte Schutzposition. Die Schutzelemente werden über eine netzunabhängige Stromversorgung betrieben. So wird sichergestellt, dass die Anlage im Überflutungsfall auch einsatzfähig ist. Dies ist wichtig, da im Hochwasserfall Stromabschaltungen die Regel sind.

Die Schutzelemente wurden im Wasserbecken des Instituts für Wasserbau der TUHH getestet, um die Funktionalität und Wasserdichtigkeit zu überprüfen. Durch solche Untersuchungen konnten Probleme unter realitätsnahen Nutzungsbedingungen herausgefunden und gelöst werden.

## Was sind die Anforderungen an Schutzmaßnahmen?

Hochwasserschutzsysteme sind bereits seit mehreren Jahren auf dem Markt und stellen einen wesentlichen Beitrag zum Schutz von Gebäuden gegen eindringendes Wasser dar. Allerdings ist es in der Regel nicht einfach festzustellen, inwieweit solche Schutzmaßnahmen wirklich einen Schutz des Gebäudes gewährleisten können. Daher sind Methoden zu entwickeln, die eine systematische Prüfung und Bewertung ermöglichen. In dem vom TÜV Nord entwickelten Fragebogen sind alle gefährdeten Bereiche eines Gebäudes systematisch erfasst, was als Grundlage für die Prüfung des gesamten Schutzsystems dient.



Abb. 5.5.3: Entwurf des Zertifikates und des Prüfzeichens

Wenn diese nicht außerhalb des Gefahrenbereichs liegen, müssen diverse Bereiche eines Gebäudes, wie Öffnungen, Abwassersysteme, Mauerwerk mit Wärmedämmung oder Bodenplatte geprüft werden. Darüber hinaus ist der Standsicherheitsnachweis eines Gebäudes auch für den Fall des Bemessungshochwasserstands notwendig. Das gebäudebezogene Dry-Floodproofing-Zertifikat (s. Abb. 5.5.3) wird vergeben, wenn bei einem für den jeweiligen Standort zu identifizierenden Hochwasser keine Schäden der Bausubstanz eintreten und kein Wasser in das Gebäude gelangen kann.

Autor:

Giovanni Palmaricciotti, TU Hamburg-Harburg



**KLIMZUG-NORD KURS:**

- Eine detaillierte Klassifizierung von Gebäudetypen (Funktion und Baumaterialien) in überflutungsgefährdeten Gebieten ist die Grundlage einer zuverlässigen Schadenspotenzialanalyse.
- Automatische Systeme zeigen ein hohes Potenzial, Gebäude gegen schnell steigende Überflutungen effizient schützen zu können.
- Eine systematische und unabhängige Prüfung des Gebäudes ist unerlässlich, um den Bürgern mehr Transparenz und Sicherheit geben zu können.



## 5.6 Passive Klimatisierung im Verwaltungsbau

Die Menschen der Metropolregion Hamburg verbringen einen Großteil ihrer Zeit am Arbeitsplatz. Ein Verwaltungsbau, dessen Bauweise am Nutzerkomfort orientiert ist und der seinen Wärme- und Kühlenergiebedarf aus passiven Quellen bezieht und daher eine günstige Energiebilanz vorweist, liefert die Umgebung für gesunde Arbeitsplätze. Insbesondere im sommerlichen Wärmeschutz gelten besondere Planungsregeln. Zukünftig zu erwartende Hitzewellen als extreme Wetterereignisse und die bei einer Verdichtung der Bebauung verstärkten Wärmeinseln erfordern neue Anpassungsmaßnahmen.

### Wie verändert sich zukünftig das Innenraumklima in Hamburgs Büros?

Klimaforscher projizieren eine Klimaveränderung mit häufigeren und längeren Hitzewellen. Wenn mindestens fünf Tage mit einer Tagesmaximaltemperatur über 26 °C direkt aufeinander folgen, hat dies einen erheblichen Einfluss auf die Temperaturen im Inneren der Gebäude. Ein Gebäude ist durch die Speichermasse seiner massiven Bauteile in der Lage, kurze Hitzewellen abzufangen. Die Wärme wird tagsüber gespeichert und nachts wieder an die Außenluft abgegeben. Wie viel Wärme gespeichert wird, ohne den Innenraum zu überhitzen, hängt von der Bauweise ab. Ohne Kühlsystem wird sich die Temperatur im Innern eines Gebäudes nach wenigen Tagen (Leichtbau) oder bis zu zwei Wochen (Massivbau) an die Außentemperatur anpassen. Einzelne Hitzetage sind weniger bedeutend für das Raumklima als Hitzewellen.

Wir sind der Frage nachgegangen, ob typische Hamburger Verwaltungsgebäude dem aktuellen bzw. zukünftigen Klima angepasst sind.

Anhand von Feldstudien in drei typischen Hamburger Verwaltungsgebäuden (s. Abb. 5.6.1) wurde das Raumklima bei sommerlichen Temperaturen untersucht. Im Nachgang wurde eine Optimierung durch Gebäudesimulation mit Klimamodelldaten aus dem Modell REMO für das heutige und mögliche zukünftige Klima durchgeführt.



Abb. 5.6.1: Feldstudie - Untersuchte Verwaltungsgebäude in Hamburg

### Erfüllen typische Hamburger Verwaltungsbauten zukünftig den erforderlichen Nutzerkomfort?

Die DIN EN 15251 beinhaltet Vorgaben zur Bewertung des Nutzerkomforts eines Gebäudes für das Innenraumklima. Dieser ist in Klassen von I bis III eingeteilt. Im Verwaltungsbau ist für Neubauten die Komfortklasse II mit maximal 5 % Überschreitungsstunden der operativen (gefühlten) Temperatur (s. Abb. 5.6.2) im festgelegten Komfortbereich zulässig, für Sanierungen die Komfortklasse III.

Kann der Arbeitsplatzkomfort durch z. B. öffnbare Fenster, Lockerung des Dresscodes oder Verschattung selbst aktiv eingestellt werden, werden Raumtemperaturen, die sonst als zu hoch empfunden werden, als komfortabel wahrgenommen. Stellt der Nutzer seinen Komfort selbst aktiv ein, sprechen wir von aktiven Nutzern.

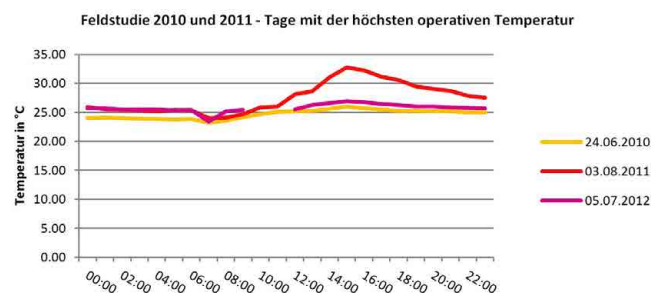
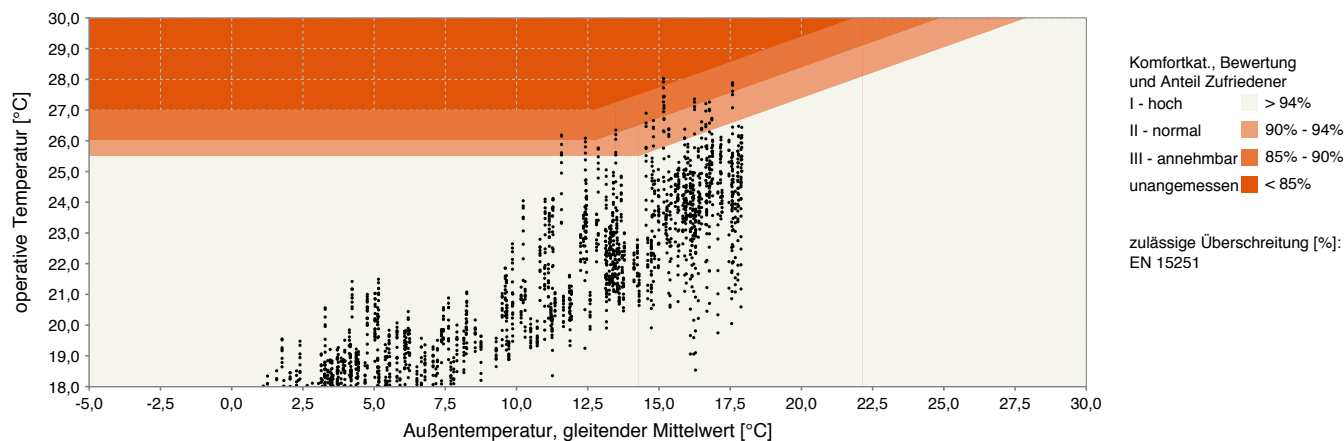


Abb. 5.6.2: Mittelwert aus Luft- + Strahlungstemperatur. Höchste operative Innenraumtemperaturen im Zeitraum der Feldstudien 2010 – 2012

Die Simulationsergebnisse aus REMO-Klimadaten mit Blick auf das Jahr 2050 belegen, dass für die passiv klimatisierten 70er- und 80er-Jahre-Bauten aus den Feldstudien mit heute gängigen Sanierungsmaßnahmen nach neuestem Stand der Technik das Erreichen der erforderlichen Komfortklasse III mit maximal 5 % Überschreitungsstunden möglich wäre - siehe Abbildung 5.6.3. Dies gelingt nur, wenn eine Querlüftung möglich ist und ein exakt aufeinander abgestimmtes Sanierungspaket mit Optimierung der äußeren Verschattung, Verglasung, Möblierung mit Tageslichtorientierung, Nachtlüftung, Phase Change Materials (PCM) - also die gesamte Bandbreite von Sanierungsmöglichkeiten eingesetzt wird. Einzelne Maßnahmen führen nicht zum Ziel.

Das Simulationsergebnis für den historischen Kaispeicher hingegen zeigt auf, dass eine Optimierung nach DIN EN 15251 mittels einer herkömmlichen Sanierung scheitern würde. Im Baukörper mit einer Tiefe von 25 Metern ist eine natürliche Querlüftung nicht möglich. Durch die sehr massive Bauweise ist die Speichermasse besonders groß, der Fensterflächenanteil liegt bei unter 24 % - durch den Mangel an Tageslicht sind der Bedarf an Kunstlicht und damit der Wärmeeintrag hoch. Für den sommerlichen Wärmeschutz bzw. die Komfortbewertung nach DIN EN 15251 hat diese Konstellation fatale Folgen. Bei einer Hitzewelle heizt sich das Gebäude tagsüber auf und hat mangels Querlüftung in der Nacht nicht die Möglichkeit, die massiven Bauteile genügend auszukühlen. Auch intensive Sanierungsmaßnahmen erbringen kaum einen Effekt, da das Gebäude sehr träge reagiert. Selbst eine denkbare portable äußere Verschattung mit Teleskopstangenprinzip zum Schutz der denkmalgeschützten Fassade für die Sommermonate oder der Einsatz von PCM hätten nur einen geringen Effekt auf das Innenraumklima.



Überschreitung der Komfortgrenzen 94%, 90% und 80% Zufriedener [%]									Ferien von bis
Klassifikation			Bewertung der Komfortkategorien						
			I		II		III		
I/II/III	Über- schreitung		erfüllt	Über- schreitung	erfüllt	Über- schreitung	erfüllt	Über- schreitung	
	[%]		[h][%]	[%]	[h][%]	[%]	[h][%]	[%]	
B	-	-	2691 / 94%	6%	2813 / 98%	2%	2846 / 100%	0%	1.1-1.1

Abb. 5.6.3: Simulationsergebnis Testreferenzjahr DWD - DIN EN 15251 - 80er-Jahre Bau - Optimiert

Lediglich die Optimierung des Wärmeeintrages durch das Kunstlicht mittels LED-Beleuchtung direkt am Arbeitsplatz oder die Reduktion der Personenzahl im Doppelbüro von zwei auf eins mit Ausrichtung der Möblierung zum Tageslicht bringen eine merkliche Verbesserung.

Werden die Planungsregeln des „Leitfaden für Architekten und Ingenieure zum sommerlichen Wärmeschutz und Nutzerkomfort für Hamburger Verwaltungsgebäude“ für einen Standardneubau angewendet, so erreicht das Gebäude in den Simulationsergebnissen mit Blick auf 2050 die erforderliche Gebäudeklasse II mit max. 5 % Überschreitungsstunden. Der Maßnahmenkatalog steht auf [www.klimzug-nord.de](http://www.klimzug-nord.de) vertiefend zur Verfügung. Weitere konkrete Anpassungsmaßnahmen finden sich im Abschlussbericht Modellgebiet Wandse.

## Handlungsoptionen

Für das Innenraumklima von Verwaltungsgebäuden sind allgemein übertragbare Planungsempfehlungen/Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Wichtig bei Entwurf und Sanierung im sommerlichen Wärmeschutz ist die Optimierung der passiven Klimatisierung mittels Gebäudeorientierung, natürlicher Durchlüftung, Tageslichtnutzung, Verschattung, Speichermasse und Fassaden mit max. 2/3 Fensterfläche.

Die DIN 4108-2 (2013) erlaubt, mittels Gebäudesimulation das Innenraumklima zu quantifizieren. Ohne Gebäudesimulation ist es kaum möglich, für ein Verwaltungsgebäude realistische Einschätzungen hinsichtlich Nutzerkomfort, Wärmeschutz und Energieeinsparpotenzial zu erzielen. Schon in der Wettbewerbs- bzw. Vorentwurfsphase sollte das Werkzeug Gebäudesimulation hinzugezogen werden. Die aktuelle Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) ist so angelegt, dass der Primärenergiebedarf des eigenen Gebäudes den eines Referenzgebäudes nicht übersteigen darf. Mit den erarbeiteten Kriterien zur Anpassung an den Klimawandel mit passiven Klimatisierungsmaßnahmen wäre es möglich, zusätzliche Kriterien aufzunehmen, wie Minimalwerte für die Tageslichtversorgung. Die Kriterien zur Gebäudeerrichtung und Sanierung könnten so (weiter)entwickelt werden. Inwieweit dies z. B. in den nächsten

Änderungen der EnEV vorgesehen ist, bleibt abzuwarten. Dies schließt jedoch keineswegs aus, dass auf lokaler Ebene sehr wohl solche Kriterien zusätzlich in der Praxis eingefordert werden. Das Hamburgische Klimaschutzgesetz könnte z. B. hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes mit Bezug auf DIN 4108-2 weiterentwickelt werden.

Künftige Firmenphilosophien sollten die Gebäudezertifizierung mit Blick auf Nutzerkomfort, Klimawandel, Ressourceneffizienz und Energieeinsparungsvorgaben anstreben und aktive Nutzerinnen und Nutzer fördern. Für denkmalgeschützte Hamburger Kaispeichergebäude müssen spezielle Umnutzungskonzepte hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes entwickelt werden. Bei jeder Baumaßnahme liegt die Verantwortlichkeit jeweils bei den Planenden, die möglichen Anpassungsmaßnahmen aus dem oben genannten Leitfaden auf ihre Tauglichkeit für Gebäude bzw. Nutzung zu prüfen und ggf. umzusetzen.

Autorin und Autor:

Lydia Ax und Udo Dietrich, HafenCity Universität Hamburg



**KLIMZUG-NORD KURS:**

- Entwurfs- und Sanierungsplanung möglichst passiv klimatisierter Gebäude und Gebäudebewertung nach DIN EN 15251 ab Vorentwurf mittels Gebäudesimulationen.
- Firmenphilosophien an geänderte Rahmenbedingungen anpassen (z. B. reduzierter Dresscode, passive Klimatisierung – Gebäudezertifizierung nutzen).
- Energiesparendes und nutzerkomfortorientiertes Gebäudemanagement mit aktiven Nutzerinnen und Nutzern.
- Mittelfristig besondere Umnutzungskonzepte für Hamburger Kaispeichergebäude entwickeln.



## 5.7 Reetdächer im Klimawandel

Vor allem im Nord- und Ostseeraum trifft man auf zahlreiche reetgedeckte Häuser, so auch in der Metropolregion Hamburg. Da es sich bei Reet bzw. Schilfrohr um einen natürlichen Baustoff handelt, kann die Haltbarkeit von Reetdächern durch den Klimawandel beeinflusst werden. Innerhalb des Projektes wurden verschiedene reetgedeckte Konstruktionen sowie durch den Klimawandel bedingte Einflussfaktoren auf die Haltbarkeit untersucht.



Abb. 5.7.1: Rieck Haus, Vierländer Freilichtmuseum in Hamburg-Curslack, Abb. 5.7.2: Versuchsdächer auf dem Campus der FH-Lübeck (S. Slama).

### Einflüsse auf die Haltbarkeit des Reetdachs

Reet ist ein natürlicher Baustoff, dessen Haltbarkeit direkt vom Feuchtegehalt des Materials abhängt. Entscheidend für eine lange Haltbarkeit des Daches ist daher die gute Ableitung von Wasser beziehungsweise eine schnelle Trocknung. Feuchteinträge ergeben sich dabei sowohl durch die natürliche Witterung als auch durch die vorhandene Nutzung. Nutzungsbedingter Feuchte durch Duschen, Kochen, etc. lässt sich konstruktiv durch einen geeigneten Dachaufbau, gute Materialauswahl und ggf. durch Lüftungsgeräte entgegenwirken.

### Freilandversuche mit Versuchsdächern

Bei der Witterung sind die Lage des Objektes mit der Orientierung der Dachflächen zur Sonne sowie das vorhandene Standortklima (Mikroklima) infolge benachbarter Vegetation und Gebäude entscheidend. Es ist darauf zu achten, dass die Dachflächen gut und schnell trocknen können. Für den Dachaufbau bedeutet dies eine im Vergleich zu heute dünnere und lockerere Eindeckung (Eindeckstärke um 25 cm mit einer Halmneigung  $> 35^\circ$ ) sowie eine regelmäßige Wartung und Pflege. Wertet man die Messungen der verschiedenen Versuchsdächer aus und vergleicht diese mit den aktuellen Klimaprojektionen (A1B - ECHAM5 (Lauf 2) - REMO) für Mitte des 21. Jahrhunderts (2036 - 2065), ergibt sich zunächst ein größerer Einfluss des Mikroklimas. So kommt es lokal und zeitweise z.B. infolge von hohem Baumbewuchs zu Temperatursteigerungen von  $+ 1,8 \text{ K}$  gegenüber einer Freifläche. Dies ändert sich zum Ende des 21. Jahrhunderts, da gemäß Klimaprojektion mit einer mittleren Zunahme der Jahresmitteltemperatur von  $3,2 \text{ K}$  zu rechnen ist. Gerade im Winter kommt es zu höheren Temperaturen mit weniger Frosttagen und vermehrten Niederschlägen als Regen. Dies wirkt sich besonders nachteilig auf das Reetdach aus, da im Winter die vorwiegende Trocknung des Daches aufgrund der geringen Luftfeuchte und Niederschlägen in Form von Schnee stattfindet.

### Faktoren mit Einfluss auf die Haltbarkeit (Positivliste):

- Mikroklima beachten: Lage des Daches in der Umgebung, Verschattung, Orientierung zur Sonne,
- Dachform, Dach- und Halmneigung, Unterkonstruktion,
- Pflege und Wartung des Daches inkl. regelmäßigem Baumschnitt,
- Kompetenz des Reetdachdeckers und Ausführungsqualität (ggf. Monitoring),
- Reetlänge und Reetdurchmesser optimieren, Reinheit des Reets beachten,
- Einbau von guten sorptionsfähigen Wärmedämmungen,
- Vermeidung von Wohnraumfeuchte (Nutzung von Lüftungsanlagen).

Autoren:

Georg Conradi und Steffen Slama, FH Lübeck



**KLIMZUG-NORD KURS:**

- Etablierung der gewonnenen Ergebnisse: Positivliste für Fachverbände und weitere Vernetzung mit Handwerks- und Forschungspartnern.
- Über die Positivliste Informationen für Hauseigentümer, Planer, Handwerker und Behörden bereitstellen.
- Weiterentwicklung der klimaangepassten Reetdachkonstruktion.

## 5.8 Dachaufstockungen in Massivholzbauweise

Im künftigen Klimawandel gilt es, Grün- und Freiflächen als Kaltluftschneisen zu erhalten. Dachaufstockungen bieten im innerstädtischen Bereich die einzige Möglichkeit der Nachverdichtung, ohne dass zusätzliches Bauland erschlossen oder weitere Flächen versiegelt werden. Diese sollten dabei nicht nur architektonisch ansprechend, sondern auch ökologisch und nachhaltig sein sowie die steigenden Ansprüche an die Innenraumqualität erfüllen.



Abb. 5.8.1: (links und mitte) Bau des Versuchshauses aus Massivholz auf FH-Campus (G. Conradi)  
Abb. 5.8.2: (rechts) Dachaufstockung am Beispiel der „Treehouses“ Bebelallee 64-70 in Hamburg (S. Slama).

### Nachverdichtung durch Aufstockungen

Um den Flächenbedarf einer wachsenden Einwohnerzahl in Städten wie Hamburg zu decken, bieten ausschließlich Dachaufstockungen die Möglichkeit einer klimaanangepassten Nachverdichtung und Stadtentwicklung. Die Aufstockung nutzt dabei nicht nur die vorhandenen infrastrukturellen Gegebenheiten, sondern auch das Bestandsgebäude als Gründung und erweitert dieses „nach oben“. Viele Gebiete, die in den 1970er- und 1980er-Jahren erschlossen wurden, bieten die Möglichkeit einer höheren Flächennutzung. Dadurch stünden trotz höherer Einwohner- und Bürodichte in Ballungsräumen vergleichsweise mehr Grün- und Naturflächen zur Verfügung. Die Dachaufstockung ermöglicht so eine klimaverträgliche Nachverdichtung.

### Vorteile von Massivholzkonstruktionen

Massivholzbauweisen zeichnen sich gegenüber anderen Bauweisen durch viele Vorteile aus: hohes CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial, gute Wärmespeicherfähigkeit, monolithisches schichtenarmes Bauen sowie selbsttragende Dämmwände. Aufstockungen aus Massivholz bieten darüber hinaus deutliche Vorteile gegenüber anderen Baustoffen wie Beton oder Mauerwerk. So werden die Lasten von Aufstockungen in Holzbauweise problemlos von der bestehenden Konstruktion aufgenommen und durch Vorfertigung entstehen kurze Bauzeiten. Gleichzeitig kann Holz flexibel an das vorhandene Bauwerk angepasst werden. So bietet ein Wandaufbau aus Massivholz mit außenliegender Dämmung und hinterlüfteter Fassade ein optimales Verhältnis von Wärmeschutz und thermischer Speichermasse. Für die Nutzer bedeutet dies, dass im Winter nur wenig Energie für die Beheizung erforderlich ist und im Sommer gantztägig angenehme Temperaturen im Innenraum herrschen, ohne dass zusätzliche Maßnahmen zur Klimatisierung erforderlich sind, erst recht wenn innen sorptionsfähige Lehmbaustoffe zum Einsatz kommen.

### Synergien mit Gründächern

Dachaufstockungen mit Flachdächern können problemlos als Gründächer gebaut werden. Je nach Art der Begrünung und Ausführung der Unterkonstruktion ist so eine zusätzliche Nutzung als Freizeitfläche möglich. Im künftigen Klimawandel können die Gründächer so eine deutliche Verbesserung der mikroklimatischen Verhältnisse in Ballungsräumen herbeiführen, da das gespeicherte Wasser im Sommer durch Verdunstung einen kühlenden Effekt hervorruft (s. auch Exkurs Einzugsgebiet Wandse und Kap. 5.2).

Autoren:

Georg Conradi und Steffen Slama, FH Lübeck



**KLIMZUG-NORD KURS:**

- Kontaktpflege und weitere Vernetzung mit Fachverbänden und -gremien, Verknüpfung von Forschung und Praxis.
- Präsentation von Leuchtturmprojekten wie dem Versuchshaus „Raumzelle“ auf Messen, bei Vorträgen und Veranstaltungen.
- Raumklimatische Vorteile dieser Bauweise bekannt machen.



## EXKURS:

# Modellgebiet „Einzugsgebiet Wandse“ – Umgang mit Überflutung und Überhitzung in der Stadt

Die Möglichkeiten zur Anpassung städtischer Räume an den Klimawandel standen im Mittelpunkt der Arbeit im Modellgebiet, in dem ein interdisziplinäres Team zusammenarbeitete. Die Grundlage bildeten eine gemeinsame Bestandsaufnahme des Gebietes sowie die Analyse der zukünftigen stadtklimatischen und wasserwirtschaftlichen Veränderungen. Darauf aufbauend untersuchte das Team Möglichkeiten zur stadträumlichen Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen, modellierte die Wirkungen und testete Möglichkeiten zur Sensibilisierung für die Folgen des Klimawandels.

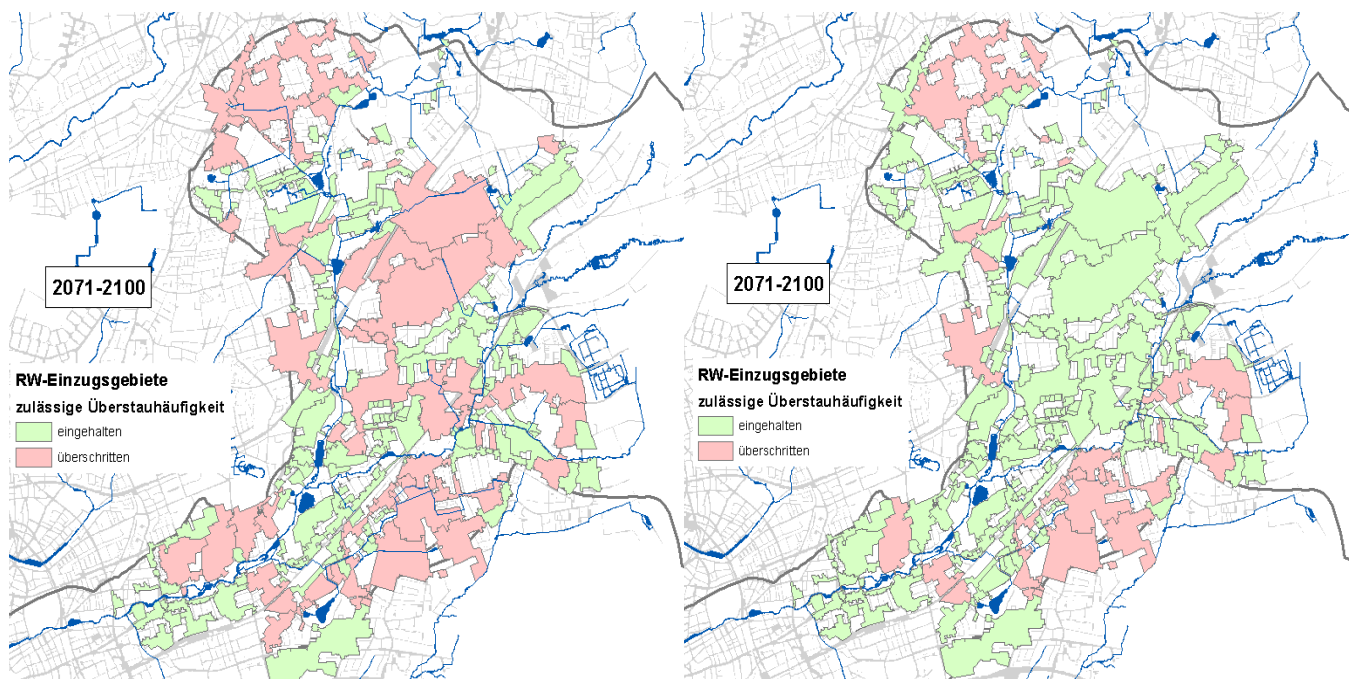


Abb. E.2.1: Überlastete Regenwassereinzugsgebiete im Jahr 2100 bei heutiger Flächennutzung (links) und nach flächendeckender Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen in einer kompakten Stadt (rechts) (N. Hüffmeyer 2012).

## Das Einzugsgebiet Wandse als Prototyp für Hamburg

Den Bezugsraum bildete der Hamburger Teilbereich des Einzugsgebietes der Wandse, die in die Alster mündet. Im Osten dominiert lockere Wohnbebauung, die in Richtung Westen in eine dichtere geschlossene Blockrandbebauung übergeht. Das Modellgebiet umfasst damit weitestgehend das gesamte Spektrum städtischer Strukturen. So konnten in ihm die unterschiedlichen Herausforderungen für die stadträumliche Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen, wie zunehmende Temperaturen im Sommer und Überflutungen, untersucht werden.

## Regenwasserbewirtschaftung: Ein beispielhaftes Konzept zur Klimaanpassung

Mit der Veränderung von stadtstrukturellen Merkmalen, wie Versiegelungsgrad und Verdichtungsintensität, bestehen Möglichkeiten, die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen zu kompensieren (s. Abb. E.2.1). Beispielhaft wird im Folgenden ein Entwurf für eine 3- bis 4-

geschossige Zeilenbebauung der 1950er-Jahre vorgestellt – eine für Hamburg typische Bauform (s. Abb. E.2.2). Neben der Klimaanpassung im Bestand verfolgt der Entwurf mit einer zweigeschossigen Aufstockung das Ziel, durch Verdichtung weiteres Wachstum in der Stadt zu ermöglichen und gleichzeitig den Anteil versiegelter Flächen nicht zu erhöhen. Um Überflutungen zu vermeiden, wird das Niederschlagswasser sowohl auf dem Grundstück als auch im öffentlichen Raum zurückgehalten, gespeichert und versickert sowie das Überschusswasser kontrolliert abgeleitet.

Die zweigeschossige Aufstockung der Zeilenbebauung ermöglicht ein Flachdach mit einer extensiven Begrünung. Die Substratschicht des Gründachs speichert und verdunstet das Niederschlagswasser. Neben dem Wasserserrückhalt senkt Verdunstungskälte die Temperatur in der unmittelbaren Umgebung und reduziert damit die städtische Überwärmung (s. Kap. 5.2). Bei Starkregenereignissen kommt es zu einem verzögerten Notüberlauf von den Dachflächen, der in Mulden zwischen den Gebäuden fließt, die auch das Wasser der privaten Gehwege und Terrassen aufnehmen. Hier staut das Wasser ein, bevor

es nach und nach versickert. Der Abfluss des gesamten Niederschlagswassers wird so von den Gebäuden ferngehalten und verhindert Überflutungen von Keller- und Hauseingängen durch unkontrolliert abfließendes Wasser. Eine sanfte Geländemodellierung integriert die Mulde in die gemeinschaftlichen Freiflächen. Für den Fall von Extremereignissen sieht das Konzept einen sogenannten Notwasserweg vom Notüberlauf der Mulde auf die Straßenfläche vor. Er leitet das Wasser, das die Mulde nicht mehr fasst, kontrolliert und schadlos ab.

## Reduktion der klimatischen Veränderungen durch Maßnahmen der Klimaanpassung

Mithilfe von drei unterschiedlichen sozio-ökonomischen Entwicklungsszenarien wurden die Effekte der Anpassungsmaßnahmen modelliert. Eine flächendeckende Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen, wie sie das Szenario „Kompakte Stadt“ vorsieht (s. Kap. 5), minimiert die Folgen einer zunehmenden Verdichtung auf die sommerlichen Temperaturen und die Gefahren von Überflutungen. Zu entsprechenden Ergebnissen kamen die stadtklimatischen und wasserwirtschaftlichen Modellierungen. Die zusätzlich aus dem Klimawandel resultierende Betroffenheit kompensieren sie jedoch nicht. Allerdings sind die entsprechenden Gefährdungen deutlich geringer als bei anderen Entwicklungsmöglichkeiten, wie dem Szenario „Rück- und Umbau in privater Verantwortung“ oder dem Szenario „Florierender Wirtschaftsstandort“. In ihnen nehmen die durchschnittliche Sommertemperatur und die überschwemmungsgefährdeten Flächen deutlich stärker zu.

## Positive Wirkung auf andere Handlungsfelder der Stadtentwicklung

Die Entwürfe verdeutlichen auch, dass die betrachteten Maßnahmen zu einer gestalterischen Aufwertung des Stadtraums beitragen können. Dies erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen ingenieur- und naturwissenschaftlich ausgerichteten sowie gestalterischen Disziplinen. Darüber hinaus bestehen Synergieeffekte innerhalb der einzelnen Handlungsfelder der Klimaanpassung. Gründächer reduzieren beispielsweise den Regenwasserabfluss und senken gleichzeitig die Umgebungstemperatur.

## Sensibilisierung und Bewusstseinsbildung für die Umsetzung erforderlich

Eine klimaangepasste Stadtentwicklung erfordert von Politik, Verwaltung und Zivilgesellschaft den Willen zur Umsetzung entsprechender Maßnahmen. Vielfach dominieren jedoch kurzfristig drängende Herausforderungen, bspw. die Schaffung von neuem Wohnraum, wie Interviewergebnisse mit Akteuren im Modellgebiet zeigen. Für die Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung müssen die zuständigen Akteure daher vom Nutzen der entsprechenden Maßnahmen überzeugt werden. Möglichkeiten dazu bieten die im Modellgebiet erprobten Beteiligungsformate: Workshops mit lokalen Akteuren und Online-Diskurs.

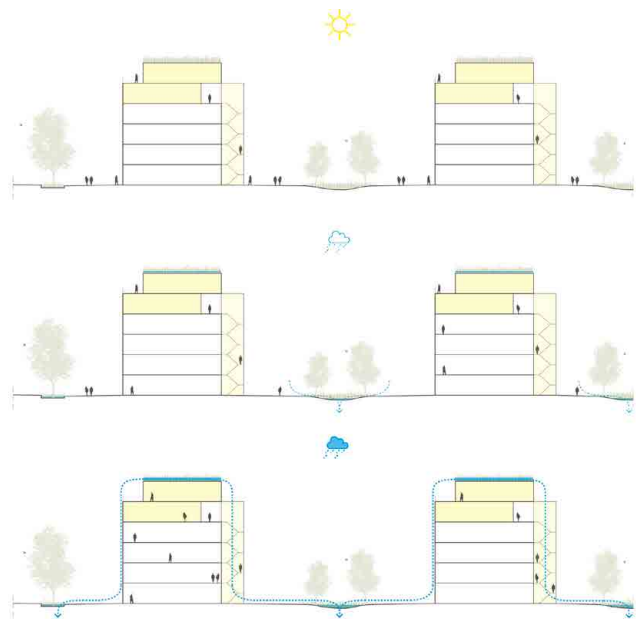


Abb. E.2.2: Darstellung des Entwässerungsprinzips – bestehend aus extensiven Gründächern, Versickerungsmulden in den gemeinschaftlichen Freiflächen und bepflanzten Tiefbeeten im Straßenraum – bei unterschiedlichen Wetterverhältnissen (E. Kruse / A. Kittel 2013).

Sensibilisierung für die Folgen der klimatischen Veränderungen und Bildung von Bewusstsein für daraus resultierende Anpassungsbedarfe sind daher für eine klimaangepasste Stadtentwicklung dringend erforderlich. Neben Politik und Verwaltung sind auch die Grundstückseigentümerinnen und -eigentümer für das Anliegen zu gewinnen. Hier bieten Instrumente zur Information, Beteiligung und Kooperation Möglichkeiten, die eine Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung fördern.

Autor und Autorinnen:  
Thomas Zimmermann, Elke Kruse, Anne Kittel,  
HafenCity Universität Hamburg



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Zur Vermeidung der Zunahme von versiegelten Flächen sollten bestehende Gebäude aufgestockt werden.
- Die Wirkung der urbanen Wärmeinsel sollte durch natürliche Beschattung und die kühlende Wirkung von Verdunstung reduziert werden. Der Grünanteil auf privaten Grundstücken und im öffentlichen Raum sollte erhöht werden.
- Um die Gefährdung durch Überschwemmungen im Stadtgebiet zu reduzieren, sollten Maßnahmen zum Rückhalt, zur Versickerung, Verdunstung und kontrollierten Ableitung von Niederschlagswasser umgesetzt werden.
- Um Überschusswasser bei Starkregenereignissen temporär zurückzuhalten, sollten im öffentlichen Raum multifunktionale Flächen geschaffen werden.



## EXKURS:

# Modellgebiet Wilhelmsburg – Elbinseln im Klimawandel

Das Modellgebiet Wilhelmsburg umfasst den Bereich der Elbinseln, die von Norder- und Süderelbe umschlossen sind. Die Landnutzung ist sehr heterogen, sie besteht hauptsächlich aus ländlich geprägter lockerer Einzelhausbebauung, dichter Mehrfamilienhausbebauung, sowie großflächigen Industrie- und Hafengebieten. Das Modellgebiet ist durch die hafennahe Wirtschaft im westlichen und zentralen Bereich sowie durch landwirtschaftliche Nutzung im östlichen Bereich geprägt. Die günstigen infrastrukturellen Gegebenheiten haben dazu geführt, dass sich rohstoffverarbeitende Betriebe, Logistik- und Transportunternehmen sowie Großhandels- und Lagereibetriebe angesiedelt haben, darunter zahlreiche Kleinbetriebe [1]. Die Bevölkerung in Wilhelmsburg ist im Vergleich zur übrigen Bevölkerung in Hamburg jung und weist mit 34 % einen relativ hohen Ausländeranteil auf. Zudem verfügt sie über eine im Vergleich zur übrigen Stadt relativ geringe Kaufkraft [2].

Stadtplanerische Besonderheiten sind durch die Lage des Modellgebiets auf den Elbinseln gegeben. Infolge der geringen Geländehöhen und des deutlichen Elbwassereinflusses befindet sich das Grundwasserpotenzial nur wenige Dezimeter unter der Geländeoberfläche. Ein Entwässerungssystem, bestehend aus einem Grabennetzwerk sowie Sielen und Schöpfwerken, senkt das Grundwasserpotenzial im Zentrum der Elbinseln ab. Das Modellgebiet wird zudem durch Deiche vor Sturmfluten geschützt. Die in Zukunft zu erwartenden Klimaveränderungen treffen das Modellgebiet durch den Anstieg des Meeresspiegels und dem damit verbundenen Anstieg des Grundwasserpotenzials, einem veränderten Oberwasserzufluss der Elbe, der zunehmenden Häufigkeit und Mengen bei Starkniederschlägen sowie durch verstärkte Hitzebelastung aufgrund steigender Temperaturen.

Stadtplanerische Maßnahmen können den negativen Auswirkungen des Klimawandels entgegenwirken (s. Kap. 5.2). Die gegenwärtige Umstrukturierung von Industrie zu Wohnraum und Gewerbeflächen sowie die Nachverdichtung in Teilen des Modellgebiets bieten hier die besondere Gelegenheit, die Anpassung an den Klimawandel bereits heute bei der Umgestaltung der Stadtstruktur zu berücksichtigen. In KLIMZUG-NORD wurden Strategien erarbeitet, wie das wasserumgebene Modellgebiet mit seinen sozio-ökonomischen Besonderheiten klimagerecht weiterentwickelt werden kann. Der Fokus lag dabei auf Grundwasser und Windkomfort. Die Details der im Folgenden aufgeführten Untersuchungen sind im Bericht „Wilhelmsburg im Klimawandel“ [3] in der Reihe der Berichte aus den Modellgebieten festgehalten.

Zur Ermittlung der maßgeblichen Einflussfaktoren auf das Grundwasser wurden gemessene Grundwasserstände Niederschlägen und Elbwasserständen gegenübergestellt. Untersuchungen der Korrelationen aus zwei Grundwassermessstellen in unterschiedlichem Abstand zur Elbe zeigen, dass das Grundwasser durch versickernde Niederschläge nur geringfügig beeinflusst wird (s. Abb. E.3.1a). Dies liegt an der geringen hydraulischen Durchlässigkeit der Deckschicht, welche den Grundwasserkörper überlagert. Die Niederschläge werden zumeist oberflächlich zunächst in das Grabensystem und dann weiter in die Elbe abgeleitet. Das Grundwasser wird im zukünftigen Klima daher vornehmlich durch den zu

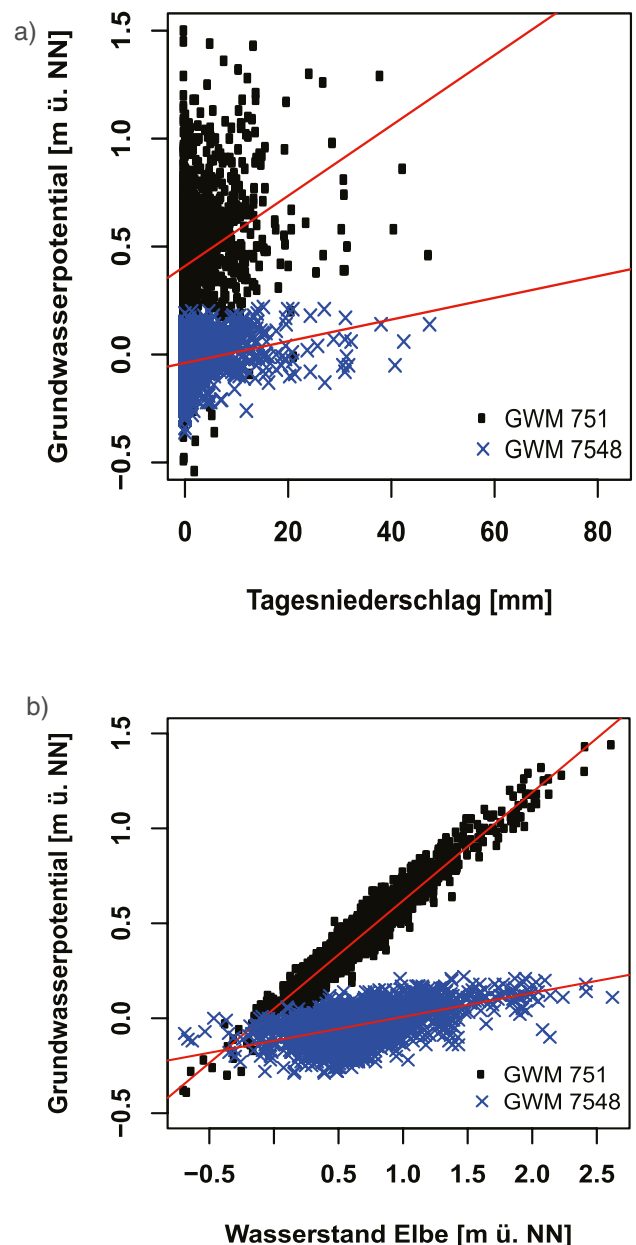


Abb. E.3.1: Einfluss (a) des Tagesniederschlags und (b) der Elbwasserstände auf das Grundwasser in Hamburg Wilhelmsburg. Die Abstände der Grundwassermessstellen GWM 751 und GWM 7548 zur Elbe betragen 174 m und 2000 m (A.-G. Meier).

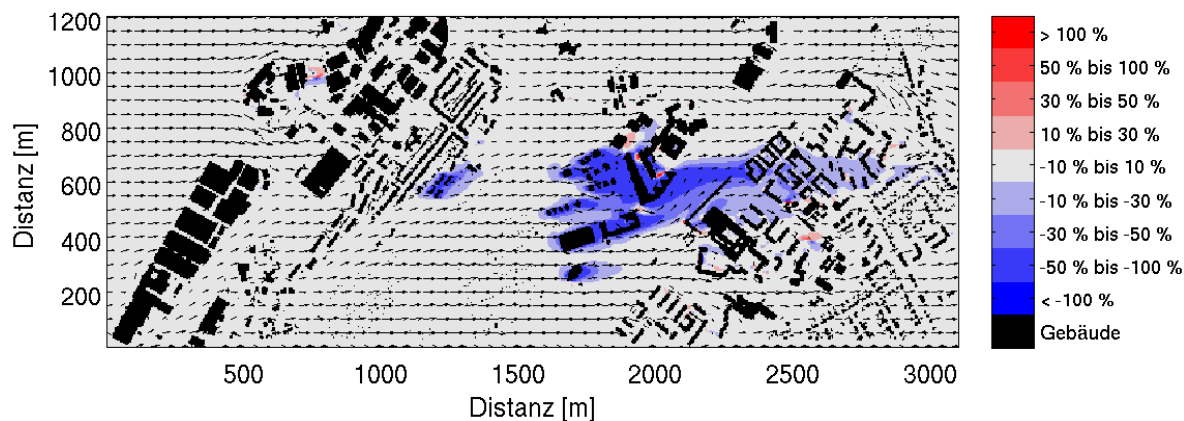


Abb. E.3.2: Ergebnisse des mikroskaligen numerischen meteorologischen Modells MITRAS für die prozentuale Änderung der Windgeschwindigkeit in 2,5 m über Grund durch die Neubauten in Wilhelmsburg Mitte. Die Änderung der Windgeschwindigkeit ist als relative Differenz zu der Windgeschwindigkeit ohne die im Zuge der IBA Hamburg entstandenen Neubauten angegeben (M. Salim).

erwartenden Anstieg des Elbwasserstandes beeinflusst werden, der vor allem in Flussnähe das Grundwasserpotenzial beeinflusst (s. Abb. E.3.1b). Durch stadtplanerische Maßnahmen und Veränderungen in der Ausdehnung und Organisation des Entwässerungssystems kann das Grundwasserpotenzial auch zukünftig gehalten werden, wobei ein Abfluss in die Elbe bei dort erhöhten Wasserständen gewährleistet sein muss. Ergebnisse der hydraulischen Grundwassermodellierung zum Einfluss des Klimawandels können Kapitel 7.3 entnommen werden.

Wilhelmsburg ist durch eine in Hauptströmungsrichtung Süd-West freie Lage relativ hohen Windgeschwindigkeiten ausgesetzt. Die Windströmungen im Modellgebiet wurden mit dem numerischen mikroskaligen Modell MITRAS (s. Abb. E.3.2, [4] und [5]) und in einem Grenzschichtwindkanal (s. Abb.E.3.3, [6] und [7]) simuliert. Eine Beeinflussung des Windfeldes und damit eine Veränderung der Komfort- und Durchlüftungssituation konnten bis in Entfernungen von etwa 1000 m von der neuen Bebauung in Wilhelmsburg-Mitte nachgewiesen werden ([8], [9] und [10]). Durch die neuen Gebäude werden die Windströmungen auf der Windschattenseite bestehender Bebauung so verändert, dass auch in größerer Höhe Effekte entstehen. Daher beeinflusst die veränderte Bebauung nicht nur die Durchlüftungseigenschaften des Stadtgebietes und den Windkomfort von Passanten, sondern auch den Windkomfort auf Balkonen und bei der Lüftung der Räume.

#### Autorinnen und Autoren:

K. Heinke Schlünzen, Robert Schoetter, Marita Linde, Mohamed Salim, Bernd Leitl, Frieso Kipsch, Sabine Schempp, Universität Hamburg; Julia Kowalewski, HWWI; Anna-Gesa Meier, TUHH, Caroline König, IBA

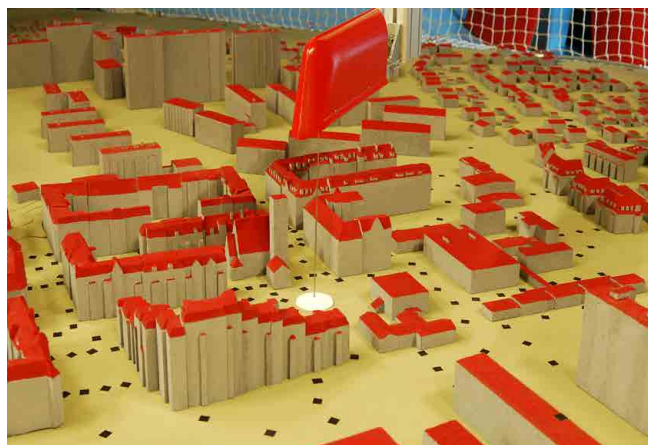


Abb. E.3.3: Simulation der Strömung im Modellgebiet Wilhelmsburg zur Bestimmung der Ventilationseigenschaften (physikalische Modellierung) (F. Kipsch)



**KLIMZUG-NORD**

**KURS:**

- Bei stadtplanerischen Veränderungen der Elbinseln muss der Erhalt der den Grundwasserleiter abdeckenden Deckschicht gewährleistet werden, um ein unkontrolliertes Austreten von Grundwasser (Qualmwasser) an der Oberfläche zu verhindern.
- Bei der Entwässerung in die Elbe ist der zukünftig zu erwartende Anstieg des Elbwasserstands zu berücksichtigen.
- Schutzmaßnahmen gegen Sturmfluten und Sensibilisierung der multikulturellen Bevölkerung für notwendige Sicherheitsmaßnahmen sind zur Daseinsvorsorge essenziell.
- Bei stadtplanerischen Maßnahmen ist bei der Ausrichtung der Gebäude und ihrer relativen Höhen zueinander auf eine Optimierung des Windkomforts und eine Nichtbeeinträchtigung der Durchlüftung des Gebiets zu achten.
- Eine verdichtete Bebauung wird auch im Modellgebiet Wilhelmsburg zu lokaler Überwärmung führen, die gesundheitlich bedenklich wird. Daher sollte bei allen stadtplanerischen Maßnahmen an genügend Grünflächen und an eine möglichst geringe Versiegelung gedacht werden.
- Die im Westen des Stadtteils in Hauptwindrichtung gelegenen Gewerbe- und Industrieflächen führen zu Lärm- und Luftbelastungen der Bewohner, die bei allen planerischen Maßnahmen auch im Nicht-Wohnbereich bedacht werden müssen.
- Instrumente, die der Umsetzung bzw. Kommunikation von Anpassungsmaßnahmen dienen, müssen an die sozialen Strukturen in Wilhelmsburg angepasst werden (z.B. auch in anderen Sprachen zur Verfügung stehen).
- Aufgrund des hohen Anteils junger Menschen in Wilhelmsburg sollte das Thema Anpassung an den Klimawandel verstärkt in den Schulen angesprochen werden.



## **LAND: Klimaangepasste Kulturlandschaft – Leistungsfähiger Naturhaushalt und umweltschonende Landbewirtschaftung**







Die gemäßigten klimatischen Bedingungen und die naturräumliche Vielfalt in der Metropolregion Hamburg bieten Lebensraum für viele Arten und erlauben eine hohe Nutzungsvielfalt durch den Menschen. Im Rahmen des KLIMZUG-NORD Themenfeldes „Zukunftsfähige Kulturlandschaften“ wurden Auswirkungen sich ändernder Klimabedingungen auf Kulturlandschaften der Region sowie geeignete Anpassungsmöglichkeiten erforscht. Innerhalb der Region verstärken sich in Richtung Südosten mit zunehmender Entfernung von der Nordsee die kontinentalen Züge des Klimas mit im Vergleich höheren Temperaturen im Sommer und geringeren Temperaturen im Winter. Zugleich nehmen die durchschnittlichen Jahresniederschläge von Nordwest nach Südost deutlich ab (s. Kap. 2). Da im überwiegend durch landwirtschaftliche Nutzung dominierten Süden der Metropolregion sandige Böden mit geringem

Wasserspeichervermögen vorherrschen, ist diese Region durch sommerliche Bodentrockenheit geprägt. An den meteorologischen Messstationen der Metropolregion Hamburg wurde für das vergangene Jahrhundert eine Erwärmung der bodennahen Atmosphäre beobachtet. Die Auswirkungen auf die Kulturlandschaften werden zum Beispiel in der Verfrühung phänologischer Phasen wie der Apfelblüte im Alten Land sichtbar (s. Kap. 6.7). Die im Rahmen von KLIMZUG-NORD verwendeten Klimaprojektionen bilden einen weiteren Anstieg der bodennahen Lufttemperatur im 21. Jahrhundert ab, der je nach zugrunde liegendem Emissionsszenario mehr oder weniger stark ausfällt (s. Kap. 3). Es werden veränderte Niederschlagsmengen mit Zunahmen besonders in den Herbst- und Wintermonaten projiziert, während sich für die Sommermonate in den meisten Simulationen eine abnehmende Tendenz zeigt.



Die Auswirkungen auf die Kulturlandschaften in der Metropolregion Hamburg sind vielfältig. Zum Beispiel wird eine deutlich zunehmende Anzahl von Tagen mit Temperaturen höher als 5 °C projiziert, was auf eine Verlängerung der Vegetationsperiode hindeutet. Eine längere Wachstumsperiode kann einerseits den Anbau neuer Kulturarten und -sorten ermöglichen, andererseits aber auch Schaderreger für Pflanzen Bäume begünstigen. Die Ausbreitung neuer Arten kann zur Verdrängung der heimischen Flora und Fauna und zu gesundheitlichen Belastungen des Menschen führen. Die höheren Temperaturen im Boden führen zu einer Beschleunigung des Stoffumsatzes und fördern damit den Abbau organischer Bodensubstanz. Besonders Moore, die große Mengen an Kohlenstoff speichern, können bei Entwässerung und abnehmenden Niederschlägen zunehmend zur Kohlenstoffquelle werden und durch Freisetzung von Treibhausgasen den Treibhauseffekt in der Atmosphäre verstärken. Andererseits erhöhen zunehmende Niederschläge im Winter die Gefährdung durch Hochwasser und die Bodenerosion. Abnehmende Niederschläge im Sommer können zusätzliche Stressoren für Fließgewässer, Feuchtgebiete, einschließlich der Auen und Moore sowie der Heidelandschaften erzeugen. Eine steigende Entnahme von Grundwasser zur Beregnung für die landwirtschaftliche Produktion kann zu einer Gefährdungszunahme grundwasserabhängiger Biotope führen. Sollte die Grundwasserneubildung zudem zurückgehen, zieht erhöhter Wasserbedarf gegenüber geringerem Wasserangebot erhebliche Nutzungskonflikte nach sich.

## Rahmenbedingungen

Die Klimaveränderungen bringen für den Kulturlandschaftsraum besondere Herausforderungen für die Bestandteile und Schutzgüter des Naturhaushalts wie Wasser, Boden, Klima, Luft, Pflanzen, Tiere und den in ihm wirkenden Menschen, für Siedlungen, Tourismus, die Industrie und Landwirtschaft mit sich (s. Abb. 6.0.1).

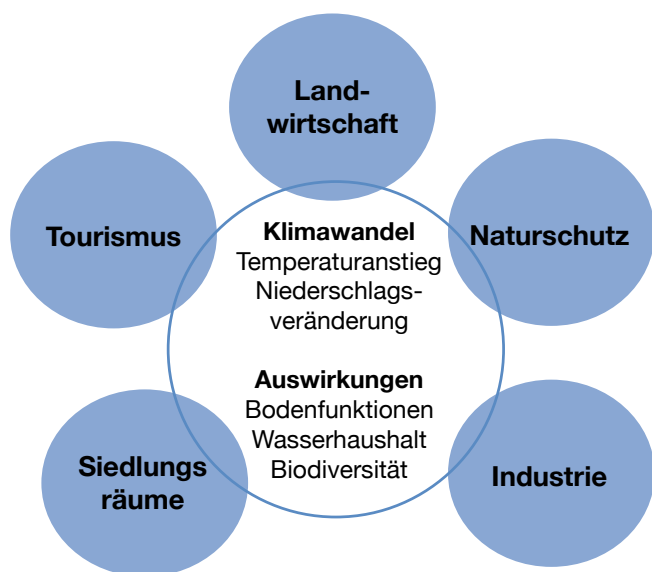


Abb. 6.0.1: Die unterschiedlichen Nutzungsansprüche der ländlichen Räume werden von den beispielhaft ausgewählten Auswirkungen des Klimawandels langfristig betroffen sein (Grafik E. Rottgardt).

Das Themenfeld „Zukunftsfähige Kulturlandschaften“ in KLIMZUG-NORD hat den Fokus daher auf die in der Region nutzungskonkurrierenden Sektoren Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Naturschutz gelegt. Dabei wurde seitens der landwirtschaftlichen Bodennutzung von einem Rahmenszenario intensiver Landwirtschaft mit auch künftig hoher Flächenproduktivität ausgegangen. Diese wird dem demografischen Wandel zufolge sowohl aus der weltweit steigenden Nachfrage nach Nahrungsmitteln als auch aus der Flächenverknappung durch eine Zunahme diverser Flächennutzungsansprüche im ländlichen Raum hergeleitet. Es wird davon auszugehen sein, dass mit fortgesetztem Strukturwandel die Zahl der Betriebe weiterhin eher abnehmen, die durchschnittliche Betriebsgröße andererseits ansteigen wird. Die Bedeutung der Landwirtschaft als bestimmender Wirtschaftsfaktor wird in der Metropolregion Hamburg hoch bleiben (s. Kap. 6.1).

## Anpassungsoptionen – ein Ausblick auf die folgenden Kapitel

Die Landwirtschaft ist in der südlichen Metropolregion ein bestimmender Wirtschaftsfaktor und hat bereits heute das Problem der Wasserknappheit. Auswirkungen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Bodennutzung und die Erprobung von Anpassungsmaßnahmen sind im Kapitel 6.1 und im Exkurs zum Modellgebiet Lüneburger Heide nachzulesen.

Im Kapitel 6.4 werden Klimarückwirkungen von Anpassungsmaßnahmen thematisiert und in 6.2 geplante Klimaanpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft vor dem Hintergrund des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) naturschutzfachlich analysiert und bewertet.

Die Entwicklung des Grundwasserhaushalts (s. Kap. 6.3), die als zentrale Grundlage für Verteilung und Durchführung von Anpassungsoptionen die zukünftige Wasserverfügbarkeit beschreibt, wurde auf regionaler und lokaler Skala modelliert. Die Problematik von Grundwasserentnahmen in Hinblick auf Natur- und Wasserhaushalt wird sich danach noch verschärfen. Somit kommt Verfahren zur Grundwasseranreicherung über gezielten Waldumbau ebenso wie der Option, gereinigtes Abwasser (s. Kap. 6.5) wiederzuverwenden (Versickerung, Fließgewässereinleitung, Beregnung) ein hohes Innovationspotenzial zu. Gleiches gilt für wassersparende Verfahren in der Feldberegnung, für die Erprobung neuer Feldfrüchte, die Bodenbearbeitung oder Techniken zur Erhöhung der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge und damit der Bodenfruchtbarkeit (s. Kap. 6.1, 6.3).

Böden sind durch ihre Lebensraumfunktion für schützenswerte Lebensgemeinschaften insbesondere vom Klimawandel betroffen (s. Kap. 6.6). Weitere Stressoren wie Nährstoffeinträge bei Brenndoldenwiesen, Heiden und Mooren und schadstoffinduzierter Landnutzungswandel in den Auen auf die betrachteten Schutzgüter sind zu berücksichtigen. Grundlegende Bedeutung der Erhaltung von Bodenfunktionen treten insbesondere hervor, wenn die klimaprojizierte Entwicklung von Brenndoldenwiesen in Auen (s. Kap. 6.6, Exkurs Modellgebiet Elbtalau), die der Heidevegetation oder die Kohlenstoffspeicherfunktion von Mooren und Auen oder deren Bodenwasserhaushalt in den Fokus genommen werden. Klimawandeleinflüssen

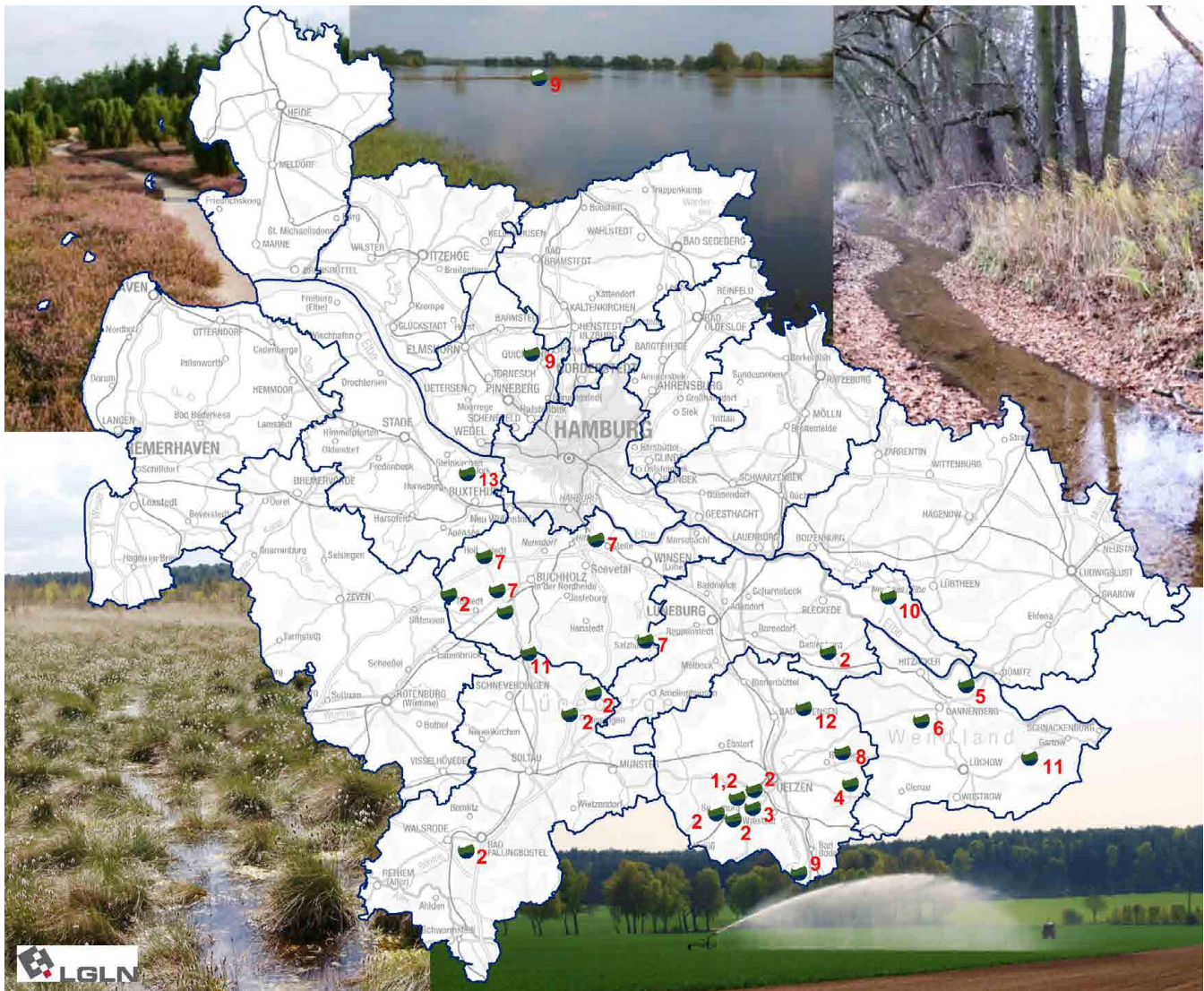


Abb. 6.0.2: Lage der Untersuchungsgebiete (grüne Halbkreise) der inter- und transdisziplinär angelegten Anpassungsprojekte: 1 Versuchsfeld Hamerstorf, 2 Humusentwicklung auf Sandböden, 3 teilflächenspezifische Beregnung, 4 Obere Wipperau, 5 Dannenberger Marsch (s. Kap. 6.1); 6 Waldumbau (s. Kap. 6.3); 7 Pharmazeutika in Kläranlagenablauf und Vorfluter, 8 Versickerung von gereinigtem Abwasser (s. Kap. 6.5); 9 Hartshoper Moor, Himmelmoor und Schweimker Moor, 10 Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalaue“, 11 Lüneburger Heide und Nemitzer Heide, 12 Röbbelbach (s. Kap. 6.6), 13 Altes Land (s. Kap. 6.7). Grafik: I. Mersch, Karte LGLN; Fotos: M. von Haaren (Elbe, Beregnung), B. Urban (Moor), H. Reusch (Röbbelbach), M. Körtke (Heide).

auf den traditionsreichen und wirtschaftsrelevanten Obstbau im Alten Land (s. Abb. 6.0.2; 13) und Anpassungsoptionen wird abschließend im Kapitel 6.7 nachgegangen.

Der ländliche Raum der Metropolregion Hamburg zeichnet sich durch konträre Charakteristika aus: intensive landwirtschaftliche Flächennutzung, hochsensible Ökosysteme (Auen, Moore, Heiden) und wachsende Siedlungsstrukturen. Anpassungsmaßnahmen sind daher auf allen Sektoren und Ebenen notwendig, gleichberechtigte Planung und Entwicklungen sämtlicher Bereiche ist für eine resiliente Region der ländlichen Räume Voraussetzung. Synergien müssen besser genutzt und Risiken vorhergesehen und in die gegenwärtigen Planungen einbezogen werden. Dabei sollten auch unkonventionelle Szenarien durchdacht und Handlungswege zur Realisierung erschlossen werden.

**Autorinnen:**

*Brigitte Urban, Leuphana Universität Lüneburg;  
Diana Rechid, Max-Planck-Institut für Meteorologie und  
Climate Service Center Hamburg;  
Imke Mersch, LWK Niedersachsen*

**Mit Textentwürfen haben beigetragen:**

*Frank Krüger, Maren Meyer-Grünefeld und  
Elena Rottgardt, Leuphana Universität Lüneburg;  
Johannes Prüter, Biosphärenreservatsverwaltung  
Niedersächsische Elbtalaue, Hitzacker*



## 6.1 Landwirtschaft: Flächenproduktivität sichern

Die Metropolregion Hamburg umfasst neben den städtischen Bereichen große Räume mit ländlicher Prägung. Hier stellt die Landwirtschaft mit einem intensiven Ackerbau oft einen entscheidenden Wirtschaftsfaktor dar. Daher ist sie in einigen Landkreisen ein relevanter Arbeitgeber. Zu beachten sind auch bedeutsame Verflechtungen zu anderen Wirtschaftszweigen sowohl als Nachfrager als auch als Lieferant von Vorleistungen. Für den wirtschaftlichen Erfolg der landwirtschaftlichen Betriebe sind die klimatischen Bedingungen mit ausschlaggebend. Entsprechend stark ist die Beeinflussung durch den Klimawandel, wobei insbesondere die für die Sommermonate projizierten abnehmenden Niederschläge begrenzend wirken können.



Abb. 6.1.1: Abgeerntetes Feld (Michael R./pixelio.de)

Dennoch ist der Klimawandel nur ein Faktor von vielen, der die künftigen Aussichten der Agrarbetriebe beeinflusst. Von entscheidender Bedeutung sind die sozioökonomischen Rahmenbedingungen, insbesondere die Entwicklung der Agrarmärkte und der EU-Agrarpolitik. Bei den nachfolgenden Betrachtungen wird von einem Rahmenszenario mit hoher Bedeutung der landwirtschaftlichen Produktivität ausgegangen. Auch als Gestalter der Landschaft, bei der es sich weitgehend nicht um eine Natur-, sondern um eine durch den Menschen geschaffene Kulturlandschaft handelt, hat die Landwirtschaft eine wichtige Funktion. Damit steht sie in enger Wechselbeziehung zu anderen Nutzungen des ländlichen Raumes (Erholung, Tourismus) und dem Naturschutz.

### Ackerbau anpassen

Die im niedersächsischen Teil der Metropolregion vorherrschenden Sandböden weisen eine sehr geringe nutzbare Feldkapazität (nFK) auf, und erfordern daher oftmals schon unter den jetzigen Klimabedingungen eine Beregnung zur Sicherung der Erträge und Qualitäten. Nach den Berechnungen der Bodenwasserhaushaltsmodelle wird die Beregnungsbedürftigkeit künftig zunehmen. Gegenwärtig sinkt der Bodenwassergehalt sandiger Ackerböden in der Vegetationszeit an durchschnittlich 70 Tagen pro Jahr unter den für die optimale Entwicklung der meisten Kulturen erforderlichen Grenzwert von 40 % der nFK. Auf der Grundlage des Emissionsszenarios A1B des IPCC wird für die 2020er-Jahre eine Zunahme der Trockentage von 11 - 18 %, für die 2030er-Jahre von 12 - 20 %

berechnet. Eine besonders starke Zunahme der Trockenheit ist in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zu erwarten. Die Bedeutung der Beregnung wird daher mit dem Klimawandel zunehmen und die Verfügbarkeit von Wasser für diesen Zweck entscheidend für die weitere (land-)wirtschaftliche Entwicklung sein.

Da aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsansprüche Wasser nicht unbegrenzt zur Verfügung steht, ist seine effiziente Nutzung entscheidend. Grundsätzlich können Pflanzen das vorhandene Wasser nur dann optimal in Ertrag umsetzen, wenn alle anderen Ansprüche (Nährstoffe, Pflanzengesundheit) erfüllt sind. Verschiedene Pflanzenarten haben einen unterschiedlichen Wasserbedarf, aber der Landwirt muss seine Anbauentscheidung vor allem nach den Vermarktungsmöglichkeiten treffen. Auch Sorten unterscheiden sich in ihren Ansprüchen an die Wasserversorgung, allerdings zeigten Versuche mit einer Auswahl aktueller Sorten kein in der Praxis nutzbares Potenzial für einen erfolgreichen Anbau ohne Beregnung in trockenen Jahren. Erst bei Sicherstellung eines ausreichenden Wasserangebots durch Beregnung erreichten die geprüften Sorten gute Erträge, die für eine hohe Flächenproduktivität erforderlich sind. Bei unsicherer Wasserversorgung (keine Beregnungsmöglichkeit) sollten zur Risikoabsicherung Sorten mit unterschiedlichen Ansprüchen an die Niederschlagsverteilung gewählt werden.

Geringere Bestandesdichten vermindern tendenziell den Wasserbedarf und Mulchsaaten können die unproduktive Verdunstung verringern. Bei der Düngung bieten neue Düngungsverfahren die Chance, die Nährstoffverfügbar-

keit auch unter Trockenbedingungen zu verbessern. Dies gilt beispielsweise bei Kartoffeln für die platzierte Düngung, bei der der Dünger als Band im Boden unterhalb/seitlich der Pflanzknolle abgelegt wird. Beim Anbau von Getreide kann das sogenannte CULTAN-Verfahren durch eine verbesserte Nährstoffverfügbarkeit und weniger Stress für die Pflanzenwurzel bei der Düngeraufnahme einen Beitrag hierzu leisten. Zudem werden die Nitratgehalte im Sickerwasser im Vergleich zur breitwürfigen Düngung vermindert. Die variablen Kosten bei betriebsübergreifender Mechanisierung über Lohnunternehmer betragen 30 - 45 € pro Hektar und können durch reduzierte Düngemittelmengen verringert werden. Die Landwirte müssen sich allerdings auf die bei diesem Verfahren veränderte Düngungsstrategie einstellen. Auf den Sandböden führte eine verspätete Düngung mit dem CULTAN-Verfahren zu ertraglichen Nachteilen, bei rechtzeitiger Düngung war das Verfahren der herkömmlichen Düngungsstrategie ebenbürtig.

## Humusgehalt beachten

Entscheidend für die Wasserspeicherfähigkeit der Sandböden ist ihr Humusgehalt. Eine Erhöhung des Humusgehaltes kann in gewissem Maße die nFK erhöhen. Für eine regelmäßige Düngung, beispielsweise mit Siedlungskomposten, ist dieser Effekt belegt. Daneben bestehen umfangreiche Wechselwirkungen zu klimatischen Bedingungen und zur Beregnung.

In Sandböden mit extrem niedrigen Tongehalten wird bei Ackernutzung der Gehalt an organischer Substanz bei optimaler Beregnung langfristig um rund 5 t/ha höher liegen als bei fehlender Beregnung. Ohne Beregnung werden die Humusgehalte auch bei humusschonenden Fruchtfolgen aufgrund der geringeren Bildung pflanzlicher Biomasse stetig abnehmen. Der mikrobielle Abbau der organischen Substanz ist in ausreichend feuchtem Boden zwar höher als in trockenem, in der Bilanz bleibt der Humusspiegel jedoch höher als bei Beregnungsverzicht. Eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur wird den Abbau organischer Bodensubstanz fördern. Die Auswertung von Computersimulationen ergab eine durch die Klimaerwärmung zu erwartende Absenkung der Kohlenstoffgehalte sandiger Oberböden bis 2050 um etwa 1,3 t Corg/ha. Zunehmende Anteile von Energiemais in der Fruchtfolge senken den Humusspiegel um weitere ca. 3,1 t/ha ab. (s. Abb. 6.1.2).

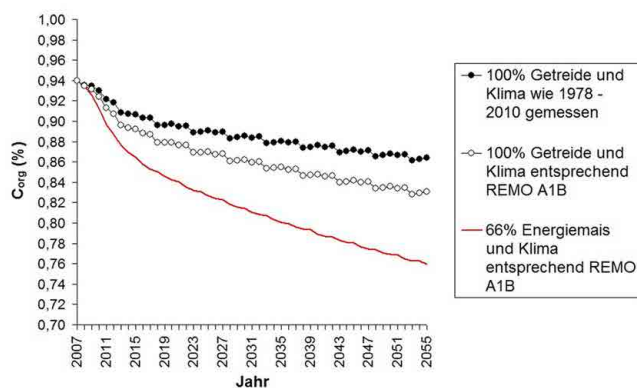


Abb. 6.1.2: Projektierter Entwicklung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff im Oberboden sandiger Ackerböden. Einfluss von Klimawandel und Fruchtfolge (K. Schmelmer).

Die Humuszehrung durch Klimaerwärmung und Energiefruchtfolgen kann durch organische Düngung, Untersaat und Zwischenfruchtanbau kompensiert werden. Zur Ermittlung optimaler betriebsspezifischer Maßnahmen unter Berücksichtigung des Klimaeinflusses empfiehlt sich für die landwirtschaftliche Beratung das Humusbilanzmodell CANDY-Carbon Balance (CCB), das vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) entwickelt wurde. Die Ergebnisse künftiger Untersuchungen zum Einsatz verschiedener organischer Bodenverbesserer, wie zum Beispiel Pflanzenkohle, sollten in das Beratungstool integriert werden, um seine Anwendbarkeit zu erweitern und zu aktualisieren. Auch bei Nutzung aller Möglichkeiten wassersparender Anbauverfahren und der Humusanreicherung ist die Wasserversorgung in der Vegetationsperiode für eine ökonomische landwirtschaftliche Produktion nicht ausreichend und eine Zusatzbewässerung erforderlich.

## Beregnung steuern

Das Wasser zur Beregnung muss möglichst effizient eingesetzt werden, weil die nachhaltig mögliche Entnahmemenge begrenzt ist und die Kosten für seine Förderung und Verteilung hoch sind (durchschnittlich 300 € pro ha und Jahr). Der Beregnungssteuerung, d.h. der Bestimmung des optimalen Beregnungszeitpunktes und der benötigten Wassermenge, kommt daher große Bedeutung zu. Eine Möglichkeit, dem Landwirt hierfür eine Hilfestellung zu geben, bieten Rechenmodelle.

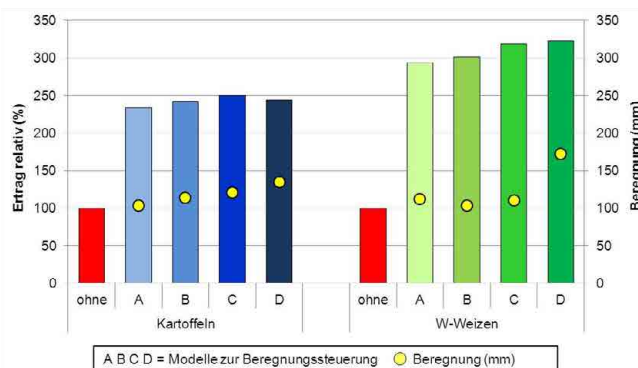


Abb. 6.1.3: Erträge von Kartoffeln und Winterweizen (relativ, Mittel der Jahre 2010 und 2011) ohne Beregnung und mit Beregnung durch vier unterschiedliche Modelle zur Beregnungssteuerung, Ertrag ohne Beregnung = 100 % (A. Riedel)

Aus den Ergebnissen eines Feldversuchs zur Bewertung unterschiedlicher Rechenmodelle wird deutlich, dass mit einer optimalen Beregnungssteuerung eine hohe Wassernutzungseffizienz bei gleichzeitig hohem Ertrags- und Qualitätsniveau erreicht werden kann (s. Abb. 6.1.3). Dabei bedeutet der höchste Wassereinsatz nicht zwangsläufig den höchsten Ertrag. Vielmehr kommt es darauf an, die Beregnung optimal an die Ansprüche der jeweiligen Kulturart und Sorte anzupassen. Wenn das gelingt, kann Wasser eingespart werden, ohne auf Ertrag oder Qualität verzichten zu müssen. Dies war in den Versuchen allerdings nur innerhalb eines gewissen Bereichs möglich. Wurde die Wassermenge zu stark reduziert, waren Ertragseinbußen die Folge. Ohne Beregnung kam es zu ausgeprägten Mindererträgen. Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass Sortenunterschiede bei der



Reaktion auf Trockenstress bzw. Beregnung existieren und diese für ein optimiertes Beregnungsmanagement berücksichtigt werden müssen. Die untersuchten Modelle kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen für den Einsatz der Beregnung. Für eine hohe Effizienz der Umsetzung des zusätzlich zugeführten Wassers in Ertrag ist zum einen eine möglichst exakte Berechnung des Wasserverbrauchs und des aktuell verfügbaren Wasservorrats im Boden notwendig. Diese Aufgabe haben die beteiligten Modelle gut gelöst. Zum anderen ist jedoch auch die Ermittlung des Wasserbedarfs der jeweiligen Kultur in einem bestimmten Entwicklungsabschnitt wichtig. Hier weisen die Unterschiede zwischen den Modellen darauf hin, dass die Methoden an die jeweiligen Standort- und Kulturbedingungen angepasst werden müssen, wobei den Erfahrungen der Berater und der Landwirte eine wichtige Rolle zukommt. EDV-gestützte Programme zur Beregnungssteuerung sind als Beratungstool zur Verbesserung der Wassereffizienz geeignet und sollten auf breiterer Basis als bisher Eingang in die Praxis finden. Zu ihrer weiteren Optimierung besteht aber noch Forschungsbedarf auf der Grundlage von Feldversuchen.

### Zukunftsfähige Kulturlandschaft planen

Neben Verbesserungen bei der Beregnungssteuerung bestehen auch bei der Technik Optimierungspotenziale. So erfordern die aktuell vorwiegend eingesetzten Rohrtrommelberegnungsmaschinen mit „Kanone“ einen hohen Eingangsdruck und damit einen hohen Energieeinsatz. Die Wasserverteilung und damit -effizienz ist insbesondere bei Wind suboptimal. Kreis- und Linearberegnungsanlagen ermöglichen einen effizienteren Einsatz der begrenzten Ressource Wasser und aufgrund des geringeren Eingangsdruckes die Einsparung von Energie (s. Abb. 6.1.4). Bei tendenziell wachsenden Betriebsgrößen und einem zunehmenden Beregnungsbedarf sind auch die arbeitswirtschaftlichen Vorteile der Großflächen-

regner ein wichtiger Aspekt. Um diese Technik einzusetzen, sind häufig Anpassungen der Agrarstruktur erforderlich. Dabei müssen gleichzeitig die Ansprüche des Natur- und Landschaftshaushaltes gewahrt werden, damit sich alle Bereiche gleichrangig entwickeln können.

Für den Landkreis Uelzen, Fokusgebiet Obere Wipperau, wurde ein Konzept der Landentwicklung zur Förderung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel erarbeitet. Der „Dynamische Kulturlandschaftsplan“ erfasst die Wünsche aller beteiligten Akteure wie Landwirtschaft, Naturschutz und Verwaltung und zeigt Konflikte zwischen den einzelnen Planungen auf (s. Abb. 6.1.6). Der für diesen Zweck gegründete Kulturlandschaftsverband Obere Wipperau vereint die Stakeholder und begleitet in einem moderierten Verfahren die Planungen bis hin zur Umsetzung. Schutzgüter können in ihrer Funktion nachhaltig gesichert und weiterentwickelt werden, Anpassungen an den Klimawandel erfolgen als No-Regret-Maßnahmen. Der „Dynamische Kulturlandschaftsplan“ kann ein Werkzeug zur Lösung von Landnutzungskonflikten sein. Seine Beziehung zu anderen Planungsinstrumenten wird im Modellgebietsbericht Lüneburger Heide der KLIMZUG-NORD Reihe näher dargestellt.

### Landwirtschaftliche Betriebe als System betrachten

Neben den ackerbaulich intensiv genutzten Gebieten werden auch die Flussauen – hier steht die Elbaue im Fokus – landwirtschaftlich genutzt (für eine detaillierte Darstellung siehe Modellgebietsbericht Elbtalaue). Hier findet sich vorwiegend Grünland, für das aufgrund von Schadstoffeinträgen, die sich nicht nur in den Böden anreichern, Nutzungsalternativen diskutiert werden. Landwirtschaft in der Aue dient nicht nur wirtschaftlichen Interessen, sondern erfüllt vielfältige Aufgaben. Hochwasser-, Natur- und Kulturlandschaftsschutz stellen die Betriebe



Abb. 6.1.4: Kreisberegnungsanlage (M. von Haaren)



Abb. 6.1.5: Agrarlandschaft (LWK Niedersachsen)

vor Herausforderungen. Im Klimawandel sollten nicht nur die Betriebe selbst, sondern auch die flankierenden agrarpolitischen Maßnahmen (Agrarumweltmaßnahmen, Vertragsnaturschutz) einen Anpassungsprozess durchlaufen. Um betriebsindividuell Planungen vorzunehmen, wurde ein EDV-gestütztes Planungsmodell entwickelt, in dem alle wichtigen Faktoren aus Ökologie, Ökonomie und Sozialem eines Betriebes systemdynamisch vernetzt sind. Das Modell kann einen Betrieb im Ist-Zustand abbilden, betriebliche Kennwerte und die Auswirkungen sich ändernder Rahmenbedingungen auf den Betrieb aufzeigen, z.B. reduzierte Erträge durch Sommertrockenheit oder Überflutungsschäden. Der Betriebsleiter oder sein Berater kann im Modell durch Schieberegler und Eingabemasken Änderungen der landwirtschaftlichen Nutzung, z.B. als Anpassung an die Folgen des Klimawandels, durchspielen und sofort die Wirkung auf Kennwerte und Benotungen beobachten. So verbessert der Betriebsleiter seine Entscheidungsfähigkeit. Das Modell versucht das komplexe System „landwirtschaftlicher Betrieb“ ganzheitlich zu erfassen und gegenüber der spartenweisen Auswertung (z.B. Betriebszweiganalyse zur Milchproduktion) einen Wissenszuwachs zu generieren. Beispielsweise können ökonomische und soziale Vorteile ökologischer Maßnahmen erkannt werden.

Aufgrund der Komplexität des Modells (1.004 Faktoren in 87 Submodellen mit einer Vielzahl an Verknüpfungen) ist eine externe Überprüfung des Modells schwierig. Vor der ersten Anwendung auf einem Betrieb ist eine umfangreiche Dateneingabe durch einen Berater notwendig.

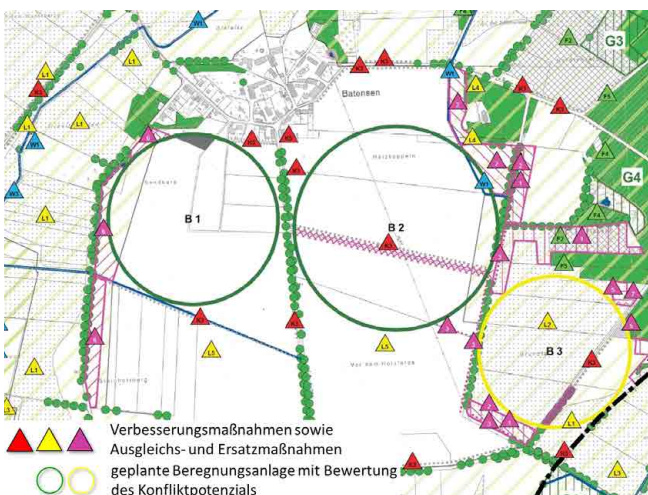


Abb. 6.1.6: Ausschnitt aus dem „Dynamischen Kulturlandschaftsplan“ (Lamprecht & Wellmann GbR)

*Autorinnen und Autoren:*

*Jürgen Grocholl, Enno Eiben, Alix Mensching-Buhr, Imke Mersch, Angela Riedel, Monika von Haaren, LWK Niedersachsen; Sven Schulze, HWWI; Karin Schmelmer, Brigitte Urban, Leuphana Universität Lüneburg*



## KLIMZUG-NORD KURS:

Die Sicherstellung der Flächenproduktivität erfordert eine ausreichende Verfügbarkeit von Wasser für die Landwirtschaft. Die Effizienz der Nutzung des Wassers muss gesteigert werden. Hierzu sollte die Landwirtschaft unter anderem

- verstärkt wassersparende Anbautechniken im Ackerbau zum Einsatz bringen, z.B. Mulchsaat, geringe Saatstärke, neue Düngungsverfahren,
- das Ertragsrisiko durch Diversifizierung bei Sorten- und Artenwahl absichern,
- eine Humusanreicherung oder zumindest -erhaltung durch organische Düngung und Zwischenfruchtanbau betreiben, speziell beim Silomais Untersaaten nutzen,
- die Wassernutzungseffizienz der Beregnung - als eine wesentliche Voraussetzung für sichere Erträge und Qualitäten - durch eine optimierte Steuerung (z.B. EDV-gestützte Modelle) verbessern,
- Wasser- und energieeffiziente Großflächenregner einsetzen und die Agrarstruktur in Abstimmung mit Naturschutz und anderen Ansprüchen entsprechend anpassen,
- sich aktiv an Erhalt und Mehrung der begrenzten Ressource Wasser beteiligen und damit eine ausreichende Verfügbarkeit sichern (s. Kap. 6.3, 6.5),
- die betriebliche Fortentwicklung unter Berücksichtigung von Systemzusammenhängen betrachten.



## 6.2 Naturschutzverträglichkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen – effiziente Feldberechnung als Fallbeispiel

Eine dauerhafte Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts einschließlich einer nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter ist eines der zentralen Ziele des Naturschutzes. Die Auswirkungen des Klimawandels führen dazu, dass seitens der Landwirtschaft zum Teil bereits heute und zukünftig vermehrt Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden. Hierbei sind Zielkonflikte mit dem Naturschutz möglich. Neben qualitativen Auswirkungen auf den Naturhaushalt sind auch ordnungsrechtliche Instrumentarien des Naturschutzes, insbesondere die Eingriffsregelung, zu hinterfragen und gegebenenfalls an die neu entstehenden Herausforderungen anzupassen.

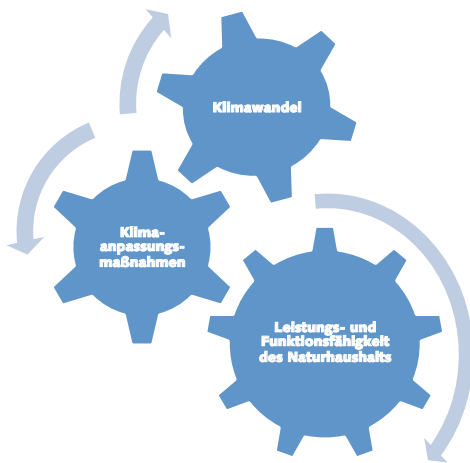


Abb. 6.2.1: Die Auswirkungen des Klimawandels machen Klimaanpassungsmaßnahmen notwendig, welche Effekte auf die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts haben werden (E. Rottgardt).

Als Fallbeispiel der im Rahmen von KLIMZUG-Nord durchgeführten Untersuchungen diente eine landwirtschaftlich optimierte Form der Feldberechnung, Linearberechnungsanlagen, wie sie z.B. in der Gemeinde Suhlendorf im LK Uelzen geplant sind. Diese Technik gilt im Vergleich zu den herkömmlichen Großflächenregnern mit Berechnungsmaschine („Berechnungskanone“) als effizienter hinsichtlich der Wasser- und Energienutzung. Es werden dafür Flächen von mindestens 20 - 40 ha benötigt, was im Landkreis Uelzen zum Teil Anpassungen der Agrarstruktur erforderlich macht, wofür u.a. eine Entfernung bestehender Feldgehölze notwendig ist. Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung als zentrales flächendeckendes Naturschutzinstrument in Deutschland ist in Bezug auf die



Abb. 6.2.2: Linearberechnungsanlage im LK Uelzen (M. von Haaren)

durch Klimaanpassungsmaßnahmen entstehenden Effekte vorrangig zu überprüfen, um den nachhaltigen Umgang mit Naturgütern langfristig zu gewährleisten. Die Eingriffsregelung ist in den §§14-18 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) geregelt. Maßnahmen der Landwirtschaft nehmen traditionell eine Sonderrolle bei der Regelung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung ein. Laut §14 (2) BNatSchG ist die landwirtschaftliche Bodennutzung nicht als Eingriff zu sehen, soweit dabei die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege berücksichtigt werden (sog. Landwirtschaftsklausel). Als zentrales Element der Landwirtschaftsklausel spielt der Begriff der „guten fachlichen Praxis“ für die naturschutzfachliche Bewertung von landwirtschaftlichen Klimaanpassungsmaßnahmen eine bedeutende Rolle. Die gute fachliche Praxis, wie sie in §14 (2) und §5 (2 - 4) BNatSchG, in §17 Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und dem Fachrecht der Landwirtschaft verankert ist, beinhaltet unter anderem eine standortangepasste Bewirtschaftung und eine nachhaltige Bodennutzung.

### Berücksichtigung sowohl des Status quo als auch zukünftiger Entwicklungen

Um die gegenwärtigen Anforderungen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung, insbesondere die Ausnahmetatbestände der Landwirtschaftsklausel zu diskutieren, ist eine naturschutzfachliche Wirkungsprognose und Eingriffsbewertung der Klimaanpassungsmaßnahme durchgeführt worden. Untersucht wurden die Bestandteile des Naturhaushalts in Anlehnung an §7 BNatSchG (1) Boden, Wasser, Klima, Luft, Pflanzen, Tiere, Biotopverbund, Schutzgebiete sowie das Landschaftsbild. Für die naturschutzfachliche Wirkungsprognose und die Bewertung der Linearberechnung sind drei regionale Szenarien für das Jahr 2050 skizziert worden. Dabei handelte es sich um Szenarien mit einer Gewichtung auf „Status quo Entwicklung“, „Ökonomie“ und „Umwelt“, in denen die Faktoren Landnutzung und Klimawandel die zentralen Rollen spielten. Diese Vorgehensweise ermöglichte nicht nur, den Status quo des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes, sondern auch zukünftige, sozio-ökonomisch und ökologisch langfristige Entwicklungen in die Eingriffsbewertung einzubeziehen. Ausschlaggebendes Bewertungskriterium war allein die Erheblichkeit von Beeinträchtigungen des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes. Dabei liegt, unabhängig von einer veränderlichen Rechtsentwicklung, der Gedanke zugrunde, dass es grundsätzliches Ziel der Eingriffsregelung ist und langfristig bleiben wird, erhebliche Eingriffe in den Naturhaushalt zu vermeiden und zu vermindern.

## Zielkonflikte mit dem Naturschutz

Grundsätzlich ist ein sparsamer und effizienter Umgang mit der Ressource Wasser, wie ihn die Landwirtschaft im Landkreis Uelzen mit der hier beschriebenen Linearberechnung anstrebt, aus Sicht des Naturschutzes positiv. Dennoch haben die Untersuchungen gezeigt, dass es infolge der Maßnahme zu einigen Zielkonflikten mit dem Naturschutz kommt. Die im Untersuchungsgebiet ohnehin schon sehr hoch bewertete potenzielle Winderosionsgefährdung der Böden wird durch die Vergrößerung der zusammenhängenden landwirtschaftlichen Flächen und das Entfernen von Feldgehölzen weiter verstärkt.

Der dadurch entstehende hohe Bodenabtrag beeinträchtigt die Bodenfunktionen, dies insbesondere bei längeren Trockenperioden einhergehend mit starken Wind- oder Niederschlagsereignissen. Untersuchungen an der Ilmenau haben gezeigt, dass ein Anstieg der Wasserentnahmemengen, wie durch vielfachen Einsatz von Linearberechnung im gesamten Landkreis Uelzen bei lang andauernden Trockenperioden, eine Reduzierung des Oberflächenabflusses und der Pegelstände des Grundwassers bewirken kann. Die Biotope „bodensaurer Eichenmischwald“, „Kiefernwald armer Sandboden“ gingen infolge der Maßnahme verloren. In den Feldgehölzen und Ackerwildkräutern vorkommende Insekten und Vögel (insbesondere der Ortolan (*Emberiza hortulana*)) erleben in Abhängigkeit ihres Vorkommens zum Teil einen Lebensraumverlust. Betroffen wäre z.B. der Blaue Eichenzipfelfalter (unter anderem in bodensauren Eichenmischwäldern). Das Landschaftsbild erfährt durch eine Entfernung der Feldgehölze und Feldvergrößerung eine zunehmende Monotonisierung.

## Konkretisierung der Eingriffsregelung

In einem Langfristszenario, welches vermehrt Linearberechnungsanlagen vorsieht, bedeuten die aufgezählten Zielkonflikte trotz ressourcenökonomischer Verbesserungen gegenüber heutigen Verfahren eine erhebliche Beeinträchtigung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts. Eine Klimaanpassungsmaßnahme, die erhebliche Verschlechterungen der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts bewirkt, entspricht nicht dem Leitgedanken der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung und der „guten fachlichen Praxis“. Es gibt zu denken, dass Einzelaspekte dieser Form der Klimaanpassung – insbesondere die verstärkte potenzielle Winderosionsgefährdung – zu einer Verstärkung der erwarteten Klimawandelauswirkungen führen können. Um erheblichen Beeinträchtigungen des Naturhaushalts zuvorzukommen, wird eine Anpassung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung als notwendig erachtet. Die Untersuchungen machen unseres Erachtens deutlich, dass die Landwirtschaftsklausel konkretisierungsbedürftig ist. Eine nachhaltige Nutzungsfähigkeit der Naturgüter (Ziel des Naturschutzes im Sinne des BNatSchG) erscheint unter Anbetracht langfristiger Entwicklungen nicht ausreichend mit einer flächenhaft durchgeführten Klimaanpassung in Form von Linearberechnung vereinbar. Ebenso ist eine klimawandelbezogene Konkretisierung des Begriffes der „guten fachlichen Praxis“ erforderlich, um einen

nachhaltigen Umgang mit den Naturgütern in der Kulturlandschaft weiterhin zu gewährleisten. Der vorliegende Fall zeigt, dass die Begriffe „standortangepasste“ und „nachhaltige Bodennutzung“ Auslegungssache und entsprechend konkretisierungsbedürftig sind. In Anbetracht der zukünftigen Entwicklungen bzw. Beeinträchtigungen der natürlichen Ressourcen durch Auswirkungen des Klimawandels und Veränderungen der Landnutzung sollte der Gesetzgeber die Eingriffsregelung anpassen. Ein dadurch normativ gewährleisteter langfristiger, schonender Umgang mit den vorhandenen und zum Teil begrenzten Ressourcen dürfte sowohl im Interesse des Naturschutzes als auch im Interesse einer nachhaltigen Landwirtschaft erstrebenswert sein.

Abschließend ist anzumerken, dass in der Praxis im Rahmen des Kulturlandschaftsverbands „Obere Wipperaue“ bereits heute ein Austausch zwischen den Akteuren der Landwirtschaft und des Naturschutzes hinsichtlich der Umsetzung von Kreis- und Linearberechnungsanlagen im LK Uelzen stattfindet. Der Kulturlandschaftsverband bietet über die rechtlichen Vorgaben hinaus ein Forum zum Austausch unterschiedlicher Interessen, um Konflikte frühzeitig entgegenzuwirken.

Autorin und Autor:

Elena Rottgardt, Karsten Runge,  
Leuphana Universität Lüneburg



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Die Landwirtschaftsklausel und den Begriff der „guten fachlichen Praxis“ mit Blick auf Klimaanpassungsmaßnahmen konkretisieren und in der Praxis anwendbar gestalten. Dabei nicht nur den Status quo des Naturhaushalts, sondern auch langfristige Entwicklungen zum Klimawandel und zu Landnutzungsänderungen einbeziehen.
- Die Zusammenarbeit und Vernetzung zwischen Einrichtungen der Nachhaltigkeitsforschung und Landwirtschaftskammern weiter vertiefen. Dabei eine auf allen Ebenen gleichberechtigte Kooperation zwischen Akteuren der Landwirtschaft und des Naturschutzes fördern.



## 6.3 Grundwasserhaushaltssituation und Anpassungsstrategien bei Knappheit

Klima und Grundwasser innerhalb der Metropolregion Hamburg unterscheiden sich stark. Das Klima ist im Westen atlantisch-maritim, im Südosten subkontinental geprägt. Hieraus resultieren unterschiedliche Bedingungen für die Grundwasserneubildung, für die grundwassergespeisten Biotope (z.B. Bäche) und besonders für die Nachfrage nach Grundwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung. Vor allem im südöstlichen Teil (Lüneburger Heide, Wendland) muss bei intensivem Ackerbau zur Sicherung der Erträge beregnet werden. Dieser Wasserbedarf wird unter Klimawandelbedingungen steigen, und es gilt, Konflikte zwischen der landwirtschaftlich geprägten Regionalentwicklung und dem Schutz grundwasserabhängiger Biotope zu minimieren.

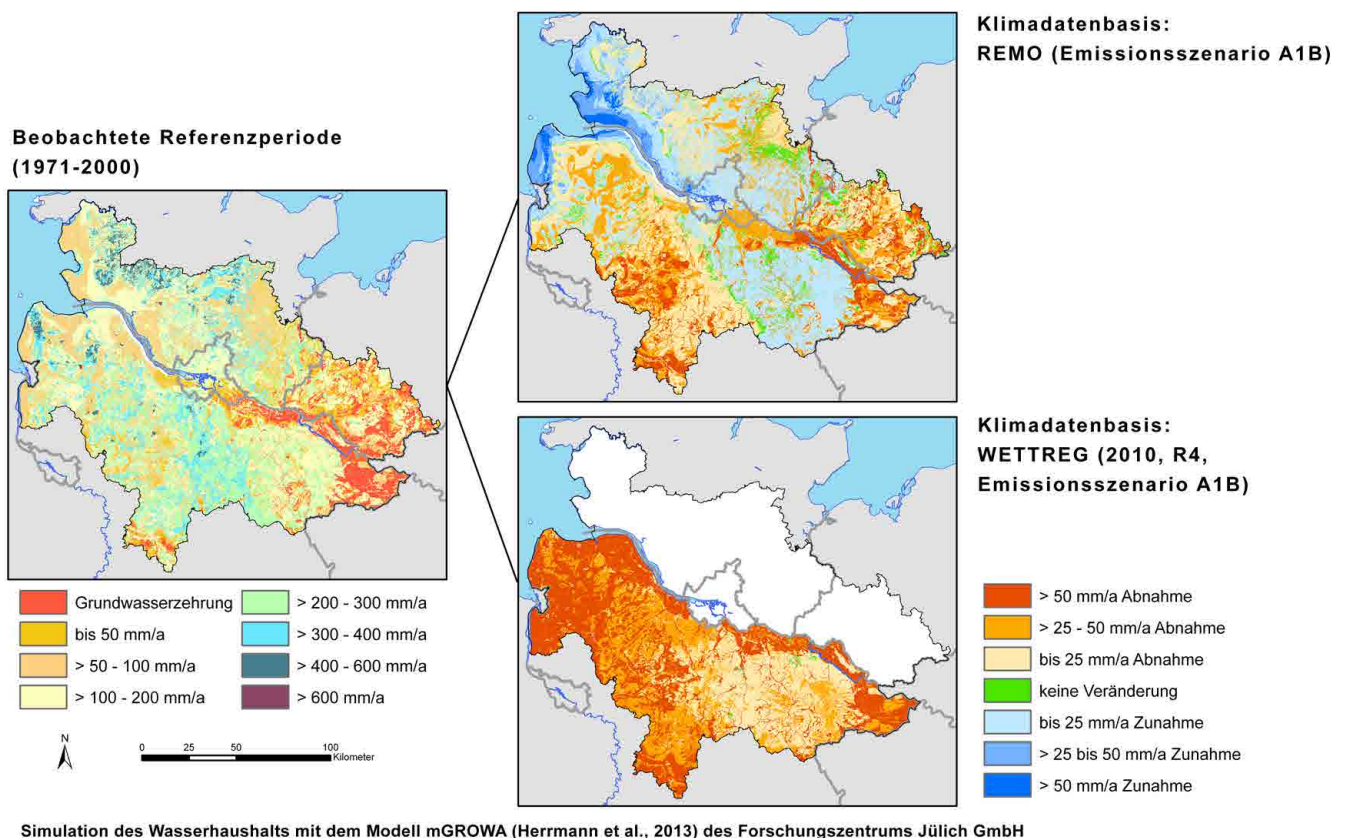


Abb. 6.3.1: Möglich erscheinende Veränderung der Grundwasserneubildung in der zukünftigen hydrologischen Periode 2071 - 2100 gegenüber der Gegenwart

Schon heute dürfen nur die Mengen Grundwasser entnommen werden (Grundwasserdargebot), die heute und zukünftig durch die Prozesse im Landschaftswasserhaushalt wieder neu gebildet werden und die eine ausreichende Versorgung schützenswerter Biotope berücksichtigen.

### Auswirkung von möglichen Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung

Die möglichen Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Grundwasserdargebot und auf die Beregnungsbedürftigkeit wurden regional differenziert ermittelt. Basierend auf Simulationen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA wurden der zeitlich variable Wassergehalt in den Böden und damit der Bewässerungsbedarf sowie die Grundwasserneubildung für lange Zeiträume (> 30 Jahre) simuliert. Derzeit zeigen Klimasimulationen, die mit unterschiedlichen regionalen Klimamodellen angetrieben wurden, eine große Bandbreite möglich erscheinender Entwicklungen unter

der Annahme bestimmter Emissionsszenarien. Einige Klimamodelle projizieren einen deutlichen Rückgang der Niederschläge insbesondere während der Vegetationsperiode, zum Beispiel das statistische Modell WETTREG. Andere Klimamodelle projizieren einen Anstieg der Winterniederschläge, z.B. das dynamische Modell REMO. Der von den Modellen simulierte Temperaturanstieg bis zum Ende des Jahrhunderts verläuft sehr ähnlich und ist bedeutend für den Landschaftswasserhaushalt. Er führt zu höherer Verdunstung und schnellerer Entleerung des Bodenwasserspeichers bzw. Austrocknung und damit zu höherem Beregnungsbedarf. Ferner wird während der Grundwasserneubildungsperiode (Spätherbst, Winter) mehr Wasser verdunstet und steht damit nicht mehr für die Grundwasserneubildung zur Verfügung. Die Abbildung 6.3.1 zeigt links die langjährige mittlere Grundwasserneubildung (1971 - 2000) nach mGROWA. Rechts sind die möglich erscheinenden Veränderungen gegenüber der Referenzperiode mit bekanntem Klima zu sehen. Die REMO-Simulationsergebnisse führen im Modell

mGROWA in 2071 - 2100 zu einem insgesamt leichten Rückgang der Grundwasserneubildung um ca. 10 mm/a, jedoch mit wichtigen räumlichen Unterschieden. Die WETTREG-Ergebnisse hingegen zeigen einen flächen-deckenden Rückgang der Grundwasserneubildung um ca. 60 mm/a am Ende des Jahrhunderts. Mit heutigem Kenntnisstand kann keine Aussage gemacht werden, welche der gezeigten Entwicklungen wahrscheinlicher ist. Beide Möglichkeiten sind mit beträchtlichen Unsicherheiten verbunden und sollten für sich alleine genommen noch nicht für die Umsetzung konkreter regionsspezifischer Anpassungsstrategien herangezogen werden.

Die Simulationen zeigen zwei mögliche zukünftige Entwicklungswege auf. Im ersten Fall reicht die zukünftig im Winter neu gebildete Menge Grundwasser aus, um einen erhöhten Wasserbedarf für die Feldberegnung während der Vegetationsperiode zu decken und die öffentliche Wasserversorgung sicherzustellen. Weitere Investitionen in effiziente technische Infrastruktur sind hierbei ebenso notwendig wie eine weiterhin am Prinzip der Nachhaltigkeit orientierte Vergabe der Wasserrechte. Im zweiten Fall sinkt die Grundwasserneubildung derart ab, dass der erhöhte Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft nicht mehr nachhaltig aus den vorhandenen Grundwasserleitern gedeckt werden kann.

## Erhöhung der Grundwasserneubildung durch Waldumbau

Seit langem ist bekannt, dass die winterliche Grundwasserneubildung stark von der jeweiligen Landnutzung abhängt. In der Reihenfolge Acker, Grünland, Laubwald, Nadelwald nimmt die jährliche Versickerungsmenge in den Grundwasserkörper deutlich ab. Diskutiert wird deshalb die Umwandlung der in der Lüneburger Heide dominanten Kiefern-Monokulturen in laubholzbetonte Mischwälder zur Sicherung des Grundwasserhaushalts. Die Auswirkungen des Klimawandels und verschiedener Waldbaustrategien auf das Grundwasserdargebot wurde für die Privatwaldflächen der niedersächsischen Ostheide mit einem für forstliche Fragestellungen entwickelten Wasserhaushaltsmodell ermittelt (LWF-BROOK90). Vier verschiedene Waldbauszenarien wurden modelliert: „Tradition“ (100 % Kiefer), „Ertrag+“ (80 % Douglasie, 20 % Buche), „Ertrag“ (70 % Buche, 30 % Douglasie) und „Wasser“ (70 % Eiche, 30 % Buche). Zu beachten ist, dass die stärker laubholzorientierten Varianten mit ihren höheren Ansprüchen an Wasser und Nährstoffe nicht auf allen Standorten etabliert werden können. Die zukünftige Veränderung des Klimas wurde als Ensemble von insgesamt acht Klimaszenarien abgebildet. Hinsichtlich der Grundwasserneubildung ist die Variante „Ertrag+“ (dominierende Douglasie) am ungünstigsten. Die im Modell resultierenden Veränderungen der Grundwasserneubildung sind abhängig von der jeweiligen Kombination aus Klimawandelprojektion und Waldbauszenario. Dabei ist die Variante „Wasser“ in allen ausgewählten Klimaszenarien in der Lage, die projizierten Grundwasserwirkungen des Klimawandels zu „neutralisieren“. Im Südosten der Metropolregion wurden verschiedene Waldbauvarianten in KLIMZUG-NORD etabliert. Zukünftig werden ihr Wuchsverhalten und ihre Sickerwasserbildung (Grundwasserneubildung) erfasst. Für eine



Abb. 6.3.2: Kiefernwald ohne und mit Buchenunterbau (LWK Niedersachsen)

Strategie des Waldumbaus ist allerdings die Entwicklung von Regelungen zum Ausgleich von Nutzen und Kosten erforderlich, weil der Nadelholzanbau derzeit deutlich wirtschaftlicher ist als der von Laubholz.

## Kooperationsnetzwerk Wasser

Strategien zur langfristigen Sicherung einer zugleich sozio-ökonomisch und naturschutzfachlich ausreichenden Leistungsfähigkeit des Grundwasserhaushalts können nur mit wohlwollender Teilnahme aller Vertreter der betroffenen Gruppen (Verwaltung, Nutzer, Schützer sowie Eigentümer) umgesetzt werden. Aus besserem Verstehen der Ziele und Bedürfnisse der jeweils anderen Gruppen können außerdem wichtige Synergie-Effekte oder die Bereitschaft zu Mehrwert-Lösungen (Win-win-Situation) entstehen. Deshalb wurde in KLIMZUG-NORD für die südöstliche Metropolregion das „Kooperationsnetzwerk Wasser“ gegründet, um die Basis für gemeinschaftliche Strategieentwicklung zu schaffen. Ziel war, die nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers fortzuführen und dies mit Strategien zur Erhöhung der Grundwasserneubildung zu verbinden, z.B. durch die Umwandlung von Kiefernmonokulturen in laubholzbetonten Mischwald (s. Modellgebietsbericht Lüneburger Heide).

Autorin und Autor:

Elisabeth Schulz, LWK und Frank Wendland, FZ Jülich



**KLIMZUG-NORD KURS:**

- Wasserhaushalts-Simulationen sollten bei Vorliegen verbesserter Klimaprojektionen ergänzt werden, um den heute bestehenden Unsicherheiten zu begegnen.
- Die verantwortlichen Wasserbehörden sollten einen rechtsverbindlichen Rahmen zum ökonomischen Ausgleich von Kosten und Nutzen des Waldumbaus schaffen, um privatwirtschaftliches Engagement anzuregen.
- Wasserwirtschaftlich ausgerichteten Waldumbau mit öffentlichen Mitteln fördern.
- Langfristiges Monitoring unter den Waldumbau-Versuchspartnern sichern.
- Das neu entwickelte Format „Kooperationsnetzwerk Wasser“ verstärkt einsetzen.









**Ulrich Ostermann,**  
**Geschäftsführer des Kreisverbandes**  
**der Wasser- und Bodenverbände Uelzen**

### **1. Welche Relevanz hat das Thema Anpassung an den Klimawandel für Ihre tägliche Arbeit?**

Das Thema hat eine große Bedeutung. Der Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände beschäftigt sich seit mindestens fünf Jahren mit Strategien zum Management und zur Stabilisierung des Wasserhaushalts in den Landkreisen Uelzen und Lüneburg. Dabei geht es neben der Bewältigung aktueller Grundwassermengenprobleme durch konkrete und bereits umgesetzte Maßnahmen auch darum, in Zukunft einen ausreichenden Wasserschatz bewirtschaften zu können.

### **2. Wie sind Sie mit dem Verbundprojekt KLIMZUG-NORD in Berührung gekommen und mit welchen Projektthemen hatten Sie Kontakt?**

Über das Projekt „NoRegret“ der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen und die Vorhaben der Leuphana Universität Lüneburg (Frau Prof. Dr. Urban) zur Anpassung von Fließgewässern an mögliche Veränderungen der Basisabflüsse.

### **3. Wurden in Kooperation mit den Projektpartnern von KLIMZUG-NORD Maßnahmen konkret umgesetzt oder werden in Zukunft Projekte realisiert?**

Ja, ein Pilotprojekt zur Anpassung eines Gewässers (Röbelbach) im Landkreis Uelzen, welches die bereits eingetretene Situation der Abflussverminderung durch die Verringerung des Querschnitts und die Anhebung der Gewässersohle verbessert. Dann haben wir im Rahmen von KLIMZUG-NORD mit Fördermitteln des BMBF noch ein Pilotprojekt zur Versickerung von Klarwasser in einem Kiefernwald in die Praxis umgesetzt. Hierbei wird Klarwasser großflächig mithilfe von neuartiger robuster Tröpfchenbewässerungstechnik versickert. Ein Monitoringkonzept erfasst mögliche Auswirkungen auf Boden und Waldbestand.

Weitere Projekte sind unabhängig von KLIMZUG-NORD in Vorbereitung (Konzeptphase) bzw. in der Umsetzungsphase (Planung, Ausschreibung von Bauleistungen).

### **4. In welcher Form hat das Projekt Ihre eigene Arbeit beeinflusst?**

Das Projekt hat uns/mich noch einmal darin bestärkt, dass es möglich und sinnvoll ist, frühzeitig über Maßnahmen zur Kompensation von Klimawandelfolgen nachzudenken und diese auch umzusetzen.

### **5. Glauben Sie, dass sich die Ergebnisse des Projekts normativ oder institutionell auf die politischen oder verwaltungstechnischen Abläufe ihrer jeweiligen Region, Stadt oder Gemeinde auswirken?**

Nein, bzw. nur sehr eingeschränkt. Das eigentliche Problem ist hier, dass nur kleine Teile unserer Gesellschaft verstanden haben, dass bereits heute etwas geschehen muss, um gerade im Bereich Grund- und Oberflächenwasser zukunftsfähige Projekte auf den Weg zu bringen. Die Institutionen der Verwaltung sind heute leider meist zu schwach, um selbst aktiv zu werden.

### **6. Wie bewerten Sie aus Ihrer persönlichen Sicht den Erfolg des Projektes?**

Der größte Erfolg ist, dass die regionalen und überregionalen Akteure ein besseres gegenseitiges Verständnis für ihre jeweiligen Belange entwickelt haben und auch bereit sind, im Sinne der Sache eigene Interessen zurückzustellen und gemeinsam Projekte anzugehen.

### **7. Was möchten Sie den Kursbuchleserinnen und -lesern sonst noch ans Herz legen?**

Projekte leben und entwickeln sich nur durch die Protagonisten, die sie erfinden und vorantreiben und die andere Akteure motivieren. Gesetze, Verordnungen und Förderprogramme sind Mittel zum Zweck oder bieten die Möglichkeit, wissenschaftlich zu untermauern, was man eigentlich vorher schon wusste. Nur wer selbst aktiv wird, kann auch etwas erreichen.



## 6.4 Rückwirkungen von Feldberegnung und Waldumbau auf das regionale Klima – eine Modellrechnung

Die Wechselwirkungen zwischen Land und Atmosphäre beeinflussen das regionale Klima. Die Landnutzung spielt dabei eine wichtige Rolle. Änderungen in der Landnutzung und Landbewirtschaftung sind mögliche Maßnahmen zur Anpassung an sich ändernde Klimabedingungen. Eine wichtige Fragestellung dabei ist, wie Anpassungsmaßnahmen der Land- und Forstwirtschaft an den Klimawandel wiederum auf das regionale Klima zurückwirken. Um dies zu untersuchen, wurden Feldberegnung und eine veränderte Waldzusammensetzung direkt in ein regionales Klimamodell implementiert und ihre Rückwirkungen auf das Klima simuliert. Damit können auch nicht-lineare Wechselwirkungen innerhalb des regionalen Klimasystems untersucht werden. Die Ergebnisse, die hier vorgestellt werden, können auf Regionen mit ähnlichen Klima- und Standortbedingungen übertragen werden.

### Effekte der Beregnung

Die im Südosten der Metropolregion Hamburg vorherrschenden sandigen Böden sind aufgrund ihres geringen Wasserhaltevermögens durch sommerliche Trockenheit geprägt. Der Anbau von Hackfrüchten und Getreide erfordert daher schon unter heutigen Klimabedingungen Feldberegnung. Bei zunehmender Verdunstung von Wasser von den Landoberflächen und durch die Pflanzen unter wärmeren Klimabedingungen und abnehmenden sommerlichen Niederschlägen wird der Beregnungsbedarf zukünftig zunehmen. Mit dem regionalen Klimamodell REMO wurde ein Experiment für das Jahr 2003 durchgeführt, das sich durch besonders warme und trockene Bedingungen im Sommer ausgezeichnet hat, die unter zukünftigen Klimabedingungen sehr viel häufiger auftreten können.

Im Modell wurden die Beregnungsmengen indirekt über eine höhere Bodenfeuchte gesteuert. Im Juli ist der Anteil an potenziell bewässerungsbedürftigen Flächen relativ hoch, deshalb werden die Effekte der Bewässerung für diesen Monat gezeigt. Die erhöhte Bodenfeuchte führt zu einer Erhöhung der Verdunstung (s. Abb. 6.4.1). Das führt zu einer leichten Kühlung bis zu 0,75 K in den Gebieten, in denen Bewässerung stattgefunden hat. Der Niederschlag dagegen wird kaum durch die Bewässerung beeinflusst.

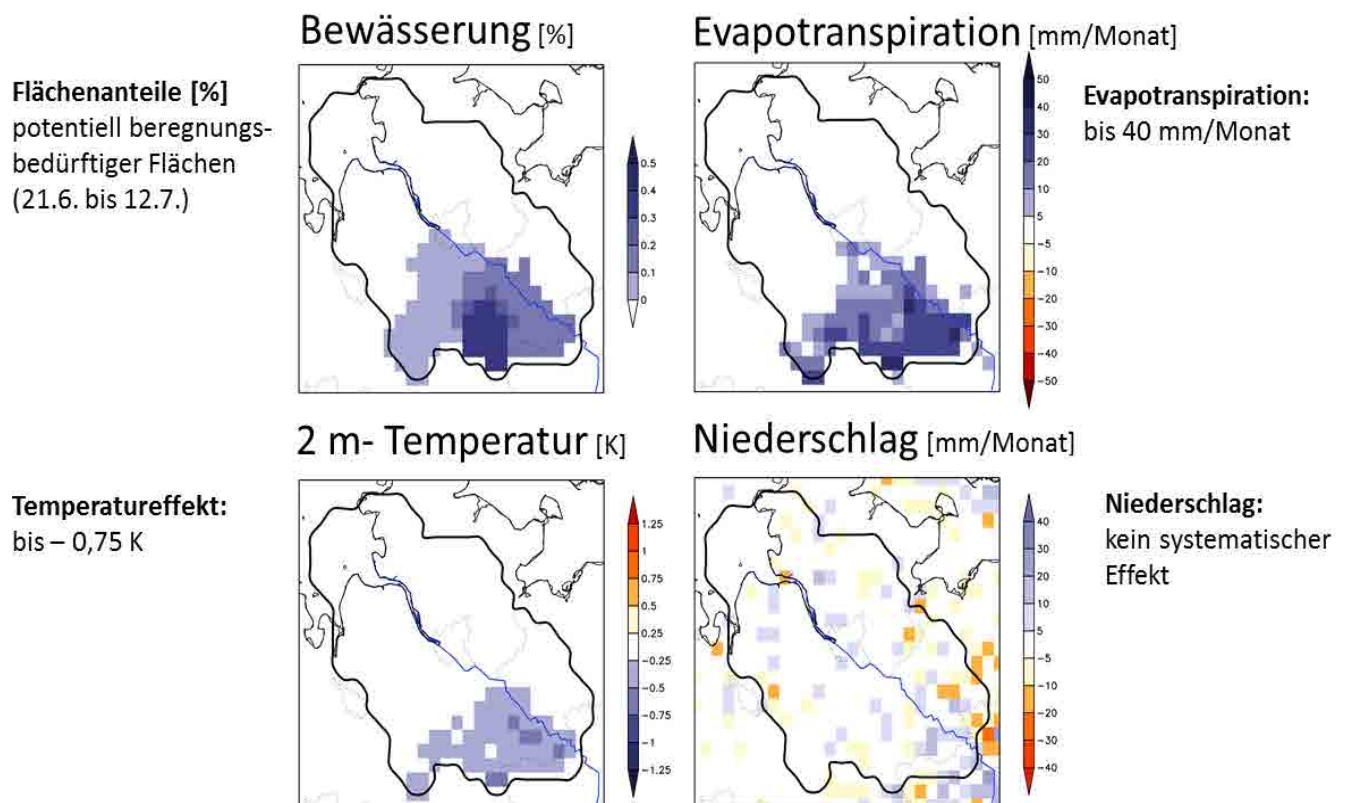
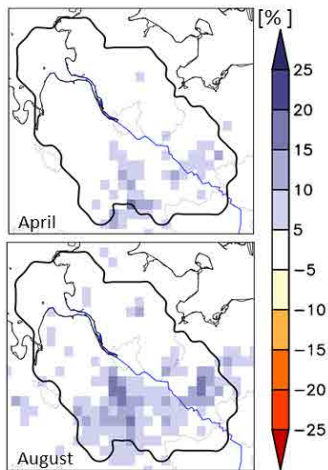
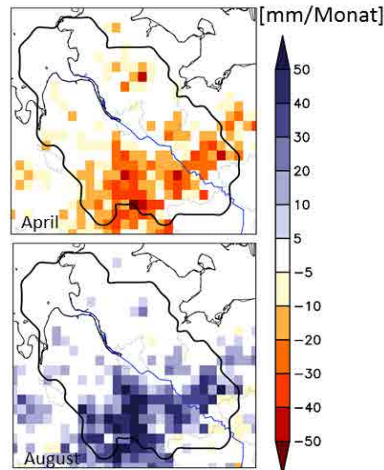


Abb. 6.4.1: Flächenanteile der potenziell beregnungsbedürftigen Flächen und Effekte der Bewässerung (Bewässerungsexperiment minus Referenzsimulation) auf Evapotranspiration, bodennahe 2 m-Lufttemperatur und Niederschlag für Juli 2003.

## Relative Bodenfeuchte



## Evapotranspiration



## 2 m- Temperatur

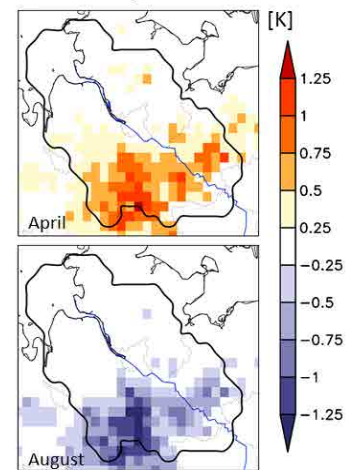


Abb. 6.4.2: Rückwirkung des Waldumbaus auf die relative Bodenfeuchte, die Evapotranspiration und die bodennahe 2 m-Lufttemperatur für das Jahr 2003, gezeigt in den Monaten April (oben) und August (unten).

## Effekte des Waldumbaus

Weitere Experimente wurden mit einer veränderten Waldzusammensetzung durchgeführt. Waldumbau ist eine mögliche Anpassungsmaßnahme an die projizierten wärmeren und trockeneren Sommer. Mit Waldumbau ist hier der Umbau von überwiegend Nadelwald in Laub- und Mischwald gemeint. Mischwälder sind gegenüber Nadelwäldern anpassungsfähiger an sich ändernde Klimabedingungen. Empirische Studien haben gezeigt, dass Laubwälder für eine höhere Grundwasserbildung sorgen können, weil die Transpiration außerhalb der Vegetationszeit reduziert ist und aufgrund der geringeren Blattoberflächen von Laubbäumen ganzjährig weniger Verluste durch Interzeptionsverdunstung stattfinden als bei Nadelbäumen. Die Landnutzungsverteilung im regionalen Klimamodell REMO wurde so modifiziert, dass alle in der Metropolregion vorkommenden Nadelwälder durch Laubwälder ersetzt und die Oberflächeneigenschaften entsprechend verändert wurden. Es wurden Simulationen für heutige Klimabedingungen (1971 - 2000) und zukünftige Zeitperioden (2071 - 2100) unter der Annahme des A1B Szenarios erstellt, um die Rückwirkungen der neuen Waldzusammensetzung unter heutigen und unter veränderten Klimabedingungen zu untersuchen.

Die Ergebnisse der Modellsimulationen bestätigen, dass durch geringere Interzeptionsverdunstung und weniger Transpiration im Frühjahr das Bodenwasserreservoir im Jahresverlauf unter Laubwald länger gefüllt bleibt und die relative Bodenfeuchte im Sommer erhöht ist. Im Frühjahr führt die geringere Verdunstung über Laubwald zu einer höheren Temperatur im Vergleich zur vorherigen Bewaldung durch Nadelbäume. In vergleichsweise warmen und niederschlagsarmen Sommern ermöglicht dann der höhere Bodenwassergehalt unter Laubwald mehr Verdunstung als mit Nadelwald. Die Verdunstungskühlung führt im Gebietsmittel um bis zu 0,6 K geringeren Lufttemperaturen. In Abbildung 6.4.2 sind die Auswirkungen auf den simulierten Wasser- und Energiehaushalt für das besonders warme und trockene Jahr 2003 gezeigt. Im Frühjahr (hier der Monat April) ist die relative Bodenfeuchte unter Laubwald höher als unter Nadelwald. Die Verdunstung ist geringer, was die Verdunstungskühlung vermindert und damit die Temperatur um bis zu 1 K erhöht. Im Sommer (hier der Monat August) ist dann die relative Bodenfeuchte unter Laubwald deutlich höher als unter Nadelwald. Über Laubwald kann demzufolge im Sommer mehr verdunstet werden als über Nadelwald. Das führt zu mehr

Verdunstungskühlung über Laubwald und damit zu einer um bis zu 1 K geringeren Temperatur in einigen Gebieten. Da im zukünftigen Klima unter den Annahmen des A1B Emissionsszenarios warme und trockene Sommer häufiger vorkommen, tritt durch die verbesserte Speicherung von Wasser im Boden unter Laubwald der Effekt der Verdunstungskühlung im Sommer entsprechend häufiger auf. Weiterführende Aspekte im Zusammenhang mit Waldumbau finden sich in Kapitel 6.3. In dieser Studie wurden verschiedene Waldbauszenarien modelliert, um zu analysieren, welche Baumarten unter Klimaänderungsbedingungen zu einer höheren Grundwasserneubildung beitragen.

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse beider Experimente zeigen Rückwirkungen von möglichen Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft auf das Klima, welche unter bestimmten Bedingungen in Boden und Atmosphäre die durch veränderte Treibhausgasemissionen bewirkte Klimaänderungen bis zu einem bestimmten Maß lokal verstärken oder abschwächen können. Diese Wechselwirkungen zwischen Klima- und Landnutzungsänderungen sind bei der Erarbeitung von Anpassungsstrategien in Land- und Forstwirtschaft zu berücksichtigen. Zudem sind bei der Entwicklung von Waldbaustrategien weitere Aspekte zu berücksichtigen, wie z.B. die Ausbreitung von Schädlingen und die Anfälligkeit der Baumarten unter zukünftigen Klimabedingungen.

Autorinnen:

Juliane Petersen und Diana Rechid, Max-Planck-Institut für Meteorologie und Climate Service Center Hamburg



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Beregnung und Waldumbau bewirken in warmen und trockenen Sommern eine leichte Kühlung der Umgebung.
- Waldumbau kann zu einer erhöhten Speicherung von Bodenwasser im Frühjahr und damit zu mehr Bodenwasserverfügbarkeit im Sommer an geeigneten Standorten beitragen.



## 6.5 Möglichkeiten der Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser in der Landwirtschaft

Wenn die Bäche im Sommer nur wenig Wasser führen, ist eine Einleitung von geklärtem Abwasser (Klarwasser) wegen der noch enthaltenen Rückstände von Pharmazeutika besonders problematisch. Durch häufigere sommerliche Trockenphasen könnte sich diese Problematik im Klimawandel verstärken. Gleichzeitig steigt der Beregnungsbedarf und damit das Interesse der Landwirtschaft daran, das ursprünglich aus dem regionalen Grundwasser stammende Klarwasser nicht ungenutzt aus der Region abfließen zu lassen, sondern dem Grundwasser wieder zuzuführen.

### Pharmazeutika-Konzentrationen im Kläranlagenablauf und zugehörigem Vorfluter

Im Projektgebiet müssen schon heute zum Teil sehr abflussschwache Gewässer den Ablauf großer Kläranlagen aufnehmen. Ziel der Untersuchungen war es, nach der hydrologischen und chemisch-analytischen Aufnahme der vorherrschenden Situation, einen Bezug der gemessenen Konzentration von Pharmazeutika zu Wetterereignissen herzustellen, um eine Einordnung hinsichtlich langfristiger klimatischer Entwicklungen zu ermöglichen.

Es wurde dazu ein einjähriges Monitoring an vier Kläranlagen in der Nordheide und den zugehörigen Fließgewässern durchgeführt. Probenahmen erfolgten aus den Kläranlagenabläufen sowie ober- und unterhalb der Einleitungsstellen (s. Abb 6.5.1). Nach einer umfangreichen Literaturrecherche wurden stellvertretend die vier Pharmazeutika Carbamazepin (ein Antiepileptikum und Antidepressivum), Diclofenac (ein Schmerzmittel), Metoprolol und Atenolol (beides Betablocker) für das Monitoring ausgewählt.

Die Analysen zeigten allgemein die höchsten Pharmazeutika-Konzentrationen in den Fließgewässern bei Niedrigwasser. Metoprolol wies die höchsten Konzentrationen auf, gefolgt von Diclofenac, Carbamazepin und Atenolol. Potenziell durch Pharmazeutika verursachte Umweltrisiken sind u. a. die Entstehung von Antibiotikaresistenzen, hormonelle Wirkungen und die Akkumulation einzelner Substanzen in der Nahrungskette. Alle diese Phänomene gehen mit Veränderungen einzelner Organe der betrachteten Spezies einher. Ausgehend von aktuellen Klimasimulationen ist besonders gegen Ende des 21. Jahrhunderts mit stärkeren Belastungssituationen für das Ökosystem Fließgewässer zu rechnen, wenn die entsprechenden Einträge nicht minimiert werden.

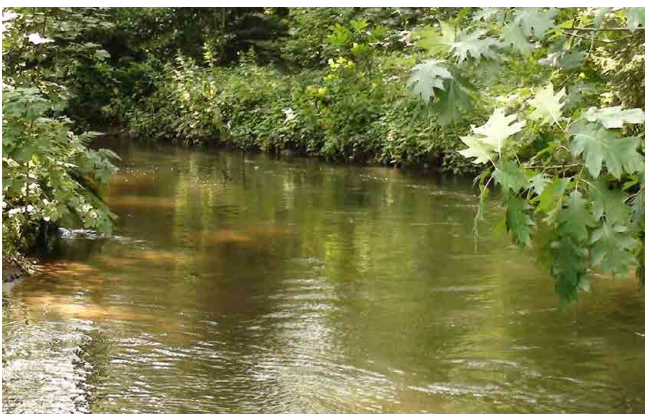


Abb. 6.5.1: Luhe auf Höhe von Salzhausen (W. Meyer)

### Keimversuche zur Eignung von Kläranlagenablauf zur landwirtschaftlichen Bewässerung

Um die Eignung von Kläranlagenablauf zur landwirtschaftlichen Bewässerung zu untersuchen, wurde in Keimversuchen ermittelt, wie sich potenzielle Inhaltsstoffe im Bewässerungswasser auf das Pflanzenwachstum von Raps, Gerste und Weizen auswirken (s. Abb. 6.5.2). Neben der Keimrate wurden Längenwachstum, Gewichtsentwicklung und Chlorophyllgehalt der Pflanzen bestimmt. Das Gießwasser wurde mit Metoprolol, Diclofenac und Carbamazepin als Einzelsubstanzen und auch in Mischung angereichert. Es wurde mit dem in Kläranlagenabläufen gemessenen Konzentrationsniveau und mit deutlich erhöhten Konzentrationen gearbeitet.

Erste Ergebnisse zeigten eine eingeschränkte Entwicklung der Pflanzen mit steigender Pharmazeutikakonzentration. Die einzelnen Stoffe hatten unterschiedlich starke Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung und konnten darüber hinaus alle im Pflanzenmaterial nachgewiesen werden.

Eine Bewässerung mit geklärtem Abwasser ist nicht unbedenklich in Bezug auf die Anwendung für Lebensmittel. Deshalb sollten hierfür zusätzliche Maßnahmen zur Aufbereitung des Wassers erprobt werden. Von der aktuellen Situation bezüglich der Einbringung von Pharmazeutika in die Umwelt geht keine akute Gefährdung für Mensch, Tier und Natur aus. Chronische Folgewirkungen von Pharmazeutika und speziell Pharmazeutika-Mischungen müssen jedoch weiter untersucht werden.



Abb. 6.5.2: Keimversuch mit Gerste (W. Meyer)

## Pilotvorhaben Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser in der landwirtschaftlichen Bewässerung

Der Klimawandel erhöht die schon heute bestehende Notwendigkeit der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen im Süden der Metropolregion Hamburg. Da das verfügbare Grundwasser begrenzt ist, wurde erprobt, inwieweit die Wiederverwendung gereinigten Abwassers für die vorhandene landwirtschaftliche Bewässerung eine Alternative darstellt. Das Klarwasser der kommunalen Kläranlage Rosche (ca. 7.000 Einwohner) im Landkreis Uelzen wird bisher in die Wipperau eingeleitet und sollte nach den ursprünglichen Ideen im Rahmen eines Pilotvorhabens für die Beregnung genutzt werden. Es erfolgten überschlägige Planungen und Kostenschätzungen und die Klärung pflanzenhygienischer und wasserrechtlicher Fragen sowie der Akzeptanz des Lebensmitteleinzelhandels (Zertifizierungsvorgaben). Die EHEC-Krise im Frühjahr 2011 machte jedoch die bisherige Akzeptanz der beteiligten Beregnungsverbände zunichte. Als weiteres Problem stellten sich die hohen Kosten für das aufgrund der zeitlichen Verschiebung zwischen Beregnungswasserbedarf und Klarwasseranfall erforderliche Speicherbecken dar.

## Indirekte Wiederverwendung

Als Alternative zur direkten Verwendung wurde das Versickerungskonzept entwickelt. Das Klarwasser wird dabei großflächig mithilfe von neuartiger robuster Tröpfchenbewässerungstechnik nach einer Bodenpassage von ca. 20 Metern in den Grundwasservorrat versickert. Während folgender Trockenperioden können die entsprechenden Mengen über die landwirtschaftlichen Beregnungsbrunnen wieder entnommen werden. Zunächst war eine Umsetzung auch auf Ackerflächen mit Kurzumtriebsplantagen (schnellwüchsige Pappel- oder Weidenpflanzungen zur Energieholzgewinnung) geplant. Aufgrund der Langfristigkeit (ca. 20 Jahre) stellten die Eigentümer jedoch nicht die ausreichende Ackerfläche bereit. Daher erfolgte eine Umsetzung des Konzepts ausschließlich auf den ortstypischen grundwasserfernen Kiefernwaldflächen (s. Abb. 6.5.3). Ein Monitoringkonzept erfasst mögliche Auswirkungen auf Boden und Waldbestand.



Abb. 6.5.3: Schlauchsystem zur Versickerung von Klarwasser im grundwasserfernen Kiefernwald (E. Eiben)

## Der Grundwasserkörper als „strategischer Wasserspeicher“

De facto stellt die gezielte, flächenhafte Versickerung von gereinigtem Abwasser eine planvolle, strategische Nutzung des Grundwasserkörpers als kostenloser Wasserspeicher dar. Die erforderliche Infrastruktur zur späteren Wasserentnahme ist in Form von Beregnungsbrunnen vorhanden, kostenträchtige Speicherbecken entfallen. Seitens der Landwirte, die schon heute Beregnung einsetzen, ist die Bereitschaft zu Investitionen in erheblichem Umfang vorhanden, wenn hierdurch die heute erteilten Entnahmeerlaubnisse erhöht werden.

Bei der Anrechnung des versickerten Wassers auf die Grundwasserentnahmeerlaubnisse sind die zum Teil fehlenden Detailkenntnisse der hydrogeologischen Situation im Untergrund problematisch. Hohe Kosten für detaillierte Gutachten erfordern daher die Festlegung vereinfachender Bilanzräume, in denen jeweils die wasserrechtliche Verwaltung der „Versickerungs-Mehrentnahme-Bilanzen“ erfolgen würde. Auch muss in neuer Weise die Verteilung des generierten zusätzlichen Grundwassers geregelt werden. Dies sollte im Einvernehmen mit der zuständigen Wasserbehörde oder durch diese erfolgen (s. Kap. 6.3).

Grundlegende Voraussetzung für die praktische Umsetzung des Pilotprojekts zur Klarwasserversickerung war die koordinative und planerische Unterstützung sowie die Federführung bei der technischen Umsetzung durch den Bewässerungsverband Uelzen.

Autorinnen:

Wibke Meyer, TU Hamburg-Harburg und  
Elisabeth Schulz, LWK Niedersachsen



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Das Vorkommen von Pharmazeutika im aquatischen Milieu, speziell unterhalb von Einleitungsstellen durch Kläranlagen, stellt bereits heute ein unzureichend untersuchtes Umweltproblem dar, welches sich zukünftig voraussichtlich noch verschärfen wird.
- Verbesserte Wasseraufbereitung ist notwendig, um das Potenzial der Verwendung von Klarwasser in der Landwirtschaft zu erhöhen.
- Durch gezielte Erhöhung der Versickerung (Waldumbau, Klarwasserversickerung) sollte der Grundwasserkörper als Wasserspeicher genutzt werden.
- Rechtliche Rahmenbedingungen für planungssichere Wiederentnahme von im Grundwasserkörper gespeichertem Wasser werden benötigt, um Investitionssicherheit bzw. Investitionsanreiz zu erzielen.



## 6.6 Naturschutz in der Kulturlandschaft 2050 – Interaktion von Natur, Klima und Mensch

Die Kulturlandschaft der Metropolregion Hamburg (MRH) weist vielfältige schützenswerte Lebensräume sowie seltene Arten auf. Neben den Standortbedingungen hat oft die Landnutzung durch den Menschen zu der Entstehung typischer Ökosysteme der Kulturlandschaft beigetragen. Hierzu zählen u.a. auf sandigen Böden ausgebildete Heidelandschaften und durch wechselnde (Grund-) Wasserstände geprägte Stromtalwiesen. Als natürliche oder naturnahe Lebensräume der Kulturlandschaft sind regenwassergespeiste Hochmoore und sommerkalte Heidebäche zu nennen. Schutz und Erhalt dieser Ökosysteme unter Einfluss des Klimawandels ist vor allem aufgrund langfristig abnehmender Niederschläge im Sommer eine Herausforderung, die durch adaptive Naturschutzkonzepte und intensive Kooperation mit Landnutzern gelöst werden sollte.

Weite Teile der MRH sind von sandigen, nährstoffarmen Geestlandschaften geprägt und werden von dem Urstromtal der Elbe mit den begleitenden, lehmigen und nährstoffreichen Flussauen und -marschen durchzogen. Die Bodenentwicklung ist in vielfältiger Weise durch das Klima beeinflusst, da z.B. Zersetzung, Verwitterung und Mineralneubildung von Temperatur und Niederschlag abhängig sind. Böden übernehmen wichtige Ökosystemfunktionen als Speicher für Kohlenstoff (C) und Nährstoffe oder als Lebensraum bzw. -grundlage für Flora und Fauna. Besonders intensive Wechselwirkungen zwischen Klima, Boden und Vegetation bestehen in Hochmooren.

### Vorsorge lohnt sich: Schutz und Renaturierung der Hochmoore intensivieren

Die Entwicklung von Hochmooren ist an ausreichende Niederschlagsmengen im Jahresverlauf gebunden. In der MRH tritt ein von Nordwest nach Südost verlaufender Klimagradient auf, der den Übergang vom atlantischen Klima an den Küsten zum subkontinentalen Klima abbildet und u.a. durch eine Abnahme der Niederschlagsmenge von ca. 850 mm/Jahr auf 630 mm/Jahr gekennzeichnet ist (s. Kap. 2). Relativ hohe Temperaturen im Sommer und entsprechend hohe Verdunstung begrenzen im Südosten der MRH das Vorkommen von Hochmooren zusätzlich. Intakte Hochmoore beeinflussen das Klima durch die Festlegung von C im Torfkörper. Sie haben seit Jahrtausenden eine herausragende Bedeutung als globale C-Senke und übernehmen damit eine bedeutende Ökosystemdienstleistung. Insgesamt speichern Moore derzeit ca. 30 % der in Böden festgelegten C-Vorräte. Moderate Klimaschwankungen seit Beginn des Moorwachstums konnten dabei nach Ergebnissen von Untersuchungen im atlantischen Hartshoper Moor (nahe Rendsburg, ca. 4.000 Jahre alt) sowie im subkontinentalen Schweimker Moor (nahe Uelzen, ca. 3.000 Jahre alt) kompensiert werden. Der Einfluss des Menschen in der Neuzeit hat Torfbildung und Artenzusammensetzung der Hochmoore stärker verändert als Klimaschwankungen in der Vergangenheit.

Drainage, Abtorfung, landwirtschaftliche Nutzung und Stickstoff (N-) -Einträge haben zu einem drastischen Rückgang der Hochmoore geführt. So weist Schleswig-Holstein auf 1,9 % der Landesfläche (ca. 30.000 ha) Hochmoorböden auf, von denen etwa 543 ha als wachsende Hochmoore bezeichnet werden. In Niedersachsen werden ca. 5 % der Landesfläche den Hochmoorböden zugeordnet

(ca. 234.800 ha), von denen lediglich 3 % als naturnahe Hochmoore gelten. Aus degenerierten Mooren wird das Treibhausgas Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) freigesetzt. In Schleswig-Holstein und Niedersachsen stammen ca. 9,3 % bzw. 10,4 % der gesamten klimarelevanten Emissionen der Länder aus entwässerten Mooren.



Abb. 6.6.1: Charakteristische Pflanzen der Hochmoore: Torfmoose, Sonnentau und Wollgras (K. J. Schmidt)

Die typische Vegetation intakter Hochmoore wird von Torfmoosen dominiert (s. Abb. 6.6.1). Mit zunehmender Entwässerung werden die Torfmoose durch Pfeifengras und schließlich von Heidevegetation abgelöst. Abgetorfte Flächen sind zunächst vegetationsfrei. Die Effekte reduzierter Sommerniederschläge auf die Treibhausgasemissionen aus Hochmooren der MRH in Abhängigkeit von der Vegetation wurden im subatlantischen Himmelmoor nördlich von Hamburg untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei Sommertrockenheit die  $\text{CO}_2$ -Freisetzung auf vegetationsfreien wie auch auf mit Pfeifengras bewachsenen Flächen verstärkte. Auf Heideflächen und auf von Torfmoosen besiedelten Flächen wurde verstärkt C im Boden gebunden. Bei zunehmender Sommertrockenheit empfiehlt es sich somit, die ursprüngliche Moorvegetation mit Dominanz von Torfmoosen durch einen ganzjährig hohen Wasserstand (ca. 10 cm unter Flur) zu erhalten oder zu entwickeln, um die Funktion der Hochmoore als C-Senke zu nutzen.

Torfmoose tragen maßgeblich zur Torfbildung bei und speichern mehr C als jede andere Gattung der Erde. Neben zunehmender sommerlicher Trockenheit können hohe N-Einträge die typische Moorvegetation beeinträchtigen. Im Hartshoper Moor und im Schweimker Moor wurde in Feldexperimenten die Vegetation einer erhöhten N-Zufuhr ausgesetzt. Die Niederschläge wurden experimentell um 25 % reduziert. Während im Hartshoper Moor die experimentelle Behandlung keine Effekte zeigte, führte im ohnehin trockeneren Schweimker Moor eine erhöhte N-Verfügbarkeit zu einer verringerten Produktivität der Torfmoose bei erhöhtem Wachstum des Scheidigen Wollgrases (s. Abb. 6.6.2). Im Hartshoper Moor wurden nach einer extremen Frühjahrstrockenheit eine deutlich verringerte Biomasseproduktion sowie eine verringerte C-Aufnahme der Torfmoose festgestellt. Nach anhaltenden Niederschlägen setzte eine bisher so nicht bekannte Revitalisierung der Torfmoose ein. Erhalt und Renaturierung von Hochmooren können somit auch unter Einfluss des Klimawandels erfolgreich sein, sofern die hydrologischen Rahmenbedingungen durch Wasseranstau – im Einzelfall ergänzt durch Abtrag des vermulmten, ausgetrockneten Oberbodens – optimiert und N-Einträge vermieden werden.

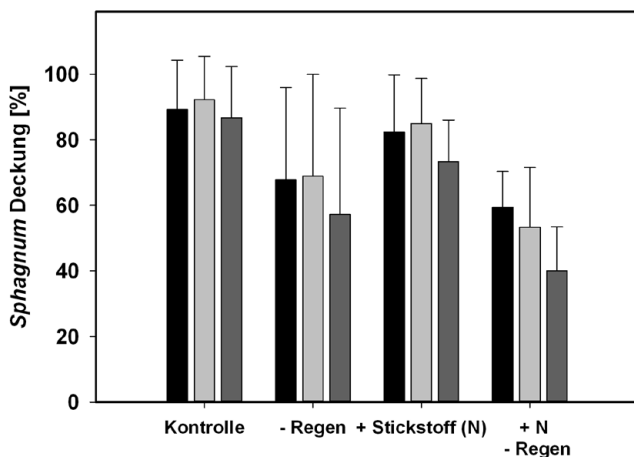
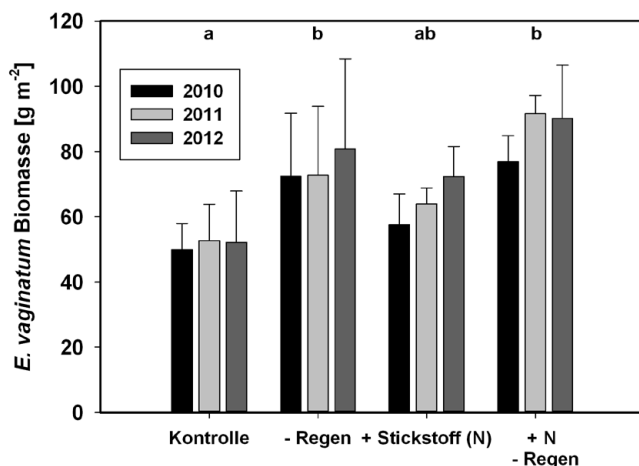


Abb. 6.6.2: Entwicklung der Biomasse des Scheidigen Wollgrases (*Eriophorum vaginatum*) und der Deckung des Torfmooses *Sphagnum cuspidatum* während der dreijährigen experimentellen Behandlung mit einer Stickstoffzufuhr von 30 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> und/oder einer Niederschlagsreduktion von 25 %. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen.

Dies erfordert präzise Kenntnisse der hydrologischen Verhältnisse und moorkundlichen Gegebenheiten sowie die Erfassung größerer Einzugsgebiete, um Effekte von Grundwasserabsenkungen oder N-Einträgen aus landwirtschaftlicher Nutzung berücksichtigen zu können. Die Einbeziehung lokaler Akteure (z.B. Flächeneigentümer, Landwirte) gewinnt künftig an Bedeutung für einen erfolgreichen Moorschutz.

## Auen der Mittel- und Elbe: Flexibles Wassermanagement im Feuchtgrünland

Als Auen werden Flussniederungen bezeichnet, deren Böden durch Sedimentzufuhr bei periodischen Überflutungen entstanden sind. Durch die Überflutungen haben sich in der Aue hochdynamische Lebensräume mit großer Struktur- und Artenvielfalt entwickelt. Die menschliche Nutzung hat starken Einfluss auf die Vegetation der Auen: Besonders das durch Mahd genutzte Grünland kann in sehr artenreichen Ausprägungen auftreten (z.B. Brenndolden-Auenwiesen, s. Abb. 6.6.3). Die für die Elbtalaue projizierten Veränderungen im Niederschlagsregime (in Verbindung mit einer Zunahme von Extremwetterereignissen und erhöhten Temperaturen) können das Abflussgeschehen der Elbe und somit Grundwasserstände wie auch Überflutungsdynamik auf den Stromtalwiesen beeinflussen. Änderungen der Hydrologie werden neben Nutzungsänderungen und N-Einträgen als wesentlicher Grund für die Gefährdung der Pflanzenartenvielfalt in Auen angesehen. An der Mittel- und Elbe wurde entlang des oben beschriebenen Klimagradienten die floristische Artenzusammensetzung der feuchten und mesophilen Auenwiesen erfasst.



Abb. 6.6.3: Typischer Landschaftsaspekt in der Elbtalaue: Kopfbäume und Brenndolden-Auenwiese nach der Mahd (K. Ludewig)





Zunehmende sommerliche Trockenheit und N-Einträge können also die Vitalität, vor allem aber die Verjüngung der Besenheide beeinträchtigen. Maßnahmen zu Erhalt und Entwicklung der Heidelandschaft sollten auch künftig vorrangig auf eine Reduktion der Nährstoffeinträge abzielen, um die negativen Effekte zunehmender Trockenheit zu mindern. Aktuell genutzte Maßnahmen wie Plaggen und Beweidung sollten durch neue Verfahren wie die Hochmahd, aber auch durch die Begrenzung der Nährstoffeinträge ergänzt werden. Langfristig sollte geprüft werden, ob die Übertragung von Pflanzenmaterial aus heute bereits sehr trockenen Heidegebieten Europas (assisted migration) sinnvoll ist, da dortige Pflanzen bereits an Trockenstress angepasst sind.

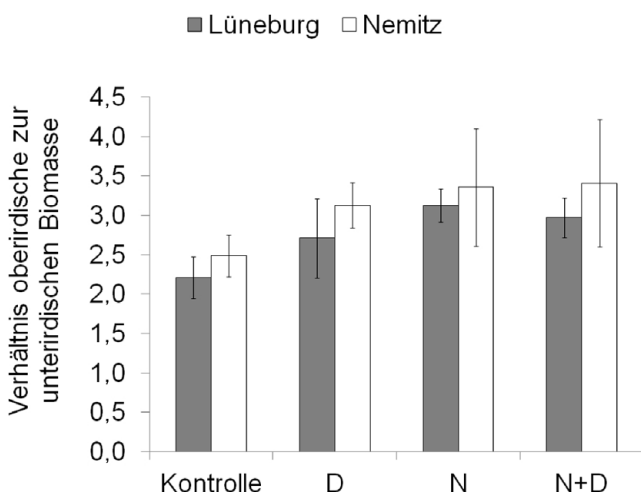


Abb. 6.6.6: Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse der einjährigen Besenheide differenziert nach experimenteller Behandlung (Kontrolle; D = Dürre, N = Stickstoffdüngung, N+D = Stickstoffdüngung und Dürre) und der Herkunft der für das Experiment verwendeten Samen aus der Lüneburg bzw. der Nemitzer Heide.

Die sandige Geest wird in Niedersachsen von sommerkalten Heidebächen durchflossen. Aufgrund des projizierten Klimawandels hervorgerufene Änderungen des Niederschlagsregimes verändern das Abflussgeschehen und damit den Sandtransport der Heidebäche. Sandeintrag durch starken Oberflächenabfluss, erhöhte Abflussmengen während Hochwasserphasen sowie Sandakkumulation während Niedrigwasserphasen können die bachtypische Limnofauna beeinträchtigen. Gleiches gilt für eine durch Grundwasserentnahmen verringerte Wasserzufuhr. Schon heute sind sommerkalte Heidebäche durch Profilveränderungen und den Einbau von Barrieren stark verändert. Weiteren Beeinträchtigungen aufgrund klimatischer Veränderungen sollte vorbeugend mit einer Optimierung des Bachprofils, z.B. durch Anlage einer Niedrigwasserinne, und mit dem Rückbau von Barrieren begegnet werden.

### Vielfalt der Kulturlandschaft erhalten, neue Entwicklungen zulassen

Die Kulturlandschaft der MRH weist zahlreiche weitere schützenswerte Lebensräume wie Niedermoore, Wälder, Hecken- und Knickstrukturen sowie artenreiche Grünlandflächen oder Trockenstandorte auf. Die Effekte des Klimawandels auf diese Lebensräume können bislang meist nur grob abgeschätzt werden und wurden in KLIMZUG-NORD nicht untersucht. Unabhängig vom betrachteten Lebensraum ist jedoch davon auszugehen, dass aufgrund steigender Temperaturen großräumige, nordwärts



Abb. 6.6.7: Kleinteilig strukturierte Kulturlandschaft im Oberen Eidertal (C. Mählmann)

gerichtete Arealverschiebungen von Flora und Fauna einsetzen. Durch den Erhalt kleinräumiger Strukturvielfalt und die Schaffung eines großräumigen Biotopverbunds kann Tier- und Pflanzenarten die Erschließung neuer Lebensräume durch Kompensationswanderungen ermöglicht werden. Fraglich ist, ob konservierend ausgerichtete Naturschutzziele unter Einfluss des Klimawandels aufrechterhalten werden können. Besonders bei der Ausweisung von Schutzgebieten sollten die Ziele flexibler und unter Berücksichtigung von Ökosystemdienstleistungen eines Lebensraums (z.B. Speicherung von C und Nährstoffen) formuliert werden. Die Entwicklung schützenswerter Lebensräume und Arten sollte durch Monitoringverfahren, die Ökosystemdienstleistungen und klimatische Parameter berücksichtigen, erfasst werden, um ein adaptives Naturschutzmanagement zu ermöglichen.

#### Autorinnen und Autoren:

Wiebke Schoenberg, Claudia Fiencke, Kai Jensen, Kristin Ludewig, Sebastian Schmidt, Marion Vanselow-Algan, Universität Hamburg; Werner Härdtle, Frank Krüger, Maren Meyer-Grünefeldt, Elena Rottgardt, Karsten Runge, Brigitte Urban, Leuphana Universität Lüneburg; Tobias Keienburg, Johannes Prüter, Christiane Schreck, Biosphärenreservatsverwaltung Hitzacker; Herbert Reusch, BAL



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Erhalt, Förderung und Entwicklung schützenswerter Lebensräume sowie dynamischer landschaftsbildender Prozesse – naturnahe, großräumige Ökosysteme sind widerstandsfähiger gegen klimatische Veränderungen!
- Wasserrückhalt in der Landschaft fördern, Nährstoffeinträge reduzieren – Feuchtgebiete und nährstoffarme Systeme sind besonders vom Klimawandel betroffen!
- Biotopverbund umsetzen, Kompensationswanderungen ermöglichen!
- Monitoring durchführen, Schutzkonzepte unter Berücksichtigung von Ökosystemdienstleistungen anpassen!
- Synergien nutzen, Konflikte vermeiden – durch Kooperation mit Wasser-, Land- und Forstwirtschaft, Landschaftsplanung und Bodenschutz den Naturschutz stärken!



## 6.7 Obstbau an der Niederelbe

In der Kulturlandschaft des Alten Landes werden Obstbäume etwa 20 Jahre alt. Der Apfel ist mit 90 Prozent der Anbaufläche die wichtigste Obstart. Obstplantagen sind aufgrund ihrer langen Standzeiten gegenüber Klimaveränderungen besonders verwundbar und müssen vorausschauend angelegt und bewirtschaftet werden. Der Klimawandel wirkt sich bereits jetzt auf die Bäume und ihre Krankheiten aus. Das frühzeitige Erkennen neuer Schaderreger ist daher ein wichtiger Beitrag zur Zukunftssicherung des Obstbaus.



Abb. 6.7.1: Typische Impression der Kulturlandschaft Altes Land

Das Alte Land in den Elbmarschen vor den Toren Hamburgs ist eine seit Jahrhunderten maßgeblich durch den Obstanbau geprägte Kulturlandschaft. Heute ist diese Region das größte zusammenhängende Obstanbaugebiet Nordeuropas. Der Klimawandel wird im Alten Land als Anstieg der durchschnittlichen jährlichen Lufttemperatur um ca. 1,5 °C seit 1975 registriert. Im gleichen Zeitraum haben sich die Blüte und andere Entwicklungsstadien beim Apfel und bei allen anderen Baumobstarten um durchschnittlich 2 - 3 Wochen verfrüht. Damit fällt die Obstblüte heute in ein stärker durch Spätfrostereignisse gefährdetes Zeitfenster. Die Frostschutzberechnung wird im Alten Land somit zunehmend unverzichtbar. Auf der anderen Seite begünstigt der Klimawandel über eine verlängerte und wärmere Vegetationsperiode den Anbau von Apfelsorten mit höheren Temperaturansprüchen. Ein aktuelles Beispiel ist die vom Markt stark nachgefragte Sorte Braeburn. Signale weiterer Klimawandelfolgen, z.B. eine Häufung von

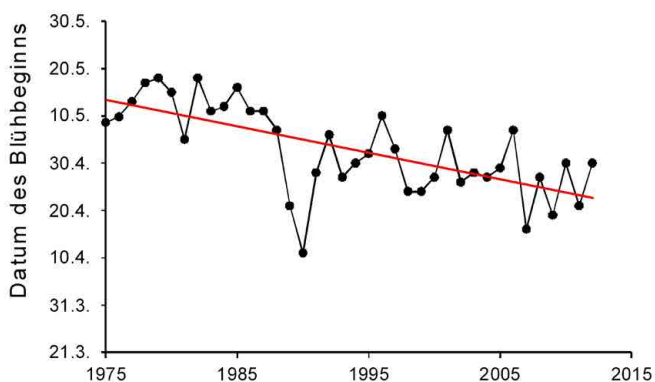


Abb. 6.7.2: Verfrühung der Obstblüte im Alten Land seit 1975

Extremwitterungen und Hagelschlag, sind derzeit noch nicht klar erfassbar oder prognostizierbar. Da das Alte Land auf Höhe des Meeresspiegels liegt, sind Fragen des Hochwasserschutzes (s. Kap. 7.2) und des Grundwasserspiegels (s. Kap. 7.3 und Exkurs Altes Land) ebenfalls von essentieller Bedeutung für den Obstbau.

### Wie reagieren die Schaderreger?

Veränderungen im Regionalklima wirken sich nicht nur direkt auf die Obstbäume, sondern auch auf ihre Schaderreger aus. Schon relativ geringfügige Änderungen können erhebliche Auswirkungen auf die belebte Natur haben. Insekten reagieren besonders stark auf steigende Temperaturen während der Vegetationsperiode. Ein Schlüsselschädling ist der Apfelwickler *Cydia pomonella*, dessen Larve als Obstmade erhebliche Schäden anrichten kann. Steigende Sommertemperaturen beeinflussen den Befall des Apfelwicklers dadurch, dass sich die Larven schneller entwickeln und somit nicht direkt in die Überwinterung gehen, sondern im Spätsommer zur Verpuppung und Bildung einer zweiten Faltergeneration gelangen. Kommt es vor der Ernte noch zur Eiablage und zum erneuten Larvenschlupf, kann der Befall stark ansteigen. Es wird prognostiziert, dass der Klimawandel auch die Etablierung neuer Schadinsekten begünstigt. Mögliche aktuelle Beispiele hierfür sind Schildläuse, Fruchtfliegen sowie die 2012 erstmals im Alten Land nachgewiesene Apfelfruchttrieb- suchte als mikrobielle Krankheit, die durch Insektenvektoren übertragen wird.

### Die Schwarze Sommerfäule und andere Pilzkrankheiten

Der wärmeliebende Pilz *Diplodia seriata* verursacht im Alten Land seit 2007 eine Fruchtfäule an reifenden Äpfeln. Insbesondere die ökologische Produktion ist von dieser Schwarzen Sommerfäule betroffen. Infektionen finden im Hochsommer bei gewittrigem Starkregen und Temperaturen ab 20 °C statt. Ausgangspunkt für Infektionen sind Fruchtmumien, d.h. vertrocknete Früchte, die am Baum teilweise mehrere Jahre lang verbleiben und durch *D. seriata* besiedelt werden können. Die Entdeckung dieser Überwinterungsquartiere hat dazu geführt, dass Maßnahmen zur Eindämmung der Schwarzen Sommerfäule entwickelt werden konnten. Auch andere pilzliche Krankheiten des Obstbaus nehmen in ihrer Bedeutung zu bzw. sind in KLIMZUG-NORD erstmals beobachtet worden. Hierzu zählen die Erreger des Weißen Hauches und der Gummifäule. Besonders interessant sind Schwächeparasiten wie der Hallimasch *Armillaria gallica*. Dieser bodenbürtige Pilz befällt im Alten Land vor allem Süßkirschbäume, die durch Extremwitterungen wie Staunässe und/oder Trockenheit vorgeschädigt worden sind.



Abb. 6.7.3: Im Zuge des Klimawandels wird ein ansteigender Fruchtbefall durch eine zweite Larvengeneration des Apfelwicklers prognostiziert.



Abb. 6.7.4: Die Schwarze Sommerfäule, eine neue Krankheit des Apfels im Alten Land.

## Komplexe Interaktionen

Ein Obstbaum wird während seiner langen Standzeit durch eine zunehmende Biodiversität insbesondere an Insekten und Pilzen besiedelt. Daher existieren komplexe Interaktionen zwischen dem Baum und seinen Nützlingen und Schädlingen. Der Klimawandel hat bereits jetzt zu Veränderungen des Schaderreger-Spektrums geführt. Die Dynamik dieser Entwicklung wird in Zukunft weiter zunehmen. Die Folge ist eine Entwertung des jahrzehntelangen obstbaulichen Erfahrungsschatzes im Alten Land und in anderen Obstbaugebieten. Der Klimawandel verändert zudem während der Standzeit einer Obstanlage die Kriterien, welche für die betriebswirtschaftliche Entscheidung zum Zeitpunkt der Pflanzung zugrunde gelegt wurden.

angepasst ist. Von großer Bedeutung ist dabei die möglichst enge Vernetzung zwischen den Erzeugern, der Beratung sowie der Forschung. Daher müssen diese Arbeiten in der Region durchgeführt werden. Die in KLIMZUG-NORD am ESTEBURG-Obstbauzentrum Jork geschaffenen Strukturen für die Diagnostik von Schädlingen und Beratung über ihre Bekämpfung im Obstbau werden nach dem Ende des Projekts fortgeführt und langfristig ausgebaut.

Autor:

Roland Weber, Obstbauversuchsanstalt Jork der LWK Niedersachsen

## Was ist zu tun?

Die Vorgehensweise im Umgang mit einer neuen Krankheit muss zielgerichtet erfolgen. Ist ein neuer Schaderreger diagnostiziert worden, wird seine Infektionsbiologie unter den Bedingungen vor Ort aufgeklärt. Erst aus diesem Wissen heraus lässt sich eine gezielte Bekämpfungsstrategie ableiten, die an die regionalen Verhältnisse

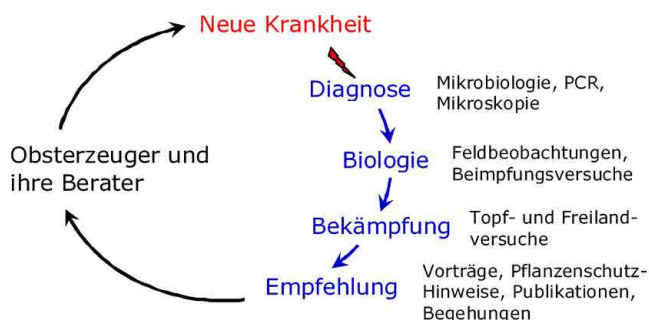


Abb. 6.7.5: Vorgehensweise vom ersten Auftreten bis zur erfolgreichen Bekämpfung eines neuen Schaderregers – von den Obsterzeugern über die Beratung in die Forschung und zurück.



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Die obstbauliche Forschung, Beratung und Ausbildung im Alten Land stärken und optimal vernetzen.
- Die Obsterzeuger bezüglich der Klimawandelfolgen und neuer Schaderreger aktuell und fortlaufend informieren.
- Strukturelle Anpassungen an den Klimawandel vornehmen: geeignete Frostschutzberegnungsverfahren und gegebenenfalls Hagelschutznetze einsetzen, sauberes Beregnungswasser vorhalten, Schutz vor Überflutungen und Staunässe verbessern.
- Das Sortenspektrum an die veränderten klimatischen Bedingungen anpassen.



## 6.8 Klimawandel und Landwirtschaft: Ökonomische Aspekte

Wetterbedingungen haben in der Landwirtschaft, wie in kaum einem anderen Sektor, große Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Erfolg der Betriebe. In vielen (Land-)Kreisen der Metropolregion Hamburg ist der landwirtschaftliche Sektor ein relevanter Arbeitgeber. Außerdem ist er durch Nachfrage und Angebot von Zwischenprodukten stark mit der regionalen Wirtschaft verflochten. Der Klimawandel geht für diesen Sektor mit großen Anpassungserfordernissen einher, wobei diese aufgrund der unterschiedlichen klimatischen Ausgangsbedingungen und der erwarteten Klimaänderungen innerhalb der Metropolregion variieren.

### Die wirtschaftliche Bedeutung der Landwirtschaft

Trotz anhaltender Verdrängung durch Industrie- und Dienstleistungsbranchen und deutlicher Produktivitätssteigerungen in der Vergangenheit gingen im Jahr 2010 in der Metropolregion Hamburg mehr als 43.000 Personen einer Erwerbstätigkeit im Bereich der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei nach – entweder als Selbstständige oder als abhängig beschäftigte Personen. Diese Zahl ist seit Jahrtausendbeginn sogar leicht gestiegen. Hinzu kamen über 6.000 abhängig Beschäftigte im Bereich des Garten- und Landschaftsbaus (s. Abb. 6.8.1). In einzelnen Regionen, wie in den Landkreisen Cuxhaven und Lüchow-Dannenberg, finden bis zu 8 % der Erwerbstätigen ihren Arbeitsplatz im Landwirtschaftssektor. In der gesamten Metropolregion Hamburg liegt dieser Wert bei 2 %.

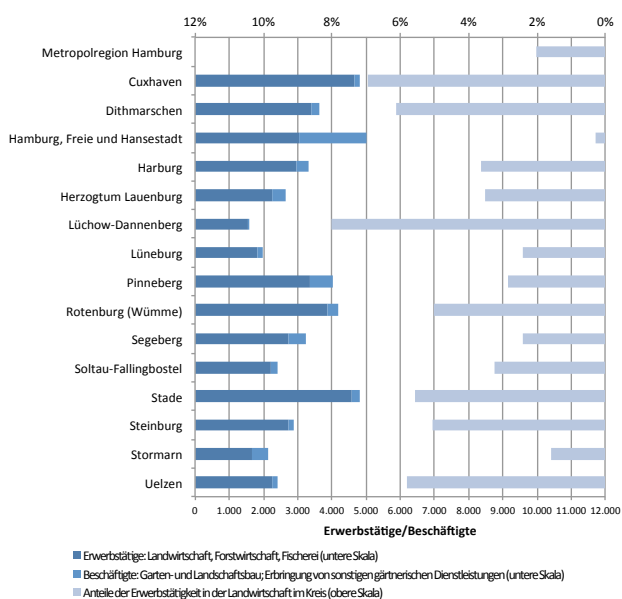


Abb. 6.8.1: Landwirtschaft und Garten- und Landschaftsbau als Arbeitgeber in der Metropolregion Hamburg, 2010

Durch ihre Spezialisierungen innerhalb der Agrarwirtschaft zeigen die Kreise und Landkreise sowie der Stadtstaat Hamburg starke Unterschiede in ihrer wirtschaftlichen Leistung. Während ein Erwerbstätiger in der Landwirtschaft im Kreis Dithmarschen im Durchschnitt eine Bruttowertschöpfung von 41.300 Euro erwirtschaftet, kommt ein Erwerbstätiger im Landkreis Harburg lediglich auf 22.300 Euro. Da die urbanen Strukturen der Freien und Hansestadt Hamburg wenig Raum für landwirtschaftliche Flächennutzung bieten, hat sich eine Spezialisierung auf den Bereich des Garten- und Landschaftsbaus sowie die Erbringung von gärtnerischen Dienstleistungen etabliert.

Hiermit leistet die Hansestadt einen erheblichen Beitrag zur Bruttowertschöpfung der Landwirtschaft in der Metropolregion. Die Bedeutung des Landwirtschaftssektors beruht zudem auf seiner Funktion als Nachfrager von Zwischenprodukten, wie Maschinen und Düngemitteln, und als Vorleistungslieferant vor allem für das Ernährungsgewerbe.

### Was bedeutet der Klimawandel für die Landwirtschaft?

In der Metropolregion zeigen sich deutliche Unterschiede in den klimatischen Ausgangsbedingungen (s. Kap. 2), den zu erwartenden Klimaänderungen (s. Kap. 3) sowie den landwirtschaftlichen Strukturen (s. Abb. 6.8.2). Die Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion können daher ebenfalls vielfältig ausfallen.

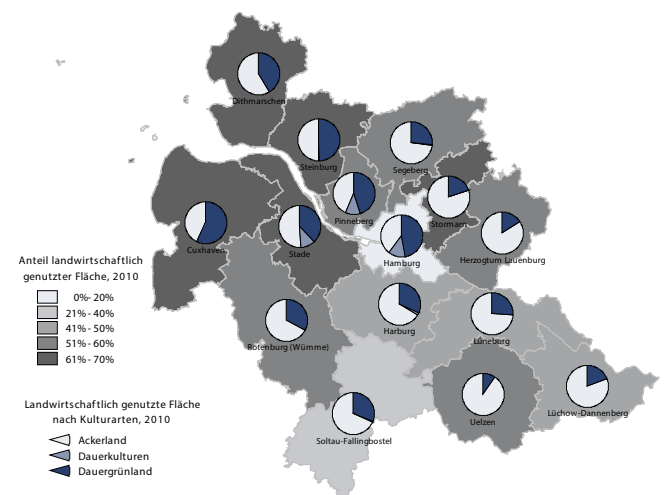


Abb. 6.8.2: Anteil landwirtschaftlich genutzter Fläche an der Landfläche der einzelnen Kreise und ihre Nutzung, 2010

Während der Hitzeperiode im Sommer 2003 konnte beobachtet werden, welche Auswirkungen ein Extremereignis haben kann. Milchkühe reduzierten ihre Futteraufnahme, wodurch sich ihre Milchleistung verringerte. Bei Fruchtarten, wie Kartoffeln und Silomais, konnten deutliche Ertragsrückgänge beobachtet werden. Bei anderen Arten, wie Weizen und Roggen, ließen sich dagegen Ertragssteigerungen feststellen. Diese Pflanzen konnten also bei ausreichender Wasserversorgung von den hohen Temperaturen profitieren. In einigen Regionen, wie im Landkreis Lüchow-Dannenberg, stellt die Wasserversor-

gung schon heute einen limitierenden Input-Faktor für die landwirtschaftliche Produktion dar. Eine im Zuge des Klimawandels erwartete Abnahme der Sommerniederschläge würde das Konfliktpotenzial zwischen der Landwirtschaft und anderen Wassernutzungen, wie der Trinkwasserentnahme sowie dem Umwelt- und Naturschutz, erhöhen. Entsprechende Anpassungsmaßnahmen wurden in den vorherigen Abschnitten (Kap. 6.1 bis 6.6) vorgestellt.

## Klimawandel - Ein Einflussfaktor unter vielen

Eine dauerhafte Verschlechterung der Produktionsbedingungen kann mittel- bis langfristig dazu führen, dass die Wirtschaftlichkeit von Betriebszweigen oder ganzer Betriebe nicht mehr gegeben ist und es zu betrieblichen Strukturänderungen oder Betriebsaufgaben kommt. Neben dem Klimawandel werden aber weitere Faktoren das Angebot und die Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten bestimmen. Auf der Nachfrageseite werden sowohl die weltweite Bevölkerungsentwicklung als auch das regional unterschiedliche Wirtschaftswachstum und die damit verbundene Einkommensentwicklung wirken. Auf der Angebotsseite bestimmen die verfügbaren Ressourcen Boden und Wasser sowie der technische Fortschritt maßgeblich die Produktion. Die Ressourcen Wasser und Boden sind regional unterschiedlich verteilt. Aufgrund konkurrierender Bodenbedarfe ist auch in der Metropolregion Hamburg kaum eine Ausdehnung der bisherigen landwirtschaftlichen Fläche möglich. Zudem kann der Klimawandel in einigen Regionen den Konflikt zwischen einer intensiven landwirtschaftlichen Flächennutzung und ökologischen Belangen, z.B. im Bereich der Biodiversität, verschärfen. Die Regierungen beeinflussen zudem durch Agrar- und Handelspolitik maßgeblich die Entscheidungen über die Auswahl der zu produzierenden Güter. Dies gilt vor allem für den Einfluss der EU-Agrarpolitik. Trotz leichter Liberalisierungstendenzen wird der Agrarsektor weiterhin durch Subventionen und Handelsbeschränkungen geprägt sein. Mit der Klimapolitik gewinnt allerdings ein neues Themenfeld an Bedeutung, dessen Gewicht im Vergleich zu den anderen Faktoren aber gering ist.

## Anpassungsmaßnahmen, Umsetzungspotenziale und Unsicherheiten

Für die Anpassung an den Klimawandel bieten sich den Landwirten zahlreiche Möglichkeiten, wie eine Änderung der Fruchtfolgen, der angepasste Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, die Nutzung neuer Bewässerungstechniken (s. Kap. 6.1) oder neuer Fütterungsmethoden der Nutztiere. Die Umsetzung von Maßnahmen hängt vor allem von einzelbetrieblichen Kosten-Nutzen-Abwägungen ab, wobei sowohl die Kosten als auch möglicher Nutzen stark von politischen Entscheidungen und Vorgaben abhängen.

Auch vor- und nachgelagerte Branchen, wie die chemische Industrie oder das Ernährungsgewerbe, müssen sich auf veränderte Anforderungen (z.B. an Pflanzenschutzmittel) und landwirtschaftliche Erträge (sowohl der Sorten als auch der Arten und Variabilität der Mengen) einstellen.

Wissenschaft, Politik und Verwaltung können durch gezielte Informationsangebote unterstützend tätig werden. Eine effiziente Anpassung setzt voraus, dass die Landwirte Kenntnisse über die zu erwartenden Klimaänderungen in ihrer Region haben und über neue Erkenntnisse aus der Wissenschaft informiert sind, z.B. über klimaangepasste Pflanzenarten oder -sorten oder Möglichkeiten und Notwendigkeiten von Anpassungsmaßnahmen.

Es ist Aufgabe der Politik und Verwaltung, darauf zu achten, dass durchgeführte Maßnahmen, z.B. neue Düngemittel oder Landnutzungsänderungen, nicht in Konflikt mit dem Klimaschutz stehen. Außerdem fällt die Durchführung langfristiger, struktureller Maßnahmen, wie die Umsetzung und Änderung geltender und künftiger Rechtsvorschriften, in ihren Verantwortungsbereich. Zu den No-Regret-Maßnahmen, die bereits ohne einen zukünftigen Klimawandel einen Netto-Nutzen aufweisen, zählt der Einsatz angepasster Pflanzensorten, da sie zur Diversifizierung der angebauten Kulturpflanzen und damit zur biologischen Vielfalt beitragen können. Auch Verbesserungen des Humus- und Wassergehalts stiften in der Regel bereits ohne Klimaänderungen Nutzen für die landwirtschaftliche Produktion. Gute Bodenbedingungen helfen darüber hinaus, Klimaschwankungen abzufedern. Unsicherheiten bestehen bezüglich der zu erwartenden Klimaänderungen und -variabilität sowie der Stärke ihrer Effekte. Eine Verringerung dieser Unsicherheiten kann helfen, vorausplanende Anpassungsmaßnahmen umzusetzen.

*Autorin und Autor:*

*Julia Kowalewski und Sven Schulze, HWWI*



**KLIMZUG-NORD**

**KURS:**

- Die Informationslage im Landwirtschaftssektor sowie in vor- und nachgelagerten Branchen sollte verbessert werden.
- Politik und Verwaltung sollten darauf achten, dass Anpassungsmaßnahmen nicht in Konflikt mit dem Klimaschutz stehen und No-Regret - Maßnahmen den Vorzug geben.
- Die Landwirtschaft sollte intensiv neue Bewirtschaftungsformen erkunden, die den Eintrag von chemischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln deutlich reduzieren und – insbesondere in von Trockenheit betroffenen Gebieten – ohne Bewässerungsmaßnahmen auskommen.
- Die Landwirtschaft sollte Diversifizierungsstrategien entwickeln, die ergänzende Einkommensquellen erschließen, z.B. in Bereichen wie dem Naturschutz und der Kulturlandschaftspflege, aber auch in der regionalen Vermarktung und dem Lebensmittelhandwerk.



## EXKURS:

# Modellgebiet Elbtalaue – Anpassungsoptionen im Biosphärenreservat

Die UNESCO ruft dazu auf, im Einsatz gegen die Folgen des Klimawandels verstärkt die Erfahrungen der Biosphärenreservate zu nutzen, dies wurde so auf der 36. Generalkonferenz 2011 in Paris beschlossen. Im KLIMZUG-NORD Verbund repräsentiert das Modellgebiet Elbtalaue im Osten der Metropolregion Hamburg ein solches Biosphärenreservat. Als rechtlich gesichertes Großschutzgebiet des Landes Niedersachsen und als Bestandteil des länderübergreifenden Biosphärenreservats „Flusslandschaft Elbe“ mit Anerkennung durch die UNESCO gilt es, den Anspruch einer Modellregion für nachhaltige Entwicklung mit Inhalt zu füllen. Dabei sind auch Strategien zur Klimaanpassung für die Region zu erarbeiten sowie die besonderen Instrumente einer Schutzgebietsverwaltung anzuwenden und bei Bedarf weiterzuentwickeln.



Abb. E.4.1: Das Biosphärenreservat „Niedersächsische Elbtalaue“ (links) als Bestandteil des UNESCO-Biosphärenreservats „Flusslandschaft Elbe“ (rechts)

## Auenlandschaft im Fokus

Das Modellgebiet repräsentiert den Naturraum der Unteren Mittelelbeniederung, eine Stromlandschaft mit noch vergleichsweise weiten Überschwemmungsgebieten. Der Wechsel von Hoch- und Niedrigwasserphasen ist der prägende Faktor für den Landschaftswasserhaushalt, für die Struktur und Funktion der auentypischen Biotope (u.a. Auwälder, artenreiche Stromtalwiesen) und ggf. für deren forst- und landwirtschaftliche Nutzung. Überflutungen haben Erosions- und Sedimentationsprozesse zur Folge, sodass die Auenböden durch Stoffeinträge und Umlagerungen gekennzeichnet sind. Sie können auch als Archive der Schadstoffbelastung der Elbsedimente dienen.

Neben den Änderungen des regionalen Klimas wird das zukünftige Abflussverhalten der Elbe eine entscheidende Rolle für die auengeprägte Kulturlandschaft, außen- wie binnendeichs, spielen. Ob die Erwartung länger anhaltender Niedrigwasserphasen im Sommerhalbjahr und unregelmäßiger, länger und höher auflaufender Hochwasserphasen in den kommenden Jahrzehnten eintritt, kann bisher nicht sicher projiziert werden. Eine deutlich erhöhte Wahrscheinlichkeit dafür besteht ab Mitte des 21. Jahrhunderts (nach vorläufigen Befunden der Bundesanstalt

für Gewässerkunde im KLIWAS-Projekt). Ein Trend in Richtung häufigerer Extremereignisse, im regionalen Klima- wie im Abflussgeschehen der Elbe, ist in jedem Fall wahrscheinlich.

## Modellgebiet – Anspruch und Potenziale

Das Modellgebiet Elbtalaue steht in der Metropolregion Hamburg beispielhaft für die Entwicklung angepasster Konzepte im Management von Flussauen. Es ist Teil des europäischen Schutzgebietssystems Natura 2000. Daraus ergeben sich besondere Anforderungen an die Umsetzung klimaangepasster Naturschutzstrategien, die in der Praxis mit den Belangen des Hochwasserschutzes und der Landwirtschaft sachgerecht abzustimmen sind. Als Großschutzgebiet bietet das Modellgebiet zudem dauerhaft stabile Rahmenbedingungen für den Aufbau und die Unterhaltung geeigneter Netzwerke zur Förderung einer nachhaltigen Regionalentwicklung, für beispielhaftes Zusammenwirken von Wissenschaft und Praxis, für Bildungsmaßnahmen und weitere Beteiligungsprozesse. Die Projektinitiativen des KLIMZUG-NORD Verbunds

stellen einen Mehrwert dar, weil die direkten und indirekten Folgen des Klimawandels, die damit einhergehenden Unsicherheiten sowie mögliche Anpassungen wissenschaftlich analytisch und mit Szenarien unterlegt besser verstanden werden können. Damit können sie in den bestehenden sowie den neu entwickelten Strukturen des Modellgebiets intensiver kommuniziert und in die Praxis des Schutzgebietsmanagements überführt werden.

## Zukunft der Auenlandschaft und Anpassoptionen im Biosphärenreservat

Für das Verständnis landschaftsökologischer Prozesse infolge des Klimawandels und deren Auswirkungen ergeben sich aus den Arbeiten im KLIMZUG-NORD Verbund u.a. folgende Hinweise: Auenböden können, naturnah belassen, in erheblichem Umfang Kohlenstoff speichern. Die Gehalte an Schwermetallen und chlororganischen Schadstoffen sind in jüngsten Auflandungen in der Regel geringer als in Bodenhorizonten, die um die Mitte des 20. Jahrhunderts abgelagert wurden. Das Kontaminationsrisiko für die Grünlandnutzung ist, abhängig von der Topografie, kleinräumig sehr unterschiedlich. Geht man infolge einer erhöhten Abflussdifferenz zwischen Hoch- und Niedrigwasserlagen auch von länger anhaltenden Trockenphasen aus, so lassen sich aus Modellierungen des Bodenwasserhaushalts und den Felduntersuchungen relevante Auswirkungen auf die standörtlichen Bedingungen der Auenvegetation ableiten.

Verschiebungen in der topografischen Zonierung von Biotoptypen sind denkbar. Eine klimainduzierte Gefährdung schutzwürdiger Grünlandgesellschaften zeichnet sich bisher nicht ab, wohl aber, bedingt durch Zunahme der Jahresmitteltemperatur und Verschiebungen im Bodenwasserhaushalt, mögliche Änderungen der Aufwuchsbedingungen. Darauf kann über die Flächennutzung (Schnittzeitpunkte, Nährstoffstatus, Beweidungsregime) reagiert werden. Förderprogramme und Fachberatung der landwirtschaftlichen Betriebe sollten dementsprechend flexibilisiert werden, um den Schutz artenreicher Stromtalwiesen im Rahmen der projizierten Bandbreiten möglicher standörtlicher Änderungen bestmöglich umsetzen zu können. In den angrenzenden binnendeichs gelegenen Agrarlandschaften wird das zukünftige Wassermanagement auch verstärkt auf Wasserrückhalt bzw. Wasserzuführung setzen müssen.

Aus den Projektergebnissen und deren Einbindung in die Praxis der Schutzgebietsentwicklung ergeben sich Maßnahmenbündel mit besonderen Optionen für die Klimaanpassung. Dazu gehören u.a. Aufweitung und Revitalisierung der Flussaue, also Einbindung in das natürliche Abflussgeschehen, wo immer es möglich ist, im Interesse des Hochwasserschutzes wie des Naturschutzes. Im Übrigen sollten für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz die jeweiligen Belange unter Nutzung von Strömungsmodellen so abgeglichen werden, dass der Aue abschnittsweise hydraulische Funktionen (z.B. Erhalt von abflussrelevanten Räumen durch dauerhafte Freihaltung oder mögliche Auwaldentwicklung dort, wo hydraulisch unbedenklich) beigemessen werden können und die besonderen Naturschutz- und Landnutzungsfunktionen der Aue erhalten bleiben.



Abb. E.4.2: Die Elbe mit ihren Überschwemmungsflächen und der deichgeschützten Agrarlandschaft durchzieht das Modellgebiet „Elbtalaue“ (Foto: Artlenburger Deichverband).

Die für Biosphärenreservate vorgesehene Einrichtung von Naturdynamikbereichen sowie die Wiedervernässung von Grünland fördern den Biotopverbund, tragen zur Erhaltung ursprünglicher Bodenfunktionen bei und schaffen flexible Anpassungsoptionen für die biologische Vielfalt. Bestehende Unsicherheiten hinsichtlich konkreten Anpassungsbedarfs sollten aufgefangen werden durch vorsorgendes Agieren im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung. Für die daraus sich ergebenden Anforderungen an Kommunikation, Bildung und Beratung werden übertragbare Konzepte entwickelt und z.B. in Netzwerken nachhaltig wirtschaftender Betriebe (Partnerbetriebe), Initiativen für regionale Wirtschaftskreisläufe, Archebetrieben zur Erhaltung genetischer Vielfalt bei Nutztieren, Bildungsmaterialien zur nachhaltigen Entwicklung oder betrieblichen Beratungsangeboten erprobt. Vorhandene Netzwerke (z.B. Arbeitsgemeinschaft der Kommunen, LEADER Aktionsgruppe, Biosphärenbeirat) bieten grundsätzlich geeignete Foren, mit Klimaanpassung verbundene Fragen kontinuierlich in der Diskussion zu halten und Projekte zu fördern.

Autoren:

Johannes Prüter und Tobias Keienburg,  
Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsische  
Elbtalaue, Hitzacker



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Grünland-Förder- und Beratungsprogramme flexibler gestalten.
- Entwässerungsstrukturen zugunsten eines verbesserten Wasserrückhalts umwandeln.
- Flächen für auendynamische Prozesse und Biotopverbund schützen und erweitern.
- Integrierte Hochwasserschutzkonzepte entwickeln.
- Netzwerkstrukturen nachhaltig wirtschaftender Betriebe stärken (u.a. Partnerbetriebe, ökologischer Landbau, Erzeugergemeinschaften).



## EXKURS:

# Klimawandel im Modellgebiet Lüneburger Heide – Wasserverfügbarkeit als zentrale Herausforderung

Nach aktuellen Klimaprojektionen wird vor allem sommerliche Trockenheit eine Herausforderung für die Ökosysteme und die Landnutzung in der Kulturlandschaft der Lüneburger Heide darstellen. Wasserverfügbarkeit wird daher künftig ein Kernthema sein, das die Entwicklung integrativer Anpassungskonzepte und Kommunikationsstrukturen erforderlich macht. Nur so kann es gelingen, die Landnutzung, den Natur- und den Gewässerschutz unter dem Einfluss des Klimawandels zu sichern und gleichrangig zu entwickeln.



Abb. E.5.1: Lage des Modellgebietes Lüneburger Heide im Projektgebiet von KLIMZUG-NORD (I. Mersch)

## Modellgebiet Lüneburger Heide

Das Modellgebiet Lüneburger Heide (s. Abb. E.5.1) befindet sich im Übergangsbereich vom subatlantischen zum subkontinentalen Klima, was von West nach Ost eine Abnahme der Niederschlagsmenge zur Folge hat. Neben den land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen prägen Heiden und Moore das Landschaftsbild. Charakteristisch sind Böden mit relativ geringen Ackerzahlen zwischen 18 und 30, die nur wenig Wasser speichern können. Entwässert wird das Modellgebiet durch zahlreiche grundwassergespeiste Heidebäche. Durch die durchlässigen Böden wird die Versickerung begünstigt.

## Was wir untersucht haben

Der Klimawandel wirkt sich in vielfältiger Weise auf die Wirtschaft (v.a. Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Tourismus), die Wasserwirtschaft, den Naturschutz und die Böden aus. Ziel der Untersuchungen im Projektraum war es, die Auswirkungen für einige dieser Bereiche abzuschätzen und beispielhaft Anpassungsmaßnahmen zu erarbeiten, um eine nachhaltige Entwicklung der Region als Lebens- und Arbeitsraum auch unter den geänderten Bedingungen zu ermöglichen (s. Abb. E.5.2). Im Fokus standen dabei Landökosysteme, darunter auch kleine Heidebäche und die Landwirtschaft, deren Vulnerabilitäten ermittelt und für die eine Vielzahl möglicher Anpassungsmaßnahmen konzipiert und teilweise näher untersucht wurde (s. Kap. 6.1 bis 6.6).

Wichtige Untersuchungsgegenstände waren:

- Wassersparende Verfahren im Ackerbau, neue Methoden der Beregnungssteuerung.
- Anpassung der Agrarstruktur an Kreis- und Linearberegnungsanlagen.
- Erhöhung der Grundwasserneubildung durch Waldumbau im Privatwald.
- Versickerung von gereinigtem Abwasser unter Wald zur Grundwasseranreicherung.
- Maßnahmen zur Sicherung des ökologisch notwendigen Mindestabflusses kleiner Heidefließgewässer.
- Pflege und Entwicklung schützenswerter Heiden und naturraumtypischer Hochmoorkomplexe.
- Erhaltung der Bodenfunktionen durch nachhaltige Bewirtschaftung und gezieltes Management (z. B. Moorrenaturierung).

## Unsere Vorgehensweise

Da die Anpassungsmaßnahmen in den einzelnen Bereichen Auswirkungen auf andere Nutzungen und Interessen haben, würde eine rein sektorale Betrachtung dem Ziel, einerseits die Wirtschaftskraft der Region und andererseits die Funktionen der Ökosysteme zu erhalten bzw. zu verbessern, nicht gerecht werden. Die Planung von Anpassungsmaßnahmen muss daher interdisziplinär erfolgen. Nur so kann für das Modellgebiet in seiner Gesamtheit eine nachhaltige Entwicklung gewährleistet werden.

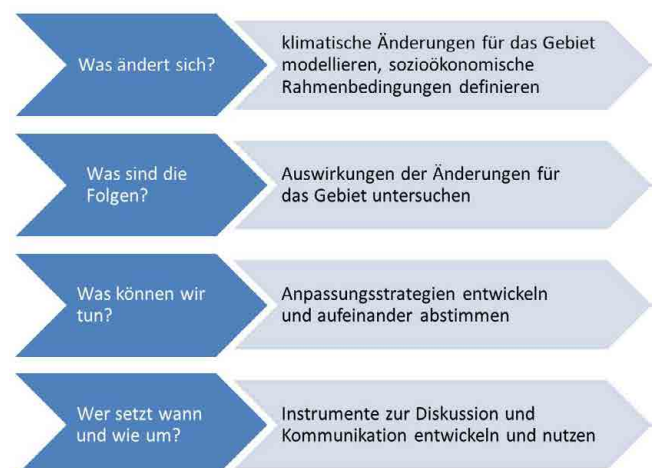


Abb. E.5.2: Vorgehen bei der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels im Modellgebiet (I. Mersch)

## Wasserverfügbarkeit für die landwirtschaftliche Beregnung

Aufgrund einer möglichen Umverteilung der Niederschläge (Zunahme im Winter, Abnahme im Sommer, s. Kap. 3) wird der Beregnungsbedarf landwirtschaftlicher Kulturen unter Beibehaltung der derzeitigen ackerbaulichen Nutzung weiter steigen. Auf Betriebsebene gibt es zahlreiche, z.T. noch weiter zu erforschende Anpassungsoptionen mit begrenzter Wirksamkeit, die zeitgleich zum Einsatz kommen können, beispielsweise die Erprobung standortangepasster Kulturarten (z.B. von Teff, einer Hirseart aus Äthiopien) oder der Einsatz von Bodenhilfsstoffen zur Humuserhaltung und Verbesserung der Wasserspeicherefähigkeit. Zur Sicherung der Produktion ist jedoch eine Effizienzsteigerung unerlässlich, die durch verschiedene Anpassungen im Ackerbau oder auch den zusätzlichen Einsatz großflächiger Beregnungsniederdrucktechnik erreicht werden kann. Dabei werden großstrukturierte Agrarlandschaften geschaffen, die ohne entsprechende Planungen zunächst biotopverbindende Landschaftsstrukturen stark beeinträchtigen oder zerstören können. Eine frühzeitige Zusammenarbeit, z.B. unter dem Dach eines Kulturlandschaftsverbandes, kann ermöglichen, Anpassungsmaßnahmen aus Sicht von Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Naturschutz einvernehmlich zu konzipieren.

Auch die charakteristischen Heidelandschaften sind durch den sommerlichen Wassermangel sowie einen erhöhten Stickstoffgehalt der Luft in ihrem Bestand gefährdet. Damit könnten sie ihrer wichtigen Funktion als Stickstofffilter für das Grundwasser nur noch eingeschränkt nachkommen. Die kleinen Fließgewässer der Heide benötigen für den Fortbestand der Lebewesen einen bestimmten Mindestabfluss. Neben der Qualität ist auch die verfügbare Grundwassermenge zukünftig ein wichtiges Thema. Bei der Entnahme von Grundwasser sind verschiedene Nutzungsansprüche (Trinkwasser, Mindestabfluss der Bäche, Moorerhaltung, Beregnung, etc.) zu beachten. Die möglichen Entnahmemengen sind daher begrenzt. Neben einer effizienteren Wassernutzung in der Landwirtschaft könnte mit geeigneten Verfahren die für eine Entnahme verfügbare Grundwassermenge erhöht werden. Dazu eignet sich z.B. der Umbau von Nadel- zu Laubwald. Als weitere Möglichkeit wird die Grundwasseranreicherung durch Versickerung gereinigten Abwassers einer kommunalen Kläranlage in Waldflächen untersucht. Dazu wurde eine Pilotanlage errichtet und ein langjähriges Monitoringkonzept entwickelt.

Der Niederschlag und der Grundwasserstand sind von entscheidender Bedeutung für den Erhalt von Moorökosystemen. Diese bieten seltene Lebensräume für Flora und Fauna in der von Trockenheit geprägten Region und stellen weltweit den größten terrestrischen Kohlenstoffspeicher dar. Ihrer Erhaltung durch gezielte Anpassungsmaßnahmen wie Nutzungsaufgabe, Pflege und Renaturierung kommt daher im Klimawandel eine herausragende Bedeutung zu. Nicht zuletzt dienen die Anpassungsmaßnahmen im Modellgebiet dem Erhalt einer gewachsenen Kulturlandschaft und damit dem Tourismus in der Lüneburger Heide, welcher neben der Landwirtschaft einen wichtigen Wirtschaftsfaktor darstellt.

## Zusammenarbeiten und die Ergebnisse kommunizieren

Die Arbeit mit Stakeholdern erfolgte vor allem in Form einer klassischen Beteiligung in Arbeitskreisen. Gleichzeitig wurde im Modellgebiet der Ansatz eines Kooperationsnetzwerks erprobt, in dem die Aufgaben und Herausforderungen von Wasserwirtschaft, Naturschutz und Landwirtschaft in thematischen Sitzungen zusammen mit den Wissenschaftlern diskutiert wurden. Dieses inter- und transdisziplinäre Vorgehen hat sich auch bei der Planung eines innovativen Beregnungskonzeptes für den Raum „Obere Wipperaue“ bewährt, das naturschutzfachliche Belange ebenso berücksichtigt wie die Wünsche der Landwirte.

Wichtige Bausteine im Anpassungsprozess sind Kommunikation und Bildung. Dabei geht es nicht nur um die Verbreitung einzelner Forschungsergebnisse und Anpassungsmaßnahmen, sondern vielmehr um Bewusstseinsbildung und Partizipation von Bürgerinnen und Bürgern sowie den Akteuren der Region. Was bedeutet Klimawandel für meine Region, wie kann eine Anpassung erfolgen und welchen Beitrag kann ich ganz konkret dabei leisten? Wissensvermittlung erfolgte im Modellgebiet auf vielfältige Weise, sei es durch Vorträge und Veröffentlichungen, Kurse, E-Learning-Angebote oder Projekte an Schulen, Universitäten und Volkshochschulen. Eine ausführliche Darstellung der Untersuchungen und Ergebnisse ist im Modellgebietsbericht Lüneburger Heide zu finden.

Autorinnen:

Imke Mersch, LWK Niedersachsen

und Brigitte Urban, Leuphana Universität Lüneburg



**KLIMZUG-NORD**

**KURS:**

- Inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit stärken.
- Neue Formen der Stakeholderbeteiligung, z.B. in Kulturlandschaftsverbänden und Kooperationsnetzwerken erproben und etablieren.
- Bewohner und Akteure des Gebietes für die Folgen des Klimawandels sensibilisieren.
- Wasser in der Landwirtschaft effizienter nutzen, z.B. durch wassersparende Anbauverfahren, Bodenverbesserung durch Humusanreicherung, Beregnungssteuerung und den möglichen Einsatz von Großflächenregnern.
- Grundwasserneubildung durch Waldumbau und Versickerung erhöhen.
- Heide- und Mooregebiete angepasst pflegen, Bodenfunktionen durch nachhaltige Bewirtschaftung erhalten.
- Mindestabfluss kleiner Heidebäche sichern, um die biologische Vielfalt zu erhalten









Die Elbe ist mit einem Einzugsgebiet von 148.268 km<sup>2</sup> einer der großen Flüsse Europas. Sie entspringt in einer Höhe von 1.386 m ü. NN im Riesengebirge in Tschechien und mündet nach einer Länge von 1.094 km bei Cuxhaven in die Nordsee. In ihrem Unterlauf verbindet sie die Metropolregion Hamburg mit der Nordsee. Die Untere Elbe (Abb. 7.0.1) vom Wehr bei Geesthacht bis zu ihrer Mündung mit einer Länge von rund 140 km ist geprägt von den Gezeiten (Tiden) und zum Teil durch die auftretenden Sturmfluten.

Der Abfluss der Oberelbe über das Wehr bei Geesthacht in die Tideelbe schwankt zwischen 130 m<sup>3</sup>/s und 4.400 m<sup>3</sup>/s und liegt im Mittel bei ca. 870 m<sup>3</sup>/s. Das 1960 gebaute Wehr bei Geesthacht stellt für die aus der Deutschen Bucht einlaufende Tidewelle nach oberstrom eine obere Begrenzung dar.

Nur bei Hochwasserereignissen (bedingt durch Sturmfluten) oder bei hohen Oberwasserzuflüssen wird das Wehr gelegt. Prägend für die Tideelbe sind neben dem Tideeinfluss die Brackwasserzone, d.h. die Übergangszone zwischen dem oberstrom ablaufenden Süßwasser und dem salzreichen Wasser der Nordsee sowie die Trübungszone, in der der wesentliche Anteil der Sedimentation zu erwarten ist.

Der gegenwärtige Zustand der Tideelbe ist geprägt durch verschiedene, teilweise schon sehr lang andauernde Nutzung des Flusses durch Menschen mit unterschiedlichen Interessen, die immer wieder zu Zielkonflikten zwischen Ökonomie und Ökologie geführt haben und zukünftig natürlich auch führen werden.



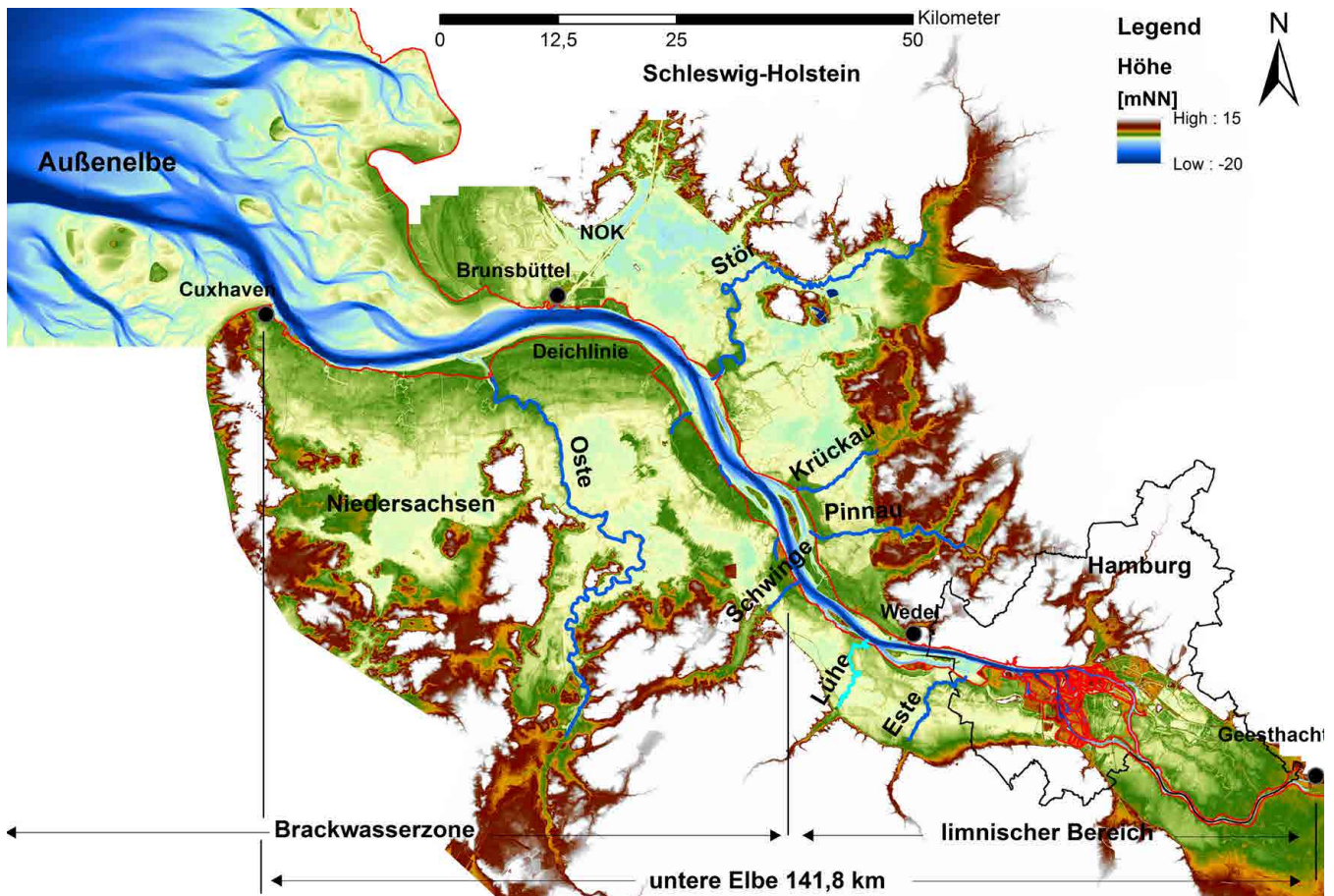


Abb. 7.0.1: Hydrographische Darstellung der Unteren Elbe (TUHH, 2014)

Etwa seit dem 13. Jahrhundert bestehen durchgängige Deichlinien an beiden Ufern der Tideelbe. Erst infolge der schweren Sturmfluten von 1962 und 1976 wurden die Deichlinien an der Tideelbe grundsätzlich neu gestaltet. Durch die neuen Deiche wurden der Tide und den Sturmfluten nach 1962 Überschwemmungsflächen von etwa 140 km<sup>2</sup> entzogen. Außerdem wurden ebenfalls als Folge der verheerenden Sturmflut von 1962 seit 1968 Sperrwerke an den Mündungen der Nebenflüsse (z.B. Stör, Krückau, Pinnau) gebaut und die Borsteler Binnenelbe, die Haseldorfer Binnenelbe sowie teilweise die Bützflether Süderelbe abgedämmt.

## Klimawandel

Die Folgen des Klimawandels werden zumindest teilweise erhebliche Konsequenzen auf die zukünftige Entwicklung und Nutzung der Tideelbe und der angrenzenden tief liegenden und überflutungsgefährdeten Gebiete haben. Sie werden sowohl wirtschaftliche Nutzungen wie die Schifffahrt oder die Nutzung von Süßwasser, aber auch den ökologischen Zustand der Wasserstraße und die Nutzung der angrenzenden, überflutungsgefährdeten Gebiete, die u.a. Lebensräume für Mensch, Fauna und Flora sind, verändern. Für das Spektrum sinnvoller Klimaszenarien ist eine Bandbreite möglicher Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln. Trotz großer Unsicherheiten in den Klimaprojektionen müssen Aussagen zu Betroffenheiten sowie Vor- und Nachteile möglicher Anpassungsoptionen erarbeitet werden. Ausgewählte Szenarien sollen zentrale Aspekte hervorheben, die die Zukunft signifikant beeinflussen.

Dabei werden ein Anstieg des Meeresspiegels, veränderte Windgeschwindigkeiten und ein verändertes Abflussregime als Folge veränderter Niederschläge im Einzugsgebiet berücksichtigt, aber auch Veränderungen der Wasser- und Lufttemperatur auf die Umwelt sind zu betrachten. Die genannten Parameter werden in Sensitivitätsstudien über die zu erwartenden Änderungen durch den Klimawandel variiert, um Betroffenheiten zu ermitteln. In einem zweiten Schritt werden mögliche Anpassungsoptionen auf die gleiche Art und Weise untersucht.

Um gezielt die Auswirkungen des Klimawandels auf Sturmfluten zu betrachten, sind Simulationen historischer Sturmfluten in Kombination mit unterschiedlichen Meeresspiegelanstiegs-Szenarien, veränderten Abflüssen und höheren Windgeschwindigkeiten durchgeführt worden. Die untersuchten Szenarien zeigen, dass die Sturmflutscitewasserstände entsprechend höher auflaufen und auch vergleichsweise früher eintreten werden, sowie dass hohe Wasserstände länger andauern. Extrem hohe Wasserstände werden entsprechend häufiger auftreten, sodass je nach Meeresspiegelanstiegs-Szenario beispielsweise ein Wasserstand, der heute im statistischen Mittel einmal in 20 Jahren auftritt, zukünftig jährlich zu erwarten ist. Die Ergebnisse aus den hier aufgeführten Untersuchungen bilden u.a. die Grundlage, um Aussagen für den Küsten- und Hochwasserschutz in den Kapiteln 7.1 und 7.2 abzuleiten.

Die Untersuchungen zu den Auswirkungen des Anstiegs des mittleren Meeresspiegels in der Nordsee auf die mittleren Tideverhältnisse ergeben, dass als Folge das Tidehochwasser im Elbeästuar stärker ansteigen würde als





Abb. 7.0.2: Die Elbe bei Kollmar ([www.mediaserver.hamburg.de/imagefoto.de](http://www.mediaserver.hamburg.de/imagefoto.de))

das Tideniedrigwasser. Dadurch nimmt der Tidenhub zu. Durch die damit verbundene nochmals verstärkte Flutstromdominanz erhöht sich der stromaufwärts gerichtete Sedimenttransport. Die Trübungszone sowie die Brackwasserzone werden dadurch stromaufwärts verschoben. Hierdurch werden sich Sedimentation und Erosion im Ästuar, aber auch die Nutzungsmöglichkeiten ändern.

Die KLIMZUG-NORD-Studien haben weiter gezeigt, dass lang anhaltende niedrige Abflüsse, bedingt durch geringere Niederschläge im Einzugsgebiet der Elbe, eine deutlich größere Bedeutung auf die Verschiebung der Brackwasserzone stromaufwärts haben können als ein Meeresspiegelanstieg. Die Veränderungen durch den Meeresspiegelanstieg auf die Brackwasserzone werden stetig und dauerhaft sein, während die Veränderung durch variierende Abflüsse einen un stetigen und kurzfristigen Charakter aufweisen wird.

Die Auswirkungen einer verlagerten Brackwasserzone auf den Wasserhaushalt in der Hamburger Elbmarsch werden in Kapitel 7.3 beschrieben. Inwieweit Veränderungen der Salzgehalte als Folge des Klimawandels die Lebensräume und die dort vorkommenden Tier- und Pflanzenarten im Elbeästuar betreffen werden, wird u.a. in Kapitel 7.4 näher betrachtet. Die stromaufwärts gerichtete Verlagerung der Brackwasserzone kann dazu führen, dass die gegenwärtige Praxis zur Frostschtberechnung der Obstplantagen angepasst werden muss. Weitere Einzelheiten zu diesem Thema sind in Kapitel 6.7 zum Obstbau an der Niederelbe und im Exkurs „Wasserüberschuss und Wasserbedarf im Alten Land“ zu finden.

Durch eine Verstärkung des stromaufwärts gerichteten Sedimenttransports sowie der resultierenden Akkumulationsmenge werden die Unterhaltungskosten für den Erhalt der Fahrrinne sowie für den Hamburger Hafen steigen. Weitere ökonomische Aspekte als Folgen des Klimawandels werden in Kapitel 7.5 behandelt.

Allgemein wird festgestellt, dass die gegenwärtigen Herausforderungen an der Tideelbe durch die Folgen des Klimawandels nochmals verstärkt werden. Maßnahmen,

die heute schon als geeignet zur Verbesserung des ökologischen Zustands der Tideelbe im Rahmen des integrierten Bewirtschaftungsplans (IBP) oder des Tideelbekonzeptes von der Hamburg Port Authority (HPA) identifiziert worden sind, müssen auch hinsichtlich ihrer Wirkung, bezogen auf die Folgen des Klimawandels, geprüft werden.

Die Wiederanbindung der Haseldorfer Binnenelbe an die Tideelbe, eine im IBP vorgeschlagene Maßnahme, ist auch als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel untersucht worden. Um Veränderungen des Wasserstandes und des Salzgehaltes in der Tideelbe, die sich aus dem Anstieg des Meeresspiegels bei Normaltiden ergeben, zu kompensieren, kann diese Anpassungsmaßnahme allein keinen nennenswerten Beitrag leisten.

Allein mit sogenannten Renaturierungsmaßnahmen werden die sich durch den Klimawandel verschärfenden Probleme jedoch nicht zu lösen sein. Insbesondere für den Hochwasserschutz für das zumeist agrarisch geprägte Hinterland, aber auch direkt für die städtischen Bereiche in Hamburg werden angepasste technische und/oder administrative Maßnahmen erforderlich, die möglicherweise auch zu eingeschränkten Nutzungen führen können. Langfristig betrachtet wird es erforderlich werden, die in den Bereich der Tideelbe bis in den Hamburger Hafen einschwingende Tide, aber auch die Sturmfluten durch technische Maßnahmen zu beschränken.

Anpassungsoptionen müssen nicht auf Baumaßnahmen beschränkt sein. Denkbar sind auch Maßnahmen, die vorhandene natürliche Strukturen erhalten. Untersuchungen haben gezeigt, dass ohne die dämpfende Wirkung der Wattflächen und Sandbänke in der Außenelbe zum Beispiel das Tideniedrigwasser schon im gegenwärtigen Zustand weiter absinken würde.

*Autoren:*

*Frek Jensen, Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein; Norbert Winkel, Bundesanstalt für Wasserbau und Peter Fröhle, TU Hamburg-Harburg*



## 7.1 Küsten- und Hochwasserschutz

Die Folgen des Klimawandels werden eine Vielzahl von Auswirkungen auf das System der Tideelbe und auf ihre zukünftige Entwicklung sowie die des Hinterlands haben. Die Hochwasser- und Küstenschutzelemente wie beispielsweise Deiche, Hochwasserschutzmauern und Sperrwerke werden durch insgesamt höhere Wasserstände und länger andauernde hohe Wasserstände bei Sturmfluten stärkeren Belastungen ausgesetzt sein. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass ein Versagen von Deichen nicht mit hundertprozentiger Sicherheit ausgeschlossen werden kann.



Abb. 7.1.1: Beispiele von vergangenen Deichbrüchen entlang der Tideelbe

In der Vergangenheit haben Deiche bereits häufiger nicht gehalten. Welche Mechanismen haben zu diesem Versagen geführt? Da ist zum einen die Überflutung infolge von Wellenüberlauf sowie die kontinuierliche Überströmung. Andererseits können Erosionen, die durch Wellenbelastung verursacht werden, zu einem Deichbruch und somit einem Versagen der Schutzfunktion führen (s. Abb. 7.1.1). Diese grundsätzlichen Gefährdungen werden sich mit steigendem mittleren Meeresspiegel und mit hieraus selbst bei gleichem meteorologischem Impact direkt resultierenden höheren Sturmflutwasserständen ohne eine Anpassung des Hochwasserschutzes verschärfen.

### Risikogebiete

Im Zuge der Umsetzung der Europäischen Richtlinie 2007/60/EG (Amtsblatt der Europäischen Union 2007) über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken wurden von den zuständigen Behörden Hochwasserrisikogebiete ermittelt, die im Falle des Eintritts von Sturmfluten potenziell überflutet werden. Demnach umfasst das potenziell signifikante Risikogebiet im Bereich der schleswig-holsteinischen Tideelbe bei einem Extremwasserstand vom HW200 eine Fläche von ca. 1.190 km<sup>2</sup> (s. Abb. 7.1.3) und reicht bis an die höher gelegenen Ränder des Einzugsgebietes. Bei einer Berücksichtigung eines Klimazuschlages von 50 cm ist die Fläche des Risikogebietes nur geringfügig größer (ca. 2 %), die Gesamtfläche würde dann aber mit einem höheren Überflutungswasserstand belastet sein.

### Lösungsoptionen zur Anpassung des Küsten- und Hochwasserschutzes an der Tideelbe an die Folgen des Klimawandels

Für die Probleme, die die Klimafolgen mit sich bringen, müssen Lösungswege gefunden werden. Generell kann man natürlich den kurzfristigen Anstieg des Wasserstandes besser abschätzen als den langfristigen Anstieg. Insbesondere die Abschätzungen der langfristigen Veränderungen sind mit großen Unsicherheiten behaftet. Aus diesem Grund ist eine Planung detaillierterer

Maßnahmen für kurzfristige Planungshorizonte eher möglich. Klimawandelbedingte Wasserstandserhöhungen extremer Ereignisse sind aber auch im Hinblick auf längerfristige Planungen sowie insbesondere auch bei der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen zu betrachten.

Kurzfristige Maßnahmen bei den Ertüchtigungen von Küstenschutzwerken können sich nur auf die Beseitigung von lokalen Schwachstellen beschränken. Für die Bemessung von Landesschutzdeichen in Schleswig-Holstein wird auf der Grundlage des gültigen Referenzhochwasserstandes (RHW), der im statistischen Mittel ein Wiederkehrintervall von 200 Jahren hat (RHW = HW200), ein Klimazuschlag von 50 cm bis zum Jahre 2100 festgelegt. Um gegebenenfalls höheren Meeresspiegelanstiegen Rechnung zu tragen, wurde in Schleswig-Holstein ein innovatives Konzept für Deichverstärkungen entwickelt, welches bereits für aktuelle Planungen durch eine spezielle Bauform zusätzliche Baureserven für spätere Nachverstärkungen schafft (s. Abb. 7.1.2).

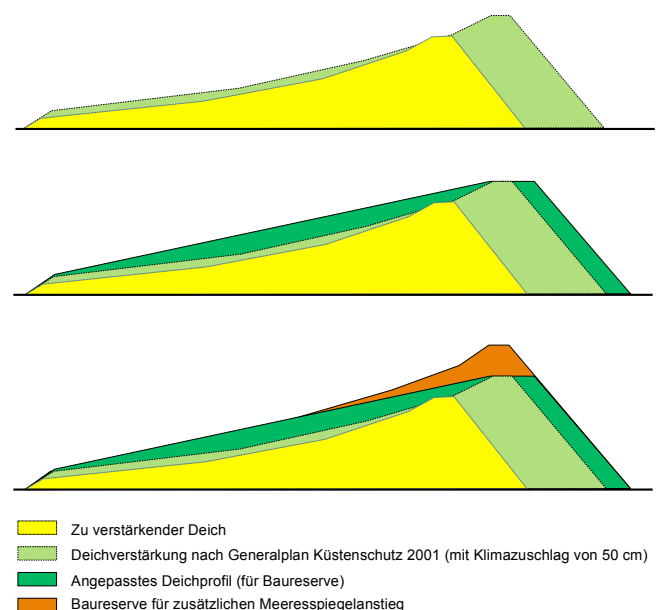


Abb. 7.1.2: Konzept Baureserve für Landesschutzdeiche Schleswig-Holstein-Eintrittswahrscheinlichkeit (HW200) und HW200 + 50 cm (MELUR 2013)

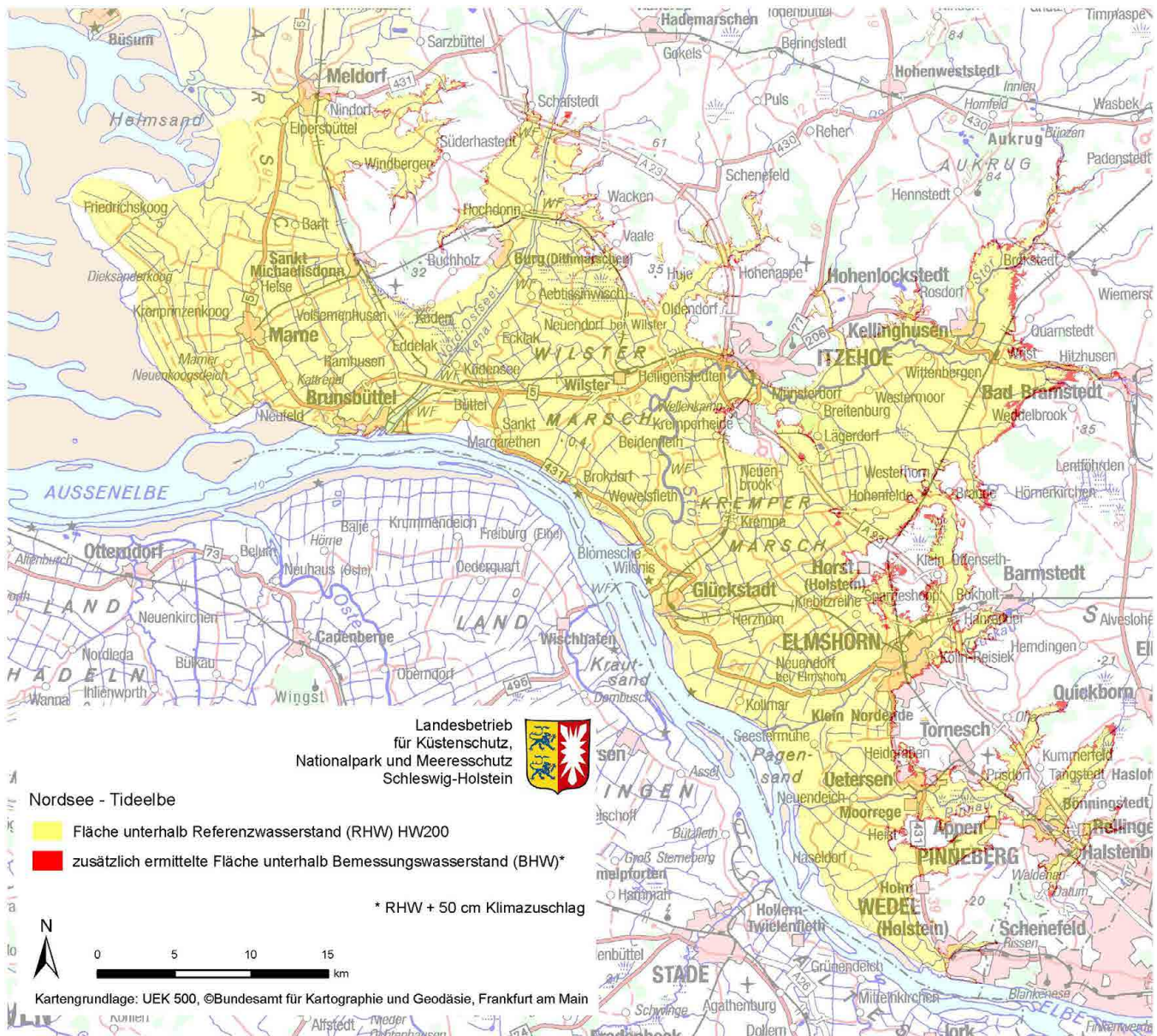


Abb. 7.1.3: Hochwasserrisikokarte Tideelbe Schleswig-Holstein; hier: Küstenhochwasser mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit (HW200) und HW200 + 50 cm, Quellenangabe: LKN-SH 2013

Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, zukünftig mit geringem technischen und finanziellen Aufwand auch gegebenenfalls auftretenden höheren Meeresspiegelanstiegen wirkungsvoll zu begegnen.

Neben der Anpassung der Geometrie der Hochwasserschutzanlagen kann erhöhten hydrodynamischen Belastungen aus Wellen, die in freien, dem Seegang ausgesetzten Lagen zukünftig zu erwarten sind, durch eine angepasste Bauwerksoberfläche begegnet werden. Hier sind beispielsweise besonders widerstandsfähige Deckwerke und lokale Verstärkungen der Bauwerke an besonders belasteten Querschnitten denkbar, die ebenfalls im Vorhaben betrachtet wurden.

Bei langfristig umzusetzenden Lösungen ist naturgemäß auch ein längerer Planungshorizont gegeben, wodurch hierbei neben den bereits angesprochenen klassischen Anpassungsmaßnahmen an den Hochwasserschutzanlagen selbst auch innovative und dezentrale Maßnahmen in Betracht kommen, die nur langfristig umzusetzen sind.

Meist ist die Wirksamkeit solcher dezentraler Maßnahmen für sich betrachtet gering und nur durch die Akkumulation der Einzelwirkungen mehrerer dezentraler Maßnahmen wird eine signifikante Verbesserung der Situation erreicht. Ein Beispiel für eine dezentrale Einzelmaßnahme ist die Verlängerung der Deichlinie im Spadenlander Busch/Kreetsand auf der Elbinsel Wilhelmsburg (s. Abb. 7.1.5). Hier wurde von der Hamburg Port Authority (HPA) im Sinne des Tideelbekonzeptes durch die Deichrückverlegungsmaßnahme ein etwa 30 ha großes tidedurchströmtes Flachwassergebiet erschaffen, das ein zusätzliches Tidevolumen von ungefähr einer Million Kubikmeter schafft.

Zudem muss die Wirksamkeit von langfristigen Anpassungsmaßnahmen nicht zwangsläufig auch an der Stelle sichtbar werden, an der die Maßnahme platziert wird. Meist wird hier angestrebt, dass solche dezentralen Maßnahmen möglichst positive Auswirkungen auf das gesamte System haben. Hierfür ist eine ganzheitliche Betrachtung des Wirkungsgefüges erforderlich. Dahingehend wurden als Schutz vor Sturmfluten im Zuge des Vorhabens





Abb.7.1.4: Arbeiten am Deich an der niedersächsischen Elbseite  
(C. Remmersmann)

KLIMZUG-NORD einengende Maßnahmen im Mündungsbereich der Elbe untersucht, die die Scheitelwasserstände extremer Sturmfluten in der Tideelbe dämpfen sollen. Bei dieser Änderung am System ist der Grad der Dämpfung der Scheitelwasserstände abhängig vom Grad der Einengung des hydraulisch wirksamen Fließquerschnitts und der Lage dieser Maßnahme. So ist bei vergleichbaren Bauwerksabmessungen im inneren Mündungsgebiet der Grad der Verbauung größer als im äußeren Bereich. Bedingt durch die Verringerung des wirksamen Fließquerschnitts steigen die Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Maßnahme gegenüber dem aktuellen Zustand deutlich an.

Im Hinblick auf die Dämpfung von Hochwasserwellen, die von der Nordsee in die Elbe einlaufen, haben die Untersuchungen gezeigt, dass unter heutigen Bedingungen und auch bei geänderten klimatischen Bedingungen mit einem entsprechenden Meeresspiegelanstieg Einengungsmaßnahmen den Sturmflutscheitelwasserstand effektiv senken können. Sturmflutsperrwerke halten selbst extreme Sturmflutwasserstände komplett aus dem geschützten Bereich ab.

### Aufklärung und Bewusstseinsbildung in der Gesellschaft

Eine Anpassung an die Klimafolgen kann auch indirekt durch eine gezielte Aufklärung über das System Tideelbe einschließlich seiner Veränderung sowie durch die Förderung der Bewusstseinsbildung bei Stakeholdern

unterstützt werden. Im Rahmen dieser Aufklärung und Bewusstseinsbildung können neben Hochwasserrisikokarten auch Deichgefahrenkarten Hinweise auf mögliche Gefahrenstellen entlang einer Deichlinie geben, die während eines Hochwasserereignisses besonders geschützt bzw. verstärkt werden müssen. Als Grundlage hierfür wurde in KLIMZUG-NORD ein erster Entwurf entwickelt, der mittels eines probabilistischen Ansatzes die Versagenswahrscheinlichkeiten als Folge von Überströmen für Deichabschnitte entlang der Deichlinie der Tideelbe in Schleswig-Holstein für verschiedene Hochwasserszenarien bzw. Sturmflutszenarien modelliert. Diese Versagenswahrscheinlichkeiten wurden in Form von Deichgefahrenkarten visualisiert.

### Empfehlungen zur Anpassung von Hochwasserschutzanlagen und -maßnahmen an der Tideelbe an die zu erwartenden Klimafolgen

Aufgrund der weiterhin bestehenden erheblichen Unsicherheiten bei der Abschätzung der zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf das Hochwasserschutzsystem der Tideelbe ist eine regelmäßige Überprüfung der Schutzstandards sinnvoll und erforderlich, wie sie in Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Hamburg bereits praktiziert werden. Es muss bei einer kurzfristigen Anpassung stets der langfristige Aspekt berücksichtigt werden. Daher werden bei dieser Anpassung No-Regret Lösungen empfohlen. Bei einer langfristigen Anpassung muss zudem gewährleistet sein, dass der obere Unsicherheitsbereich der zu erwartenden Wasserstände zumindest mit berücksichtigt wird. Die eingeschlagene Strategie muss Elemente beinhalten, mit denen flexibel reagiert werden kann. Aus diesem Grund muss zur langfristigen Anpassung ein integriertes und flexibles Konzept bereits in naher Zukunft entwickelt werden, welches dann sukzessive umgesetzt werden kann. Bei den Fließgewässern sind die Wiederherstellung der natürlichen Funktionen von Überflutungsflächen sowie die Rückgewinnung von Flutraum zumeist relativ wirkungsvolle Maßnahmen, die bei der langfristigen Anpassungsstrategie ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Deichgefahrenkarten geben Hinweise auf mögliche Gefahrenstellen einzelner Deichabschnitte. Sie können anschließend verwendet werden, um direkt wirkende Maßnahmen, wie z.B. Polderanschlüsse, Rückgewinnung von Flutraum, gezielt zu analysieren und - sofern sinnvoll - auch eine Empfehlung zur Umsetzung auszusprechen. Darüber hinaus können Deichgefahrenkarten vom Katastrophenschutz zur Orientierung für lokale Deichverstärkungen während einer extremen Sturmflut genutzt werden.

Die Nutzung von Synergien mit anderen Disziplinen wie Naturschutz, Landwirtschaft und Tourismus ist ebenfalls bei der Maßnahmenfindung und insbesondere bei der Umsetzung zu berücksichtigen. Zu diesen Anpassungsstrategien und diesen Maßnahmenfindungen wird die Durchführung von Lern- und Aktions-Allianzen (LAA, s. Kap. 7.2) empfohlen, die sich im Vorhaben als sehr effektiv erwiesen haben. Eine grundlegende Voraussetzung für die Erarbeitung von Strategien und Konzepten zur Gewährleistung von Sturmflutsicherheit ist die Kenntnis der langfristigen Entwicklung der Belastungsgrößen. Auch müssen für die Ermittlung



Abb.7.1.5: Pilotprojekt Kreeftsand vor und nach dem Umbau (Visualisierung: HPA / osp urbanelandschaften)

der Veränderung hydrologischer Größen (Wasserstand, Strömung und Seegang) aufgrund von anthropogenen und klimatischen Einflüssen ausreichende Datengrundlagen geschaffen sowie entsprechend aufbereitet und ausgewertet werden. Hierfür ist es erforderlich, dass möglichst lange, flächendeckende und verlässliche Zeitreihen des Meeresspiegels sowie weiterer Parameter (u.a. Wellen und Seegang, Strömungen) in dem Untersuchungsgebiet vorliegen bzw. langfristig erhoben werden. Ein entsprechendes gewässerkundliches Monitoring muss hierfür festgelegt und gegebenenfalls angepasst werden.

Auch wenn der Küsten- und Hochwasserschutz schon jetzt einen hohen Sicherheitsschutz gewährleistet, sind der Katastrophenschutz und die Gefahrenabwehr beispielsweise durch Wasserwehren oder Deichwehren auch zukünftig unverzichtbar. Die zuständigen Behörden und betroffenen Institutionen sollten daher auf der Grundlage aktueller und zukünftiger Überflutungsszenarien detaillierte Abwehrpläne erstellen und vorhalten sowie durch Ausbildung und Übungen das betroffene Personal entsprechend schulen.

Mit dem Ausblick auf das 22. Jahrhundert und den dort zu erwartenden Meeresspiegelanstieg wird ein Strategiewechsel des Tideelbemanagements möglicherweise unausweichlich sein. Für die Tideelbe und Hamburg wäre es falsch, wenn der heutige technische Hochwasserschutz ausschließlich einen Meeresspiegelanstieg von ca. 1 m berücksichtigt und für zukünftige Planungen ausschließlich auf Erhöhung von Hochwasserschutzanlagen abzielt. Daher wird empfohlen, die Erfahrungen aus den Arbeiten von KLIMZUG-NORD zu nutzen und in weiteren Forschungen fortzuführen, um Anpassungsoptionen wie No-Regret-Maßnahmen umzusetzen und vor allem zu erweitern. Langfristig müssen wir uns neben einer Sturmflut- bzw. Hochwasserverteidigung auch mit einem erhöhtem Risiko bei Sturmfluten und extremen Hochwasserereignissen auseinandersetzen.

*Autoren:*

*Frerk Jensen, Landesbetrieb für Küstenschutz,  
Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein;  
Norbert Winkel, Bundesanstalt für Wasserbau und  
Peter Fröhle, TU Hamburg-Harburg*



**KLIMZUG-NORD**

**KURS:**

- Monitoring der aktuellen und zukünftigen hydrodynamischen Bedingungen der Tideelbe in Langzeit-Messnetzen.
- Festlegen von bundesländerübergreifenden Sicherheitsstandards von Küsten- und Hochwasserschutzanlagen und laufende Sicherheitsüberprüfung (z.B. alle zehn Jahre).
- Anpassungsmaßnahmen von Küsten- und Hochwasserschutzanlagen an den Klimawandel sind unverzichtbar.
- Zur Maßnahmenfindung wird die Durchführung von Lern- und Aktions-Allianzen mit einem interdisziplinären Teilnehmerkreis empfohlen. Hierbei sollte der Einsatz von Planungstools erfolgen, um die Effizienz gewählter Maßnahmen (u.a. Verlängerung der Deichlinie, Polderanschluss) vorab beurteilen zu können.
- Betrieb und gegebenenfalls Anpassung einer länderübergreifende Wasser-/ Deichwehr als Katastrophenschutz.
- Bei der Ausweisung von Bebauungsgebieten oder anderen Nutzungen in den Risikogebieten nach der EU-HWR-RL sollte die Gefährdung berücksichtigt werden, um gegebenenfalls vorbeugende Maßnahmen zu treffen.
- Wegen der Unsicherheiten sind No-Regret-Maßnahmen und anpassbare Lösungen vorzuziehen, zum Beispiel:
  - Konzept Baureserve für die Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein,
  - Anpassung der Infrastruktur (z.B. Floating-Homes),
  - Schaffung von Flutraum bei Fließgewässern durch ausgewiesene Überflutungsflächen oder durch Hochwasserentlastungspolder.



## 7.2 Hochwasserschutz an tidebeeinflussten Nebenflüssen der Elbe

In die untere Tideelbe münden sieben größere Nebenflüsse, deren Einzugsgebiete bis weit in das Binnenland hineinreichen. Diese Flüsse sind für die Entwässerung der höher gelegenen Geest und der tief liegenden Marsch von zentraler Bedeutung. Strömungen und Wasserstände im Unterlauf der Flüsse werden sowohl durch den Binnenabfluss als auch durch den Tideeinfluss der Nordsee geprägt. Daher ist zu erwarten, dass diese Gewässerabschnitte der Nebenflüsse in besonderem Maße vom Klimawandel und dessen direkten Folgen wie dem Meeresspiegelanstieg betroffen sein werden.



Abb. 7.2.1: Das Krückau-Sperrwerk, Blick in Richtung Elbe (E. Nehlsen)

### Entwässerung und Hochwasserschutz

Im oberen Einzugsgebiet erfolgt der Abfluss im Gewässer allein über das natürliche Gefälle. Aufgrund bestimmter Eigenschaften der Einzugsgebiete, wie z.B. Form und Größe, führen insbesondere kurze, intensive Niederschlagsereignisse zu besonders hohen Hochwasserabflüssen. Auf ihrem Weg in den Unterlauf führen diese zu Überflutungen der angrenzenden Talauen, die seitlich durch die Geesthänge begrenzt sind. An einigen Nebengewässern befinden sich am Übergang von der Geest zur Marsch größere Siedlungsräume, die bei Hochwasser zum Teil gefährdet sind. Entlang der Unterläufe der Nebengewässer verhindern Deiche die Überflutung der tiefliegenden Marschgebiete im Hinterland. An den Mündungen der Nebenflüsse wurden in den 1960er- und 1970er-Jahren Sperrwerke errichtet, die bei höheren Wasserständen der Elbe geschlossen werden, um den dahinter liegenden Bereich zu schützen. Die Entwässerung der Siedlungsräume und der tief liegenden Marschgebiete erfolgt über Siele und Schöpfwerke, wobei die vorhandenen Schöpfwerksleistungen eine bedeutende Größenordnung haben. An den Unterläufen der Nebenflüsse treten die höchsten Wasserstände auf, wenn ein Hochwasser aus dem Einzugsgebiet abfließt, gleichzeitig die Schöpfwerke in Betrieb sind und das Sperrwerk aufgrund einer lang anhaltenden Sturmflut geschlossen bleibt. Der Stauraum hinter den Sperrwerken ist so ausgelegt, dass ein Hochwasser mit einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren (HQ10) plus Zufluss über die Schöpfwerke für die Dauer von zwei gesperrten Tideniedrigwassern (~30h) aufgenommen werden kann. Die Deiche verhindern dabei ein Überlaufen des Wassers in das Deichhinterland.

### Auswirkungen des Klimawandels

Der Hochwasserabfluss und der Schöpfwerkeintrag werden von veränderten Niederschlägen beeinflusst, während die Wasserstände in der Elbe vom Meeresspiegelanstieg beeinflusst werden. Im Rahmen von KLIMZUG-NORD wurden die Auswirkungen am Beispiel der beiden Flüsse Este und Krückau untersucht. Die Berechnungen des Binnenabflusses erfolgten auf der Grundlage der Ergebnisse des regionalen Klimamodells REMO (s. Kap. 3). Betrachtet wurde ein Ensemble aus Rechenläufen, die das Emissionsszenario A1B zugrunde legen. Abbildung 7.2.2 zeigt die Ergebnisse der Binnenabflusssimulationen. Dargestellt sind die Änderungen von Hochwasserabflüssen für die Krückau mit zwei verschiedenen Wiederkehrintervallen (10 und 100 Jahre). In der ersten Hälfte des Jahrhunderts ist in beiden Fällen tendenziell eine leichte Abnahme zu erkennen, während in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts die Mehrheit der Simulationsergebnisse auf eine Zunahme der Abflüsse hindeutet.

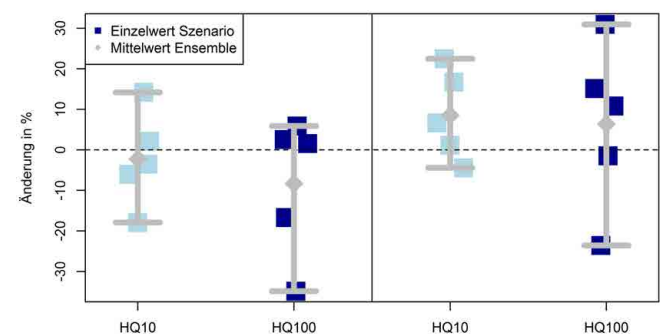


Abb. 7.2.2: Bandbreiten der prozentualen Änderung der Hochwasserabflüsse in der Krückau für verschiedene Wiederkehrintervalle, jeweils dargestellt für 2001 - 2050 (links) und 2051 - 2100 (rechts) gegenüber 1951 - 2000.

Auf der Grundlage der ermittelten Spanne der Abfluss-änderungen wurden verschiedene Abfluss-Szenarien generiert und mit verschiedenen Szenarien zum Meeresspiegelanstieg überlagert. Das extremste Szenario, welches untersucht wurde, kombiniert eine Zunahme des Binnenhochwasserabflusses von 30 % mit einem Meeresspiegelanstieg von 1,4 m. Für dieses Szenario ergibt sich der größte Anstieg des Wasserstandes in den Unterläufen der Flüsse. An der Este beträgt dieser ca. 80 cm, an der Krückau ca. 30 cm. Der deutliche Unterschied ist vor allem an dem Stauraum, der hinter dem jeweiligen Sperrwerk zur Verfügung steht, festzumachen. Die Krückau verfügt durch einen günstigen Verlauf der Deiche über einen deutlich größeren Stauraum als die Este und weist dementsprechend eine größere Robustheit gegenüber Änderungen auf.

## Anpassungsoptionen

Grundsätzlich kommen zur Reduktion der negativen Auswirkungen eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen infrage, die anhand ihrer Wirkungsweise eingeteilt werden können. Zum einen können Maßnahmen darauf ausgerichtet sein, den Zulauf von Wasser in den Stauraum hinter dem Sperrwerk zu reduzieren. Zum anderen können Maßnahmen darauf ausgerichtet sein, den zur Verfügung stehenden Stauraum zu vergrößern. Für die untersuchten Maßnahmen ist in Abbildung 7.2.3 das Potenzial zur Reduktion des klimawandelbedingten Anstiegs des Wasserstands angegeben. Es fällt auf, dass vor allem durch Schaffung von Überlaufpoldern hinter den Deichen eine sehr große Wirkung erzielt werden kann. Im Sinne einer robusten Anpassung sollten mehrere Maßnahmen in einem Anpassungskonzept berücksichtigt werden, um die bestehenden Unsicherheiten zu berücksichtigen und flexibel auf kurzfristige Änderungen reagieren zu können. Darüber hinaus wird empfohlen, Synergien mit anderen Bereichen der Anpassung (s. Exkurs Altes Land) und der Vermeidung zu nutzen.

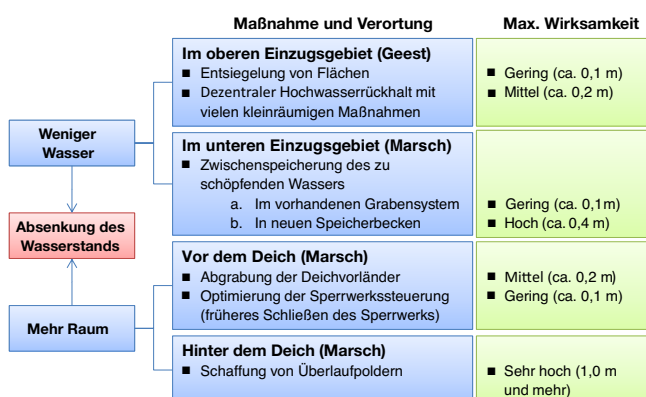


Abb. 7.2.3: Anpassungsmaßnahmen zur Reduktion von Hochwasserständen an Nebengewässern der Tideelbe und deren Wirksamkeit

## Beteiligung der Akteure

Viele der betrachteten Maßnahmen erfordern deutliche Änderungen bestehender Strukturen, wie z.B. der derzeitigen Flächennutzung und der vorherrschenden Denkweise, die z.B. in der Deicherhöhung das zentrale Element der Anpassung an steigende Wasserstände sieht. Dementsprechend generieren alle angeführten Maßnahmen ein hohes Konfliktpotenzial aufseiten der betroffenen Akteure. Der Minimierung dieses Konfliktpotenzials wurde im Rahmen der Arbeiten ein besonders hoher Stellenwert beigemessen. In den Untersuchungsgebieten wurden vor Ort Lern- und Aktionsallianzen (LAAs) durchgeführt, zu denen alle relevanten Akteure aus dem Einzugsgebiet eingeladen wurden (s. Exkurs Elmsborn). Hierzu zählen Vertreterinnen und Vertreter von der Landes- und Kommunalverwaltung und von Verbänden, betroffene Bürgerinnen und Bürger sowie NGOs. Ziel des Formates war es einerseits, bei den Teilnehmenden das Bewusstsein für mögliche negative Folgen des Klimawandels und den daraus resultierenden Anpassungsbedarf zu schärfen. Andererseits galt es, auf der Grundlage der untersuchten Maßnahmen gemeinsame Ansätze zur Anpassung zu entwickeln. Die individuellen Sichtweisen bzw. thematischen Ausrichtungen der Teilnehmenden führten dabei einerseits zu kontroversen Diskussionen, andererseits konnte auch wertvolles Wissen generiert und ein Netzwerk für eine künftige Zusammenarbeit geschaffen werden. In beiden Untersuchungsgebieten herrschte am Ende der Veranstaltungsreihe Einigkeit darüber, dass Klimaanpassung nur in interdisziplinärer Zusammenarbeit auf Einzugsgebietsebene erfolgen kann, und dass mit der Anpassung früh begonnen werden muss, um auch Lösungen, die eine längerfristige Umsetzungsdauer erfordern, einbeziehen zu können. Die Handlungsempfehlungen basieren größtenteils auf den wertvollen Erkenntnissen aus den LAAs.

Autor:

Edgar Nehlsen, TU Hamburg-Harburg



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Alle betroffenen Akteure im Einzugsgebiet beteiligen.
- Interdisziplinäre Zusammenarbeit stärken.
- Anpassungsmaßnahmen kombinieren:
  - neuer Stauraum in der Marsch,
  - dezentraler Wasserrückhalt im Einzugsgebiet,
  - Flächenentsiegelung im Einzugsgebiet,
  - Reaktivierung der natürlichen Funktionen der Gewässerauen.
- Synergien durch multifunktionale Maßnahmen nutzen.









**Gunnar Peter,**  
**Leiter der Abteilung Boden/Luft/Wasser**  
**beim Landkreis Harburg**

**1. Welche Relevanz hat das Thema Anpassung an den Klimawandel für Ihre tägliche Arbeit?**

Im Hinblick auf steigende Hochwasser- und Sturmflutrisiken gewinnt das Thema Anpassung an den Klimawandel zunehmend an Bedeutung.

**2. Wie sind Sie mit dem Verbundprojekt KLIMZUG-NORD in Berührung gekommen und mit welchen Projektthemen hatten Sie Kontakt?**

Mit KLIMZUG-NORD sind wir über die Vorstellung des Vorhabens zu Projektbeginn und über die „Lern- und Aktionsallianzen“ in Berührung gekommen.

**3. Wurden in Kooperation mit den Projektpartnern von KLIMZUG-NORD Maßnahmen konkret umgesetzt oder werden in Zukunft Projekte realisiert?**

Im Rahmen des Anschlussprojektes „Klimawandel im Einzugsgebiet der Este“ (KLEE) werden die Ergebnisse von KLIMZUG-NORD aufgegriffen. Aus den empfohlenen Anpassungsoptionen sollen in KLEE konkrete Maßnahmen für das Einzugsgebiet der Este geplant werden. Das aufgebaute Akteursnetzwerk wird einbezogen.

**4. In welcher Form hat das Projekt Ihre eigene Arbeit beeinflusst?**

Die durchgeführte Analyse der Auswirkungen des Klimawandels speziell für das Einzugsgebiet der Este liefert uns eine Größenordnung für die zu erwartenden Änderungen und zu ergreifende Maßnahmen.

**5. Glauben Sie, dass sich die Ergebnisse des Projekts normativ oder institutionell auf die politischen oder verwaltungstechnischen Abläufe ihrer jeweiligen Region, Stadt oder Gemeinde auswirken?**

Ein wesentliches Ergebnis des Projektes ist, dass die Einbeziehung der maßgeblichen Institutionen und Akteure vor Ort, also eine frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit, gerade über die Lern- und Aktionsallianzen essenziell für das Gelingen von Projekten ist. Vor allem, weil Lösungen nicht von „oben herab“ durchgesetzt, sondern gemeinsam erarbeitet werden.

**6. Wie bewerten Sie aus Ihrer persönlichen Sicht den Erfolg des Projektes?**

Das Projekt stellt den wichtigen ersten Schritt zur Klimaanpassung in der Region dar. Neben der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels und der Erarbeitung von Anpassungsoptionen ist vor allem das Akteursnetzwerk zu erwähnen, welches mit Wissen versorgt wurde und weiter in die Planungen mit einbezogen wird.

**7. Was möchten Sie den Kursbuchleserinnen und -lesern sonst noch ans Herz legen?**

Der Anpassungsprozess hat gerade erst begonnen. Ein Nachlassen wäre fatal. Wichtig ist, Lösungen mit der Öffentlichkeit gemeinsam zu suchen und diese möglichst auch umzusetzen.



## 7.3 Klimawandel und Wasserhaushalt in der Hamburger Elbmarsch

Die Hamburger Elbmarsch erstreckt sich links- und rechtsseitig entlang der Tideelbe und schließt die Elbinseln Wilhelmsburg im Stromspaltungsgebiet sowie das Obstanbaugebiet Altes Land ein. Diese tief liegenden, grundwassernahen Gebiete sind mithilfe von Deichen vor dem Einfluss der Tide und vor Sturmfluten geschützt und können nur aufgrund eines komplexen Entwässerungssystems bewohnt und bewirtschaftet werden. Das Grundwasser der Marsch ist im Wesentlichen von zwei Größen abhängig. Zum einen beeinflusst der Wasserstand der angrenzenden Elbe das Grundwasser der Marsch. Zum anderen strömt Grundwasser aus dem Hinterland, der Geest, zu. Das Grundwasser ist durch die marscheneigene Kleiabdeckung überlagert. Die Grundwasserpotenziale liegen nahe der Geländeoberfläche. Es ist zu erwarten, dass Klimawandel bedingte Elbwasseranstiege auch die Grundwasserpotenziale steigen lassen. Aufgrund der sich (klimatisch bedingt) elbaufwärts verschiebenden Brackwasserzone in der Elbe wird sich auch die Grundwasserqualität durch vermehrt in den Grundwasserleiter eindringendes brackiges Wasser verändern.

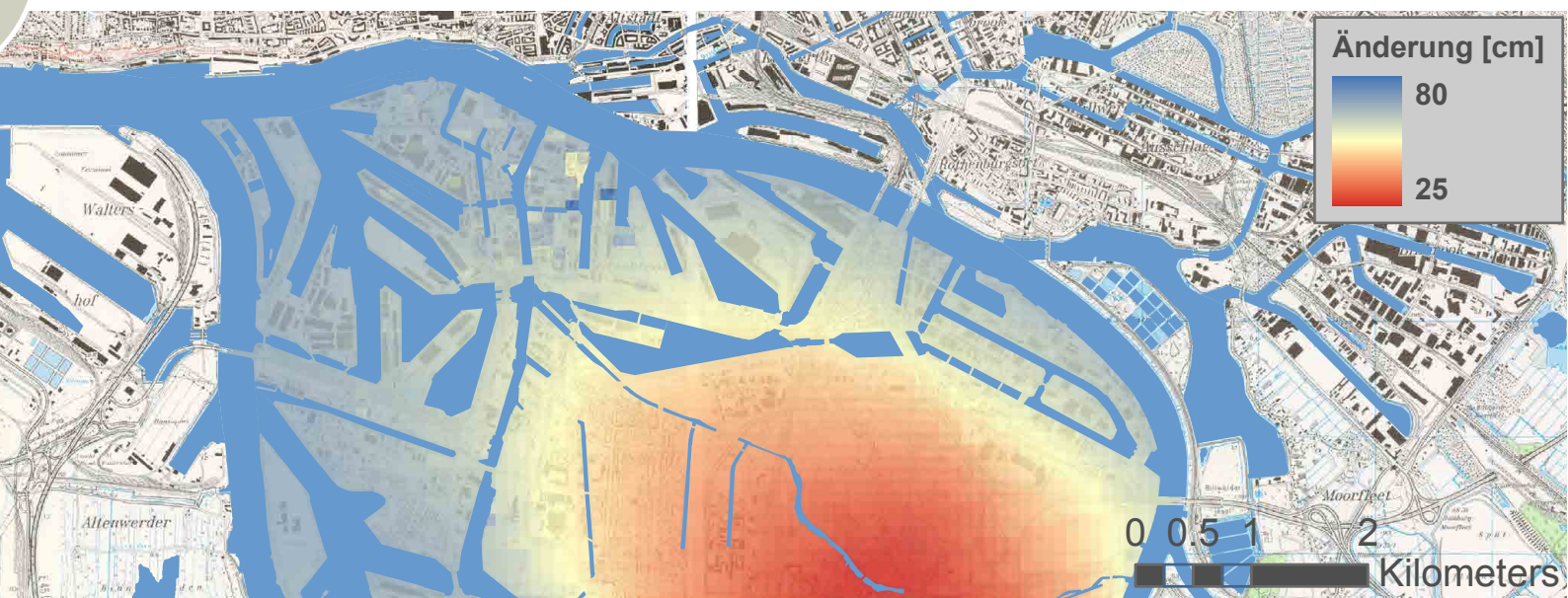


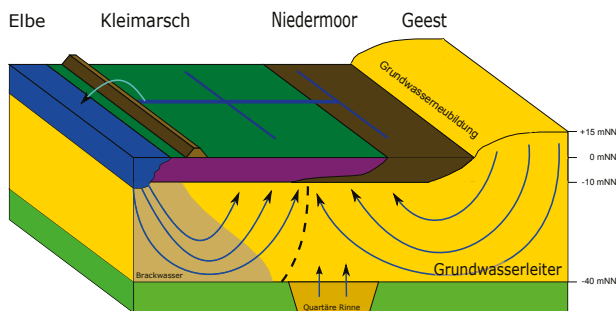
Abb. 7.3.1: Änderung der Grundwasserpotenziale durch einen Elbwasseranstieg von 80 cm (Modellrechnungen) (A.-G. Meier)

### Quantitative Änderungen

Die Grundwasserpotenziale im Stromspaltungsgebiet der Elbe werden maßgeblich von den mittleren Elbwasserständen bestimmt. Die lokalen Niederschläge werden zum größten Teil oberflächlich abgeleitet und haben keinen signifikanten Einfluss auf das Grundwasser der Marsch (s. Exkurs Wilhelmsburg). Während in den Teilgebieten, die an die Elbe angrenzen, die Grundwasserpotenziale den Elbwasserständen folgen, werden die Potenziale mit zunehmendem Abstand zur Elbe verstärkt durch die Wirkung des Entwässerungssystems abgesenkt. Um die Elbmarschen zu entwässern und nutzbar zu machen, werden in verschiedenen Zonen definierte Wasserstände in einem Netzwerk aus Oberflächengewässern eingesteuert und das überschüssige Wasser über Schöpfwerke und Siele zurück in die Elbe geleitet (s. Abb. 7.3.2). Damit die Flächen auch in Zukunft auf dieselbe Weise genutzt werden können, muss dieser Status quo auch unter der Wirkung des Klimawandels beibehalten werden. Jedoch ist mit einem Anstieg der Entwässerungsvolumina zu rechnen, die sich aus der Summe der oberflächlich abfließenden Niederschläge sowie der aus Boden und Grundwasser

zusickernden Drainageraten ergeben. Aufgrund der unmittelbaren Abhängigkeit der Grundwasserpotenziale vom Elbwasserstand nehmen durch einen klimawandelbedingten Anstieg der Elbwasserstände auch die Grundwasserpotenziale zu (s. Abb. 7.3.1). Mit zunehmendem Abstand zur Elbe nimmt der Einfluss des Elbwasseranstiegs auf das Grundwasser ab und die Wirkung des Entwässerungssystems zu. Eine Zunahme der Grundwasserpotenziale aufgrund steigender Elbwasserstände zieht eine Erhöhung der aus dem Grundwasser zusickernden, kontinuierlichen Entwässerungsrate nach sich. Demzufolge steigt die Grundlast des für die Nutzung der Marschen notwendigen Entwässerungssystems an. Beispielsweise kann für die Elbinseln Wilhelmsburg von einem nahezu linearen Trend dieser Ratenänderung bei einer Erhöhung der Elbwasserstände zwischen 20 cm und 80 cm ausgegangen werden (s. Abb. 7.3.3). Aufgrund ihrer großen Flächenanteile an der gesamten entwässerten Fläche Wilhelmsburgs machen die Teilgebiete mit einem Oberflächenwasserstand von 0 m NN und -0.15 m NN einen Großteil der Entwässerungsrate aus. Einer Änderung der Entwässerungsrate kann mit

einer optimierten Organisation und schließlich dem technischen Ausbau und der Steigerung der Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems unter Berücksichtigung des Naturschutzes begegnet werden. Möglichkeiten für den Ausbau wären, leistungsfähige Ausweichschöpfwerke zu schaffen, eine Steigerung des Förderstroms und eine Erhöhung des geodätischen Förderhöhenanteils zur Verlängerung der Schöpfzeiten. Ferner können zusätzliche Retentionsräume zur Entlastung des Entwässerungssystems bei Starkniederschlägen beitragen.



7.3.2: Qualitative Darstellung des Grundwassersystems der Marsch (J. Palm)

## Qualitative Änderungen

Neben der Potenzialänderung durch den Klimawandel ist auch eine Änderung der Qualität des Grundwassers möglich. Durch zu erwartende längere Trockenperioden im Einzugsgebiet der Elbe wird in den Sommermonaten ein geringerer Süßwasserzustrom in das Ästuar erwartet. Dadurch ist damit zu rechnen, dass sich vor allem im Sommer die Brackwasserzone in Jahren ohne Sommerhochwasser stark verschiebt. Worst-Case-Simulationen haben gezeigt, dass erhöhte Salinitäten bis Elbe-Stromkilometer 634, also bis zur Este-Mündung, auftreten können (s. Exkurs Altes Land). Während dieser Zeit tritt brackiges Wasser in den Grundwasserleiter über. Allerdings wird die Salinität des Grundwassers im Bereich des Alten Landes nur gering steigen, da das Elbwasser bis Stade im Jahresgang überwiegend die Salinität des Oberwasserzustroms annimmt. Das Fortschreiten der Grundwasserversalzung ist aufgrund geringer Grundwasserfließgeschwindigkeiten als gering einzuschätzen.

Der Effekt der Grundwasserversalzung wird jedoch elbabwärts zunehmen. Eine genaue Quantifizierung des Problems ist schwierig, da der zukünftige Süßwasserzustrom

in das Ästuar und die Änderung des Meeresspiegels mit sehr großen Unsicherheiten behaftet sind.

Neben der Versalzung durch Brackwasser ist das Grundwasser der Marsch auch durch natürlich bedingte Salzwasseraufstiege (d.h. dass salinare Wässer aus tieferen Grundwasserleitern in höhere aufsteigen) örtlich gefährdet. Da während der Sommermonate der Trockenstress von Kulturpflanzen zunehmen wird, ist mit einer zunehmenden Wasserentnahme der Landwirtschaft zu rechnen. Zum Erhalt der Grundwasserqualität in der Elbmarsch empfiehlt es sich, Grundwasserentnahmen, wenn hohe Salinitäten an den entsprechenden Elbkilometern dominieren, in Elbnähe zu reduzieren. Weiterhin ist der Bau von Beregnungsbrunnen in der Nähe zu den Salzwasseraufstiegen zu vermeiden.

Des Weiteren ist der Aufbau eines Grundwassermonitorings ratsam. So kann das Fortschreiten der Versalzungsprozesse beobachtet werden und bei Bedarf können aktive Maßnahmen ergriffen werden.

*Autorin und Autoren:*

*Anna-Gesa Meier, Joachim Palm und Wilfried Schneider, TU Hamburg-Harburg*

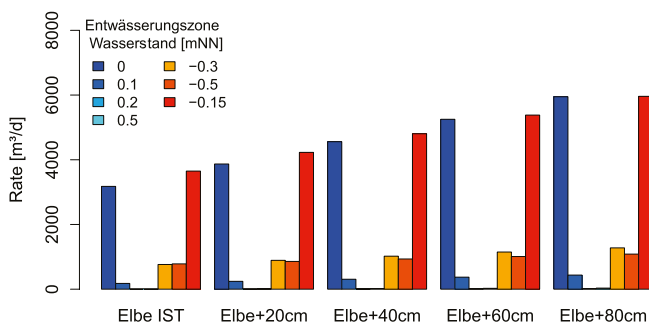


Abb. 7.3.3: Zunahme der aus dem Grundwasser zusickernden Entwässerungsraten bei steigenden Grundwasserpotenzialen unter dem Einfluss eines Elbwasseranstiegs (Modellrechnungen) (A.-G. Meier)



**KLIMZUG-NORD**

**KURS:**

- Leistungsfähigkeit des Entwässerungssystems steigern (Ausweichsystem schaffen, Förderströme erhöhen, geodätische Förderhöhe anpassen, Retentionsräume schaffen).
- Verbessertes Grundwassermonitoring entlang der Elbe.
- Wasserentnahmen während hoher Salinität in der Elbe vermeiden.



## 7.4 Lebensraum Elbeästuar – auch 2050 alles im Fluss?

Der von den Gezeiten beeinflusste Abschnitt der Elbe stromab des Wehrs in Geesthacht hat hohen naturschutzfachlichen Wert. In Verbindung mit dem Eindringen von Salzwasser aus der Nordsee hat der Wechsel von Ebbe und Flut zahlreiche schützenswerte Lebensräume mit zum Teil einzigartigen Tier- und Pflanzenarten entstehen lassen. Der Klimawandel und der damit verbundene Anstieg des Meeresspiegels wird Hydrologie, Lebensräume und Artenzusammensetzung der Tideelbe deutlich verändern. Schutz und Erhalt der typischen Ökosysteme an und in einem Fluss mit großer wirtschaftlicher Bedeutung erfordern die Weiterentwicklung integrierter Naturschutzkonzepte.



Abb. 7.4.1: Im Brackwasserbereich des Elbeästuars (B.-U. Netz)

### Der Ist-Zustand: Schützenswerte Vielfalt

Regelmäßig schwankende Wasserstände und ein ausgehend von der Elbmündung in Richtung Geesthacht abnehmender Salzgehalt des Wassers sind die prägenden ökologischen Faktoren des Elbeästuars. Entlang dieses Salinitätsgradienten haben sich typische, gemäß FFH-Richtlinie (FFH-RL) geschützte Habitats und speziell angepasste Arten entwickelt bzw. angesiedelt. So wurden von 2009 bis 2010 61 Fischarten nachgewiesen, von denen 10 nach der FFH-RL bzw. der Roten Liste Deutschlands als besonders schutzwürdig gelten. In Abhängigkeit von der Salinität wurden zwei Fischfaunen unterschieden: Eine durch marine Fischarten geprägte Fischfauna im mündungsnahen salzreichen Elbabschnitt und eine durch Wander- und Süßwasserfischarten beeinflusste Fischfauna stromaufwärts. Auch in der Vegetation spiegelt sich der Salinitätsgradient wider. Vor dem Deich liegende, durch Sedimentation entstandene Flächen können in Salz- und Süßwassermarschen mit Tideröhrichten sowie in Tide-Auwäldern differenziert werden. Marschen übernehmen wichtige Ökosystemfunktionen, z.B. aufgrund ihrer wellendämpfenden Wirkung oder als Senke für Nährstoffe und Kohlenstoff. Süßwassermarschen und Tide-Auwälder sind zudem Lebensraum des Schierlings-Wasserfenchels (*Oenanthe conioidea*), einer Pflanzenart, die nur am Elbeästuar auftritt und deren Schutz nach FFH-RL höchste Priorität hat.

### Flora und Fauna im Klimawandel

Ein Anstieg des Meeresspiegels würde zu einer Zunahme der Tideamplitude führen (s. Kap. 7). Salzhaltiges Wasser könnte tiefer in die Elbe vordringen und eine Verlagerung der oberen Brackwassergrenze stromaufwärts verursa-

chen. Da der limnische Teil der Tideelbe durch das Wehr in Geesthacht und Deiche begrenzt wird, wäre ein Rückgang der Süßwassermarschen und damit von *Oenanthe conioidea* die Folge. Auch eine Zunahme des Anteils mariner Fischarten und Individuen stromauf und ein entsprechender Rückgang des Anteils von Süßwasserfischarten und Individuen stromab ist sehr wahrscheinlich. Im oberen und mittleren Abschnitt des Elbeästuars würden weniger Laichplätze verfügbar sein, die z.B. von der durch die FFH-RL geschützten Finte (*Alosa fallax*) genutzt werden (s. Abb. 7.4.2). Die räumliche Ausdehnung wichtiger Aufwuchsgebiete von Stint (*Osmerus eperlanus*), Finte und Nordseeschnäpel (*Coregonus maraena*) im Süßwasserbereich wäre rückläufig. Generell sind aufgrund des Klimawandels großräumige Verschiebungen der Verbreitungsgebiete von Flora und Fauna zu erwarten, was sich bereits in einer Zunahme wärmeliebender (Fisch-)Arten zeigt. Große Flusssysteme wie die Elbe sind verbindende Landschaftselemente, deren Bedeutung als Ausbreitungsschse im Biotopverbund für Tiere und Pflanzen künftig steigen wird.

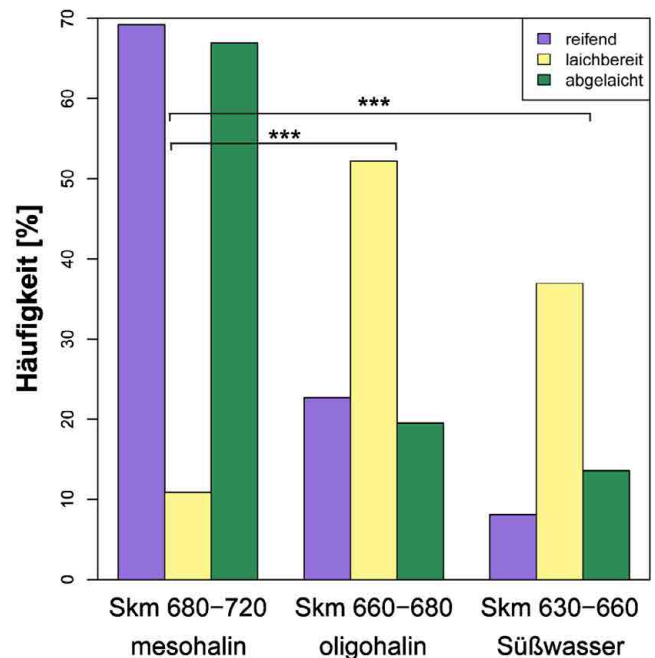


Abb. 7.4.2: Anteil von Reifestadien der Gonaden (Keimdrüsen) der Finte in unterschiedlichen Stromkilometer (SkM)-Abschnitten des Elbeästuars mit Angabe der vorherrschenden Salinitätsbereiche (\*\*\*) = statistisch hoch signifikante Unterschiede).

### Meeresspiegelanstieg und Sedimentation

Der Meeresspiegelanstieg und die Zunahme der Tideamplitude verändern die Überflutungsdynamik auf den Vordeichsflächen mit ihren Marschen und in Tide-Auwäldern. Vielfach wird diskutiert, ob künftig genügend

Schwebstoffe sedimentiert werden, um die Vordeichsflächen parallel zum Meeresspiegel aufwachsen zu lassen. Ergebnisse aus den Jahren 2010/2011 zeigen, dass die Auflandung zwischen 5 und 15 mm/Jahr betrug. Die höchsten Sedimentationsraten wurden im unteren (elbnahen) Bereich der Brackwassermarsch gefunden, während die Sedimentationsraten in den unteren Bereichen der Süßwasser- bzw. Salzmarsch deutlich geringer ausfielen (s. Abb. 7.4.3). Höhere Bereiche der Marsch wiesen Sedimentationsraten von 1,3 bis 2,9 mm pro Jahr auf. Die höchsten Sedimenteinträge treten im Winterhalbjahr und bei Extremereignissen auf. Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Überflutungshäufigkeit, dem Schwebstoffgehalt des Überflutungswassers und der Sedimentationsrate.

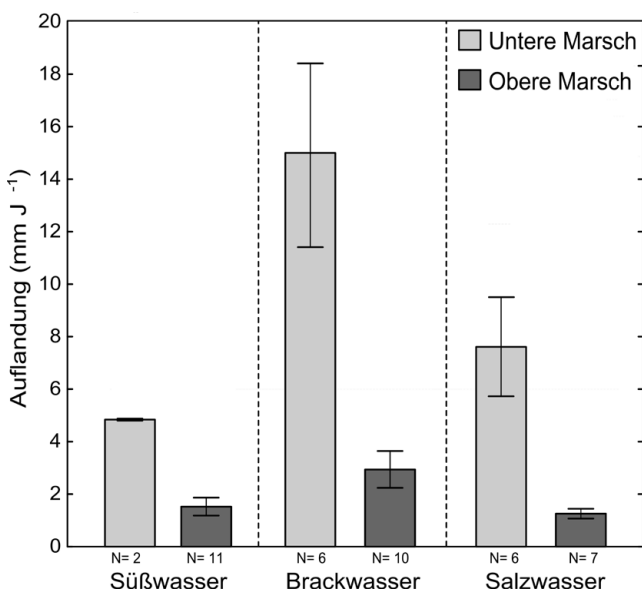


Abb. 7.4.3: Durch Sedimentation hervorgerufene Auflandung in drei Marschtypen im Deichvorland der Tideelbe in Abhängigkeit von der räumlichen Lage (Untere Marsch = elbnah, Obere Marsch = deichnah).

Die ermittelte Auflandung übersteigt den aktuell für die deutsche Küste anzunehmenden Meeresspiegelanstieg - ein Mitwachsen der Marschen sollte also möglich sein. Die künftig höhere Tideamplitude verstärkt zudem den stromaufwärts gerichteten Transport von Sedimenten. Aber auch die Strömungsdynamik wird verändert. Insgesamt könnten höhere Sedimentationsraten auftreten, während lokal vermehrt Erosion stattfindet.

Sedimente mit teils toxischen Anhaftungen (z.B. Kupfer, Quecksilber, chlorierte Kohlenwasserstoffe) werden aus dem Ober- und Mittellauf der Elbe in das Elbeästuar eingetragen. Ein Großteil der toxischen Stoffe ist in Böden entlang der Elbe gebunden und kann bei Hochwasser freigesetzt werden. Dies könnte die Ökosystemfunktionen von Watten und Marschen am Elbeästuar sowie Flora und Fauna beeinträchtigen. Aufgrund des Klimawandels ist mit einer Zunahme der Hochwässer im Ober- und Mittellauf der Elbe und somit der verstärkten Zufuhr toxischer Sedimente in das Elbeästuar zu rechnen. Ein erhöhter Schadstoffeintrag wird nach Ergebnissen erster Untersuchungen erst bei überdurchschnittlichen Hochwasserereignissen (HQ20) stattfinden. Die Toxizität der freigesetzten Stoffe kann künftig unter Einfluss erhöhter UV-Einstrahlung zunehmen. Maßnahmen zur Reduktion des Schadstoffeintrags müssen am Ober- und Mittellauf der Elbe getroffen

werden. Bestehende Kooperationen mit Behörden und anderen Akteuren an der Tideelbe sollten intensiviert werden.

## Naturschutzmaßnahmen mit Synergieeffekten

Die Effekte des Klimawandels können durch menschliche Aktivitäten verstärkt (z.B. Fahrrinnenvertiefung, Verengung des Überflutungsraumes durch Deichbau) oder vermindert werden. Als wichtige Ausbreitungsachse für Flora und Fauna sollte die Durchgängigkeit der Elbe und der Nebenflüsse hergestellt werden. Ergänzt um die Schaffung von Trittsteinen im Hamburger Hafen könnten so künftig verstärkt stattfindende Wanderungsprozesse erleichtert werden. Eine zentrale Naturschutzmaßnahme ist die Aufweitung des Flussbettes durch lokale Deichrückverlegungen und die Anlage von Poldern bevorzugt im Süß- und Brackwasserbereich des Elbeästuars. Eine Ausdehnung der Gebiete mit Tideeinfluss könnte die Tideamplitude dämpfen, die Verlagerung der Brackwasserzone begrenzen, die Ausprägung naturnaher Strukturen fördern und Ökosystemfunktionen in Watten, Marschen und Tide-Auwäldern stärken. Zu bedenken ist, dass durch lokale Deichöffnungen o.ä. schützenswerte Lebensräume im ehemals eingedeichten Areal betroffen sein können. Aufgrund des Meeresspiegelanstiegs kann dies für größere Flächenanteile zutreffen als heute. Die (rechtliche) Abschätzung der Effekte von Rückdeichungen sollte somit anhand von Szenarien erfolgen. Die Synergien einer Vergrößerung des Überflutungsraums der Tideelbe sind dabei deutlich: Neben den durch die FFH-RL geschützten typischen Lebensräumen und Arten können auch Hafenwirtschaft und Küstenschutz profitieren.

Autorinnen und Autoren:

Wiebke Schoenberg, Christian Butzeck, Dennis Eick, Kai Jensen, Victoria Magath, Ralf Thiel, Universität Hamburg; Elena Rottgardt und Karsten Runge, Leuphana Universität Lüneburg; Susanne Heise und Pei-Chi Hsu, HAW



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Ausdehnung der Gebiete mit Tideeinfluss – Tideamplitude und Verlagerung der Brackwasserzone dämpfen, naturnahe Habitate schaffen und Ökosystemfunktionen stärken!
- Strukturvielfalt und Sedimentationsprozesse am Elbeästuar durch Rückbau von Uferbefestigungen fördern!
- Die Elbe und ihre Nebenflüsse durchlässig gestalten – Wanderungen von Flora und Fauna ermöglichen!
- Synergien nutzen – Hafenwirtschaft sowie Küsten- und Hochwasserschutz profitieren von einer Dämpfung der Tideamplitude!



## 7.5 Ökonomische Aspekte: Verwundbarkeiten und Kosten der Nicht-Anpassung

Die Hamburger Wirtschaft wird auf vielfältige Weise von Klimaänderungen betroffen sein. Der Hafen und Unternehmen in sturmflutgefährdeten Gebieten sind direkt von der Deichsicherheit abhängig und zusätzlich durch einen Meeresspiegelanstieg gefährdet. Zudem kann eine Zunahme von Extremereignissen, wie Starkregen oder Hitzeperioden, Transportwege unterbrechen, Gebäude beschädigen oder die Sicherheit der Energieversorgung gefährden. Die Auswirkungen des Klimawandels werden daher nicht nur zu ökologischen, sondern auch zu erheblichen ökonomischen Schäden und Folgekosten führen, wie am Beispiel des Elbehochwassers 2013 zu sehen war. Ökonomische Methoden helfen bei der Bewertung von Anpassungsmaßnahmen. In KLIMZUG-NORD wurden hierzu Schadensschätzungen durchgeführt und ein Index entwickelt, der die sektorale und regionale Betroffenheit aufzeigen kann.

### Regionale und sektorale Betroffenheit durch den Klimawandel

Für politische Entscheidungsträger beginnt die Herausforderung der Anpassung an den Klimawandel damit, Regionen und Sektoren zu identifizieren, die Unterstützung bei der Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen benötigen. Wirtschaftliche Aktivitäten werden dabei auf unterschiedliche Weise von Klimaänderungen beeinflusst. Je nach Art ihrer Tätigkeit sind sie unterschiedlich stark auf Energie-, Wasserversorgungs- oder Transportnetze angewiesen und benötigen bzw. liefern mehr oder weniger Zwischenprodukte von anderen bzw. an andere Unternehmen. Für die Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse wird im Vergleich zu anderen Sektoren z.B. viel Wasser benötigt, während der Fahrzeugbau stark auf die Lieferung von Vorprodukten, wie Automobilelektronik oder Reifen, angewiesen ist.

Bisher gibt es kaum quantitative Methoden, um eine Vergleichbarkeit der Vulnerabilität von Sektoren und – in Abhängigkeit von ihrer Wirtschaftsstruktur – Regionen darzustellen. Diese sind aber notwendig, um die Aufmerksamkeit der Akteure auf die besonders verletzlichen Bereiche in ihrer Region zu richten und Anpassungsmaßnahmen anzustoßen. Einen ersten Ansatz bietet der in KLIMZUG-NORD entwickelte Betroffenheitsindex [1]. Er liefert Anhaltspunkte für den Zusammenhang zwischen möglichen Klimafolgen, der Sensitivität von Wirtschaftszweigen und den Konsequenzen für einzelne Regionen. Betrachtet man die Wirtschaftsstruktur einer Region und ergänzt Informationen zu ihrer Exposition gegenüber klimatischen Veränderungen, so gibt dies Auskunft über die Betroffenheit der Region.

Ein Sektor ist annahmegemäß umso sensibler, je energie- und wasserintensiver und je abhängiger von Verkehrsinfrastrukturen er ist und je mehr unterschiedliche Vorleistungen er verwendet. Für die Freie und Hansestadt Hamburg zeigt sich z.B. eine hohe Sensitivität der Energie- und Wasserversorgung, der chemischen Industrie und der Metallherstellung (s. Abb. 7.5.1). Die Ursachen der Sensitivität sind allerdings unterschiedlich. Während die chemische Industrie von vielen verschiedenen Vorleistungen abhängt und damit anfällig gegenüber Produktionsausfällen bei Zulieferern ist, ist der Wasserversorgungssektor durch einen hohen Wasser- und Energieeinsatz geprägt.

Unter Berücksichtigung projizierter Temperaturanstiege wurde der Sensitivitäts- in einen Betroffenheitsindex überführt. Die Ergebnisse deuten beispielsweise auf einen Handlungsbedarf in den schon als sensitiv identifizierten Sektoren Energie- und Wasserwirtschaft sowie der chemischen Industrie, aber auch in der Landwirtschaft hin. Eine weitergehende Überführung in einen Vulnerabilitätsindex ist mangels belastbarer Daten zur Anpassungskapazität von Sektoren noch nicht möglich.

### Schäden nach einem Extremereignis

Für die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen ist es elementar, deren Kosten und Nutzen möglichst gut zu kennen. Die Abschätzung von Schäden nach einem Extremereignis kann beispielsweise Anhaltspunkte dafür geben, welchen Nutzen eine Maßnahme stiften kann, die diese Schäden mindert.

Untersuchungen für das Modellgebiet Wilhelmsburg haben gezeigt, dass es wichtig ist, neben den direkten auch die indirekten Schäden in die Bewertung mit aufzunehmen. Diese umfassen unter anderem Produktionsunterbrechungen, Produktionsverluste während Wiederaufbaumaßnahmen und Einschränkungen in der Nutzung von Wohngebäuden. Methoden zur Abschätzung indirekter Schäden befinden sich derzeit noch im Aufbau und wurden in KLIMZUG-NORD erweitert. Interdisziplinär und projektübergreifend wurden umfangreiche Schadensschätzungen für verschiedene Sturmflutereignisse durchgeführt, bei denen es zu einer Überflutung im Stadtteil Wilhelmsburg kommt [2]. Der Fokus lag dabei auf den tangiblen direkten und indirekten Schäden. Kleine und mittlere Ereignisse können für die Hamburger Wirtschaft insgesamt stimulierend wirken, indem die durch Wiederaufbaumaßnahmen generierten Wertschöpfungsgewinne die Verluste übersteigen. Anders verhält es sich, wenn alle Wilhelmsburger Wohn- und Gewerbegebäude von dem Flutwasser erfasst werden. Der direkte Schaden an Gebäuden und Inventar beträgt hier 5,5 Mrd. Euro. Da es durch Produktionsunterbrechungen zu Lieferengpässen kommt, müssen auch Betriebe ihre Produktion einschränken, die nicht direkt von der Flut betroffen sind. Bis alle Schäden beseitigt sind und die Produktion wieder normal

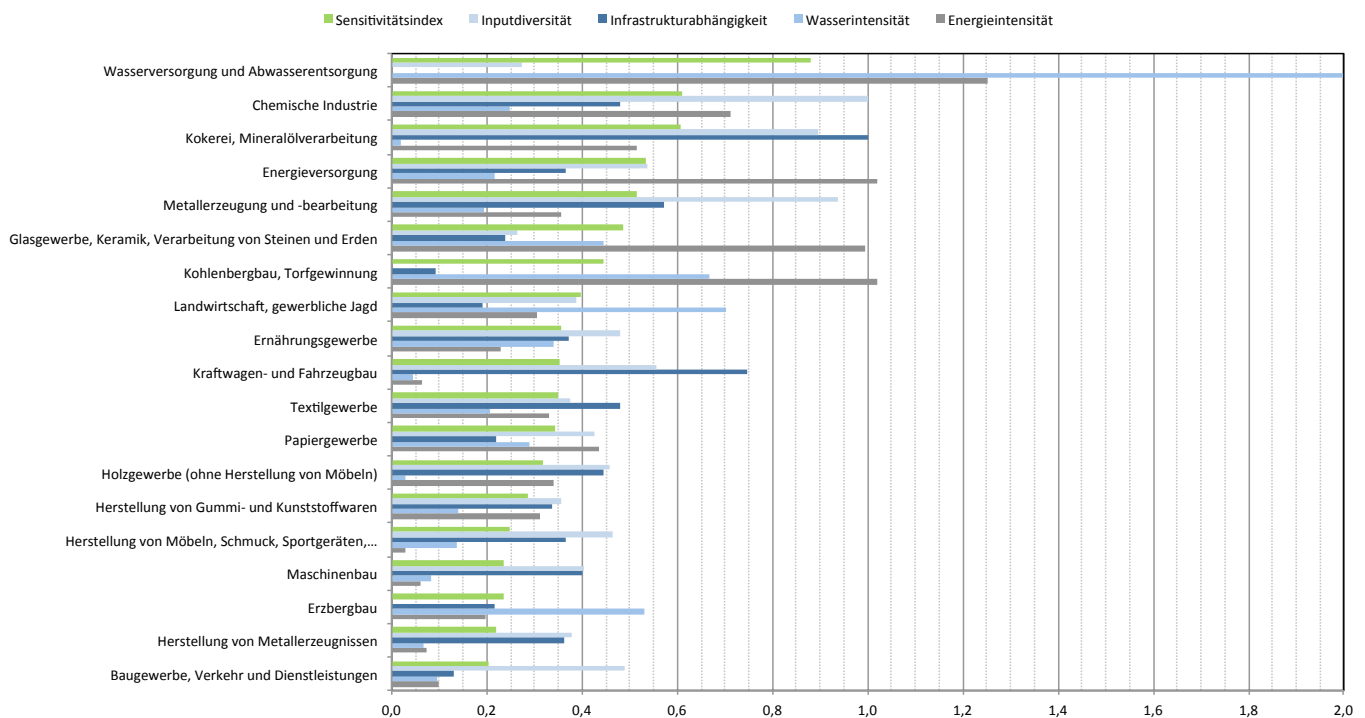


Abb. 7.5.1: Sensitivitätsindex für die Wirtschaftszweige am Beispiel der Freien und Hansestadt Hamburg (HWWI)

weiterlaufen kann, ist ein indirekter Wertschöpfungsverlust von rund 550 Mio. Euro entstanden – das entspricht in etwa den Bruttojahreslöhnen von 15.000 Hamburger Arbeitnehmern. Weitere Untersuchungen zeigen, dass die indirekten Verluste die direkten Schäden sogar übersteigen können, wenn größere Teile Hamburgs betroffen wären.

Auch Starkregen und damit verbundene Überschwemmungen können erhebliche private und volkswirtschaftliche Schäden verursachen. Bereits heute führen solche Ereignisse im Extremfall zu einer Überlastung der Abwassersysteme, sodass Straßen, Bahnsteige, Wohn- und Geschäftsräume überflutet werden. Für den Starkregen im Juni 2011 in Hamburg lagen die Schäden nach unseren Schätzungen bei mindestens 27,2 Mio. Euro [3]. Den Großteil machten Schäden an Wohn- und Gewerbegebäuden sowie deren Inventar aus. Sowohl staatliche als auch private Maßnahmen, wie Regenwasserrückhaltebecken oder wasserdichte Kellerfenster in Wohn- und Geschäftshäusern, können bereits unter den heutigen klimatischen Bedingungen einen hohen Nutzen stiften. Im Falle einer durch den Klimawandel bedingten Zunahme von Starkregenereignissen in Hamburg erhöht sich ihr Nutzen als Anpassungsmaßnahme zusätzlich.

## Handlungsoptionen und Verantwortliche

Um einen effizienten Einsatz der zur Verfügung stehenden staatlichen und privaten Mittel zu gewährleisten, sind regionale Vulnerabilitätsanalysen sinnvoll. Diese heben hervor, welche Sektoren besonders vom Klimawandel betroffen sind und zeigen deren Bedeutung für die regionale Wirtschaft auf. Hieraus können dann Handlungsbedarfe abgeleitet werden. Wer letztendlich Anpassungsmaßnahmen umsetzt und wer sie finanziert, hängt unter anderem davon ab, wer Nutznießer der Maßnahme ist und wie hoch die Anpassungskapazität der betroffenen Unternehmen und Haushalte ist. Einerseits kann bei staatlichen Maßnahmen eine Kostenbeteiligung der Nutznießer zweckmäßig sein. Andererseits zählen öffentliche Maßnahmen gerade im Hochwasserschutz häufig zur Daseinsvorsorge.

Allerdings sollten diese private Anreize zur Anpassung nicht verdrängen.

Obwohl wirtschaftswissenschaftliche Methoden vorhanden sind oder sich gerade in der Entwicklung befinden, um Handlungsbedarfe und -optionen abzuleiten und zu bewerten, ist ihr Umsetzungspotenzial gegenwärtig noch gering. Hindernisse bestehen bei der Einbindung der Methoden und Ergebnisse in die Verwaltungs- und Unternehmenspraxis, da häufig die notwendigen Informationen und Ressourcen fehlen. Einer guten Zusammenarbeit von Verwaltung, Unternehmen und Wissenschaft kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu.

Autorin und Autor:

Julia Kowalewski und Sven Schulze, HWWI



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Anpassung sollte prioritär in besonders betroffenen Wirtschaftszweigen erfolgen, z.B. durch Beratung und Informationsangebote. Die aufgezeigten Indikatoransätze helfen bei ihrer Identifizierung.
- Auf den Einzelfall abgestimmte Kosten-Nutzen-Analysen sollten die Entscheidung über Anpassungsmaßnahmen unterstützen, gegebenenfalls ergänzt durch qualitative Bewertungsmethoden.
- Die Bewertung von Schäden sollte auch indirekte Kosten berücksichtigen, um den Nutzen von Anpassungsmaßnahmen nicht zu unterschätzen.



## EXKURS:

# Wasserüberschuss und Wasserbedarf im Alten Land – Nutzung von Synergien bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels

Das Alte Land zeichnet sich durch seine besondere Lage in der Elbmarsch aus. Die Nähe zum Wasser macht es in Extremsituationen sehr verwundbar. Einerseits gibt es zeitweise einen Wasserüberschuss in Form von verheerenden Sturmfluten (1962/1976) und Binnenhochwasser (2002). Andererseits gibt es während lang anhaltender Trockenperioden einen Wasserbedarf des Obstbaus zu Beregnungszwecken. Während dieser Trockenphasen wird die Brackwassergrenze elbaufwärts verlagert und somit die Nutzbarkeit von Elbwasser zur Beregnung eingeschränkt. Es ist zu erwarten, dass beide Extreme durch den Klimawandel häufiger auftreten werden. Die Änderung der Eintrittswahrscheinlichkeiten ist jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, welche die Notwendigkeit einzelner Anpassungsstrategien infrage stellen. Um diesen Unsicherheiten zu begegnen, ist es sinnvoll, flexible Anpassungsmaßnahmen zu entwerfen, die Lösungen für mehrere Probleme gleichzeitig bieten.



Abb. E.6.1: Staunässe durch unzureichenden Süßwasserabfluss kann zu einer erheblichen Schädigung der Obstkulturen im Alten Land führen (LWK Niedersachsen)

## Wasserknappheit im Spätsommer

Der Obstbau im Alten Land ist im Vergleich zu der Landwirtschaft auf der Geest im Vorteil, da ihm durch die Lage an der Elbe scheinbar unbegrenzt Wasser zur Frostschutz- und auch zur Sommerberegnung zur Verfügung steht. Allerdings ist dieser Standortvorteil in Gefahr, wenn durch niedrigen Süßwasserabfluss aus dem Oberlauf der Elbe die Brackwasserzone flussaufwärts wandert. Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) haben für sehr niedrige Abflüsse und einen Anstieg des Meeresspiegels um 80 cm eine klimawandelbedingte Verschiebung der Brackwasserzone ermittelt, welche die Beregnung mit Elbwasser im Bereich zwischen Stade und der Este im Spätsommer einschränken würde. In diesem Extrem-Szenario kann von einer Wasserknappheit von maximal 20 - 30 Tagen vor der Ernte ausgegangen werden.

Das Problem der Wasserknappheit kennt bei Aufrechterhaltung der Landnutzung drei Lösungsansätze:

Der Beregnungsbedarf könnte gesenkt werden, es könnten andere Wasserquellen erschlossen werden oder es könnte mehr Wasser vorgehalten werden.

Modellergebnisse der TU Hamburg-Harburg zeigen, dass die notwendige Beregnungsmenge durch die Klimaänderung steigen wird. Eine Reduzierung wäre nur bei Anbau trockenresistenterer Kulturen zu erwarten. Andere Wasserquellen als die der Elbe gibt es lediglich in Gestalt der Nebenflüsse (führen im Sommer nur ungenügend Wasser) oder durch die Nutzung des Grundwassers. Die Grundwassernutzung im Alten Land wird durch das Vorhandensein von Salzwasseraufstiegen eingeschränkt, zudem ist das Grundwasser durch hohe Eisengehalte oder Wasserhärte nur bedingt geeignet. Die derzeitigen vorhandenen Wasserspeicherbecken reichen lediglich aus, um Beregnungswasser für 7 - 10 Tage zu speichern.

## Wasserüberschuss im Winterhalbjahr

Die größte Gefahr durch Hochwasser besteht, wenn eine Sturmflut in der Elbe und ein Binnenhochwasser in einem Nebengewässer zeitgleich auftreten. Bei hohen Wasserständen in der Elbe werden die Sperrwerke an den Mündungen der Nebengewässer geschlossen, um den dahinter liegenden Bereich vor der Sturmflut zu schützen. Gleichzeitig kann aber auch kein Wasser in die Elbe abgegeben werden. Der Binnenhochwasserabfluss sowie der Zufluss aus den Schöpfwerken, die die tief liegende Marsch hinter den Deichen entwässern, müssen in dem verfügbaren Stauraum hinter dem Sperrwerk gespeichert werden.

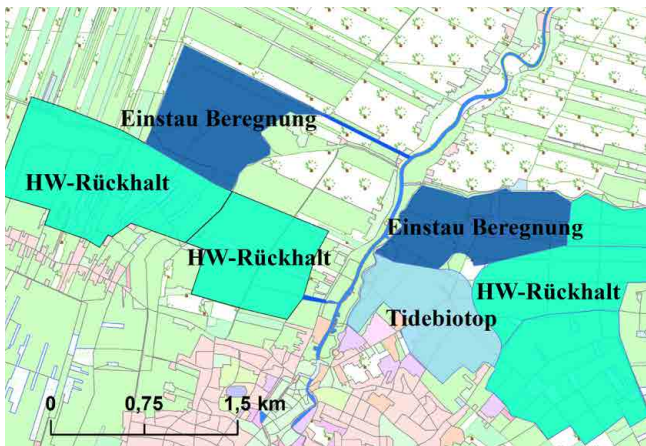


Abb. E.6.2: Nutzung von Synergien in Form von multifunktionalen Anpassungsmaßnahmen im Alten Land am Beispiel der Este (E. Nehlsen)

Eine Veränderung der klimatischen Bedingungen mit projizierten häufiger auftretenden Starkregenereignissen wird zu einer Erhöhung des Hochwasserabflusses führen. Gleichzeitig wird sich ein Meeresspiegelanstieg in der Nordsee auf die Verhältnisse in der Tideelbe auswirken und zu häufigeren und länger andauernden Sperrungen führen. Aus letzteren resultiert ein größerer Bedarf an Stauraum hinter dem Sperrwerk.

Simulationen der TUHH haben ergeben, dass der Bemessungswasserstand der Este hinter den Sperrwerken um bis zu 80 cm ansteigen kann. Ohne weitere Hochwasserschutzmaßnahmen wären Überflutungen im Alten Land sowie in der Stadt Buxtehude die Folge. Als sehr wirksame Form der Anpassung hat sich eine Kombination aus Rückhaltung im Einzugsgebiet und einer Stauraumerweiterung in Form eines Überlaufpolders zur gezielten Notentlastung im Bereich der Marsch erwiesen. Da die Lage des Polders nur einen geringen Einfluss auf die Wirksamkeit hat, können insbesondere extensiv genutzte Flächen herangezogen werden.

## Multifunktionale Anpassung

Extremsituationen wie Wassermangel und Wasserüberschuss, kann durch die Schaffung von multifunktionalem Speicherraum für Wasser begegnet werden. Neben den vorhandenen kleineren dezentralen Speicherbecken ist die Schaffung einiger großer zentraler Speicherbecken aus beiden Perspektiven sinnvoll. Während der Sommermonate, in denen zukünftig mit einer Knappheit von geeignetem Beregnungswasser zu rechnen ist, kann Wasser zur

Beregnung gespeichert werden. Während der Sturmflutsaison in den Wintermonaten dienen die entleerten Becken als Überlaufpolder für den Hochwasserschutz. Übersteigt der Wasserstand in der Este einen kritischen Wert, wird Wasser in die Speicherbecken abgeschlagen, wodurch der Wasserstand in der Este nahezu konstant gehalten werden kann. Modellrechnungen haben, je nach dem zugrunde gelegten Szenario, einen Flächenbedarf von 1 bis 4 km<sup>2</sup> zur Erhaltung des heutigen Hochwasserschutzniveaus ergeben. Mit Speicherbecken dieser Größe kann auch die Wasserversorgung für die Beregnung während der drohenden Phase der Wasserknappheit gedeckt werden. Eine Optimierung des Systems kann durch die Einrichtung eines Vorhersagesystems erfolgen, welches den Zufluss aus Entwässerung und die Sturmflutvorhersagen für die Tideelbe bzw. die aktuelle Lage der Brackwasserzone berücksichtigt. Weitere Synergieeffekte hat das System zum Naturschutz. Durch einen kaskadenförmigen Aufbau können einzelne Segmente des Speicherbeckens unterschiedlich genutzt werden. Die äußeren Segmente könnten auf diese Weise für die Tide geöffnet werden, sofern sie nicht benötigt bzw. genutzt werden. Durch die entstehenden Tidebiotope würde ein standorttypischer, ökologisch wertvoller Lebensraum geschaffen. Gleichzeitig würde sich das neue Tidevolumen positiv auf die Tideverhältnisse in der Elbe auswirken.

Multifunktionale Anpassungsmaßnahmen wie diese stellen eine optimale Form der Anpassung dar. Da die Eintrittswahrscheinlichkeit des jeweiligen Extrem-Szenarios relativ klein erscheint und beide zudem mit großen Unsicherheiten behaftet sind, würden sie allein eine oben beschriebene Anpassungsmaßnahme kaum rechtfertigen. Werden jedoch die Eintrittswahrscheinlichkeiten addiert, indem einzelne Anpassungsmaßnahmen mehrere Zwecke erfüllen, so sind Investitionen zum Abfedern der Klimafolgen auch in wirtschaftlicher Hinsicht sinnvoller. Weitere Vorteile sind die Flexibilität, die durch eine kaskadenförmige Ausführung und ein Vorhersagesystem weiter gesteigert werden kann, und die Erweiterbarkeit der Flächen zur Speicherung, sodass auch auf die Folgen eines weiter voranschreitenden Klimawandels reagiert werden kann.

Autoren:

Edgar Nehlsen und Joachim Palm,  
TU Hamburg-Harburg



KLIMZUG-NORD

KURS:

- Enge Zusammenarbeit von Wasserwirtschaft und Obstanbau.
- Schaffung von zentralen Polderbecken zur Beregnung im Sommer und zur Entlastung bei Binnenhochwasser.
- Ausbau notwendiger Monitoring- und Vorhersagesysteme.
- Ausbau weiterer Synergien im Zusammenhang mit dem Naturschutz.



KLIMZUG-NORD war ein Projekt **zur Erforschung strategischer Anpassungsansätze an den Klimawandel in der Metropolregion Hamburg** und umfasste damit das Hamburger Stadtgebiet sowie die umliegenden (Land-) Kreise in Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Die Projektregion ist durch Küstennähe und weit ins Landesinnere reichende Ästuare geprägt, die seit jeher den Gezeiten, dem Tidenhub und der Sturmflutgefahr ausgesetzt sind. Diese Gebiete werden daher besonders von den Folgen des Klimawandels betroffen sein, die mit den Veränderungen der Meere zusammenhängen, wie verstärkte Sturmfluten, Anstieg des Meeresspiegels sowie Veränderungen der Wind-, Wellen- und Niederschlagsausprägung. Für die nicht von den Gezeiten beeinflussten binnenländischen Bereiche der Metropolregion Hamburg (MRH) sind Folgen des Klimawandels von besonderer Bedeutung, die sich durch mögliche extreme Ereignisse, wie (Binnen-)Hochwasser und Starkniederschläge, und durch schleichende Veränderungen als Folge des Anstiegs der mittleren Temperatur sowie als Folge der veränderten Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf und deren Auswirkungen auf die Agrarlandschaft und die urbanen Räume sowie deren Wirtschaft und Infrastruktur ergeben. Vor diesem Hintergrund zielte KLIMZUG-NORD auf die

- Quantifizierung von möglichen zukünftigen regionalen klimatischen Entwicklungen mit besonderem Fokus auf Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen,
- Ableitung möglicher durch den Klimawandel bedingter Änderungen der Hydrodynamik des Elbeästuars auf der Grundlage von Szenarien,
- Abschätzung möglicher Folgen der klimatischen Änderungen für den Küstenschutz, für urbane Räume, für die Agrarlandschaft und -produktion, sowie für Ökosysteme und Naturschutz,
- Entwicklung von adaptiven und flexiblen Strategien, Techniken, Methoden und Planungsverfahren zur Anpassung an den Klimawandel,
- Förderung des Transferprozesses zwischen Wissenschaft, Politik und Verwaltung, Gesellschaft und Wirtschaft durch Aufbau regionaler Netzwerke und durch Bereitstellung und aktive Vermittlung der im Rahmen von KLIMZUG-NORD erarbeiteten Ergebnisse sowie der entwickelten Produkte und Instrumente zum Klimafolgenmanagement.

Das Projekt verfolgte einen kooperativen Ansatz, der naturwissenschaftliches, ingenieurwissenschaftliches und sozialwissenschaftliches Fachwissen verbindet. Politische, administrative, wissenschaftliche und privatwirtschaftliche Akteure haben sich zu einem Klimaverbund zusammengeschlossen, um den Dialog zwischen Wissenschaft, Politik und Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft zu verstärken, mit dem Ziel, gemeinsam die Folgen des Klimawandels und Handlungsfelder für die Metropolregion bis zum Zeithorizont 2050 aufzuzeigen.

Diese Multidisziplinarität war eine große Herausforderung für die KLIMZUG-NORD Partner, hat aber letztlich ganz wesentlich zum Verständnis untereinander und vor allem zum Erfolg des Projekts beigetragen. Mehr als 30 Doktorandinnen und Doktoranden und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 20 Disziplinen/Fachbereichen haben über fünf Jahre mit Vertretern aus Politik und Gesellschaft über die spezifischen Herausforderungen infolge des

Klimawandels diskutiert und Lösungsansätze erarbeitet. Die mit dem vorliegenden Kursbuch erarbeitete Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse aus KLIMZUG-NORD sowie die enthaltenen strategischen Anpassungsansätze an den Klimawandel für die Metropolregion Hamburg zeigen, dass das Projekt seine wesentlichen Ziele erreichen konnte.

In den folgenden Abschnitten wollen wir den Projektansatz und die wesentlichen Ergebnisse von KLIMZUG-NORD zunächst noch einmal zusammenfassen, dann schlaglichtartig wichtige Botschaften für die Klimaanpassung formulieren und schließlich eine Synthese und einen Ausblick geben.

KLIMZUG-NORD hat die durch naturräumliche und klimatische Unterschiede, aber auch durch die Siedlungsverteilung des Menschen verursachte Raumgliederung der Metropolregion Hamburg in seinem Forschungsansatz berücksichtigt: In den drei Themenfeldern *Integrierte Stadt- und Raumplanung*, *Zukunftsfähige Kulturlandschaften* sowie *Ästuarmanagement* wurden in inter- und transdisziplinärer Zusammenarbeit Auswirkungen des Klimawandels analysiert und Anpassungsstrategien an den Klimawandel entwickelt, die in dem vorliegenden Kursbuch in den Kapiteln „Stadt, Land und Fluss“ dargestellt sind.



Abb. 8.1: Schwimmende Häuser auf dem Eilbekkanal (L. Kunert)

Das Themenfeld *Integrierte Stadt- und Raumentwicklung* konzentrierte sich vor allem auf die Modellgebiete „Elmshorn und Umland“ (als Beispiel für den Raumtyp Mittelstadt im Umland), „Wandse“ (Binnengewässer im verdichteten Stadtraum) und „Wilhelmsburg“ (verdichtetes Stadtquartier). Im Ergebnis zeigte sich, dass Sturmfluten, Starkniederschläge und Hitzewellen die Lebensqualität und die Sicherheit der Bevölkerung zunehmend beeinflussen werden. Dies erfordert u.a. eine Anpassung der Raum- und Siedlungsstruktur, die insbesondere im Hochwasserschutz mit einem grundlegenden Paradigmenwechsel verbunden sein muss. Anstelle einer Sicherheitsstrategie, die einen hundertprozentigen Hochwasserschutz durch Deiche und technische Infrastrukturen vorsieht,

sollten innovative Modelle eines Lebens mit Wasser („Living with water“) erprobt werden. Entsprechende Strategien und Maßnahmen sind auf verschiedenen Handlungsebenen erforderlich. Auf regionaler Ebene können punktaxiale Siedlungskonzepte und auf dezentrale Konzentration ausgerichtete Siedlungsmodelle zu klimagerechten Siedlungs- und Freiraumstrukturen beitragen. Sie wirken der Überwärmung der Städte u.a. dadurch entgegen, dass Kaltluftschneisen erhalten bleiben. In überschwemmungsgefährdeten Bereichen darf keine weitere Siedlungsentwicklung erfolgen. Darüber hinaus steigern die Regenwasserversickerung (durch Freiflächen und Dachbegrünung) und kühlende Elemente (durch Verschattung und Entsiegelung) im Siedlungsraum die Aufenthaltsqualität und reduzieren die Hitzebelastung. Eine gezielte Aufstockung von Gebäuden kann die weitere Versiegelung vermeiden, indem Wohnraum in der Höhe entsteht. Durch passive Klimatisierung und automatisierten Hochwasserschutz können der Komfort gesteigert und Hochwasserschäden vermieden werden. Auch wenn unter heutiger Betrachtung die Entwicklung der Niederschläge und Sturmfluten in KLIMZUG-NORD eine besondere Rolle gespielt hat, sollte der Umgang mit Hitze in der Stadt, insbesondere mit Blick auf die Gesundheit der Stadtbevölkerung auch in Hamburg nicht unterschätzt werden und mehr Gewicht auf der kommunalen Agenda erhalten. Die Empfehlungen des Themenfelds stellen besondere Anforderungen an eine veränderte Praxis in der Bauleitplanung und der Regionalplanung. Gleichzeitig sollten Regelungsformen aus dem Bereich informeller und ökonomischer Instrumente erprobt und weiterentwickelt werden.



Abb. 8.2: Umstellen einer Regenmaschine (E. Schulz)

Das Themenfeld *Zukunftsfähige Kulturlandschaften* befasste sich mit Fragen der Klimaanpassung in den drei durch unterschiedliche naturräumliche Gegebenheiten gekennzeichneten Modellgebieten Lüneburger Heide, Altes Land und Niedersächsische Elbtalaue. Besonders

im durch sandige Böden geprägten Südosten der Metropolregion und somit auch im Modellgebiet Lüneburger Heide wird der Einfluss des kontinentalen Klimas mit weniger Jahresniederschlag und wärmeren Sommern zunehmen. In der Folge wird Bodentrockenheit auf sandigen Böden häufiger auftreten und neue Strategien der landwirtschaftlichen Produktion notwendig machen. Eine Möglichkeit zur langfristigen Sicherung der Agrarproduktion ist die Intensivierung der Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen durch Grundwasserentnahme. Abnehmende Niederschläge im Sommer bewirken jedoch auch Trockenstress in grundwasserabhängigen Biotopen, die für den Naturschutz von besonderer Bedeutung sind. Dadurch kann es zu erheblichen Konflikten in Bezug auf die Nutzung des Grundwassers kommen. Denkbar, aber umstritten, ist die Versickerung gereinigten Abwassers, um das Grundwasser anzureichern. Eine langfristige Strategie zur Erhöhung der Grundwasserbildung unter Wald ist Waldbau zu laubholzbetontem Mischwald. Waldflächen tragen gleichzeitig zu einer Kühlung der Umgebung bei. In der Landwirtschaft sind wassersparende Anbaumethoden unumgänglich, können jedoch allein das Wasserdefizit in der Vegetationsperiode nicht beheben. Der Einsatz von Großflächenregnern ist aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes bedenklich. Dieser fordert vielmehr einen großräumigen Biotopverbund, der Tier- und Pflanzenarten ein Ausweichen in klimatisch geeignete Gebiete ermöglicht und so deren Widerstandsfähigkeit gegen klimatische Veränderungen erhöht. In regionalen Abstimmungsprozessen sollten Lösungen erarbeitet werden, die beiden Ansprüchen möglichst gerecht werden.

Die Feuchtgebiete im Modellgebiet der Niedersächsischen Elbtalaue sind besonders von veränderten Niederschlagsmustern im Jahresverlauf betroffen, da diese das Abflussgeschehen der Elbe und den Grundwasserstand beeinflussen. Die Optimierung des Wasserrückhalts im Boden während Trockenphasen ist neben der Aufrechterhaltung der landwirtschaftlichen Nutzung wesentlich für den Erhalt der naturschutzfachlich wertvollen Stromtalwiesen in den Auen. Zudem sind Flussauen besonders geeignet, um die (klimainduzierten) Wanderungen von Tier- und Pflanzenarten zu ermöglichen und einen funktionsfähigen Biotopverbund aufzubauen. Insgesamt bietet die Situation im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue besonders gute Voraussetzungen, um gemeinsam für Land- und Wasserwirtschaft sowie für den Naturschutz tragfähige Optionen der nachhaltigen Entwicklung in Zeiten des Klimawandels zu erarbeiten und umzusetzen.

In den ausgedehnten Obstanbaugebieten im Alten Land sind zukünftig integrierte Konzepte zur Begrenzung des Überflutungsrisikos durch (Binnen-) Hochwässer und für die Aufrechterhaltung des Obstbaus Konzepte zur Wasserspeicherung zur Vermeidung von Schäden durch Spätfröste und Sommertrockenheit erforderlich. Entsprechende Konzepte wurden von KLIMZUG-NORD erfolgreich entwickelt: Sie beinhalten entlang der Unterläufe von Nebengewässern der Tideelbe die Anlage von Stauräumen und Polderflächen, die gleichzeitig zur Minderung des Hochwasserrisikos beitragen und in Zeiten des Wasserbedarfs für (Frost-)Beregnung geeignetes Wasser bereitstellen. Zudem hat KLIMZUG-NORD das Monitoring und die Diagnose sowie die Beratung zu neuartigen Schaderregern verbessert und somit dazu beigetragen, den Obstanbau in Zeiten des Klimawandels zu sichern.





Abb. 8.3: Elbdeich Lühe (www.mediaserver.hamburg.de/imagefoto.de)

Das Themenfeld *Ästuarmanagement* behandelte Aspekte des zukünftigen Küsten- und Hochwasserschutzes, des Wasserhaushalts der Elbmarschen sowie Auswirkungen des Klimawandels auf charakteristische Arten und Lebensräume und hat entsprechende Strategien der Anpassung an die Folgen des Klimawandels entwickelt. Der durch den Klimawandel bedingte Anstieg des Meeresspiegels und die veränderte Abflussdynamik aus dem Einzugsgebiet der Elbe (inklusive der Themen Verbuchung und Auflandungen in Überschwemmungsbereichen) sind wesentliche Herausforderungen für die Anpassung an den Klimawandel im Bereich des Elbeästuars. Der Küsten- und Hochwasserschutz sollte als Anpassung an die Folgen des Klimawandels sowohl neue Wege im Deichbau gehen als auch zusätzliche Überschwemmungsflächen schaffen. Eine Verschiebung der Brackwassergrenze in Richtung Hamburg wird Lebensräume und Arten des inneren Ästuars beeinträchtigen. Hier sollten Räume mit natürlicher Dynamik ausgeweitet und die Durchlässigkeit von Tideelbe und Nebengewässern verbessert werden. Die Betrachtung wirtschaftlicher Folgen des Klimawandels muss grundsätzlich auch indirekte Kosten berücksichtigen, um den Nutzen von Anpassungsmaßnahmen richtig darzustellen. Die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel erfordert gerade in einem so konfliktreichen Raum wie dem der Tideelbe eine über fachliche und administrative Grenzen hinausgehende Zusammenarbeit. KLIMZUG-NORD hat hierzu einen wesentlichen Beitrag geleistet und exemplarisch auch wirksame Methoden der Beteiligung unterschiedlicher Interessensgruppen erprobt.

KLIMZUG-NORD hatte sich vorgenommen, in den genannten Modellgebieten zu testen, wie Politik und Verwaltung gemeinsam mit Gesellschaft und Wirtschaft sowie mit Begleitung durch die Wissenschaft nach Lösungen für die zukünftigen Risiken des Klimawandels suchen können. Die Modellgebiete sind als Referenzräume beispielhaft für die jeweiligen Raumtypen der Metropolregion, und sie zeigen die unterschiedlichen Herausforderungen, denen sich die verschiedenen Räume aufgrund des Klimawandels stellen müssen. Die nun vorliegenden Strategien und Konzepte bieten eine Blaupause für vergleichbare

Räume sowohl innerhalb der Metropolregion Hamburg als auch in anderen Regionen in Deutschland und international. Für die Arbeit in den Modellgebieten lässt sich resümieren, dass die Zusammenarbeit der Akteure vor Ort mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus KLIMZUG-NORD auf beiden Seiten zu neuen Erkenntnissen und Lerneffekten geführt hat. Aber auch zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen der Wissenschaft kam es zu Lernprozessen, etwa in Bezug auf das Verstehen der jeweils verwendeten Begrifflichkeiten, Theorieansätze und Modelle, den Umgang mit unterschiedlichen Forschungsmethoden oder die Ableitung der jeweiligen fachlichen Lösungsansätze.

In vielen Fällen hat sich herausgestellt, dass sich durch den Klimawandel Konflikte, die in den Teilräumen bereits heute vorhanden sind, noch verstärken werden. Beispielsweise gibt es an der Wandse und in Elmshorn teilweise heute schon Engpässe bei der Ableitung von Starkniederschlägen. Neben Sachlösungen wurden in einigen Modellgebieten auch Kooperationsplattformen als Verfahrensinnovationen entwickelt. In ihrem Rahmen konnten die spezifischen Auswirkungen der klimatischen Veränderungen und mögliche Lösungsansätze erörtert werden. Insgesamt haben sich die Modellgebiete damit als eine geeignete Vorgehensweise erwiesen, wie zum einen der große Raum der Metropolregion Hamburg bearbeitet werden konnte und wie zum anderen Wissenschaft und Praxis in einen Prozess gemeinsamer Wissensproduktion einbezogen werden konnten.

## Schlaglichtartige Zusammenstellung der wesentlichen Botschaften aus KLIMZUG-NORD

### Mehr politisches Gewicht für Klimaanpassung!

Die Anpassung an den Klimawandel muss in den Städten und Gemeinden, Kreisen und Landkreisen der Metropolregion Hamburg einen höheren Stellenwert erhalten! KLIMZUG-NORD hat in vielen Bereichen gezeigt, dass mittel- bis langfristig Veränderungen zu erwarten sind, die zu Beeinträchtigungen und Risiken für Leben und Arbeiten in der MRH führen können. Von Wohnen und Gesundheit, über Wirtschaft und Landwirtschaft bis hin zu Natur und Landschaft erstrecken sich die Auswirkungen. Entsprechend vielfältig sind die nötigen Anpassungsmaßnahmen.

### Hürden für Klimaanpassung überwinden!

Als Thema der Kommunal- und Regionalpolitik hat der Klimawandel mit einer Reihe von Hürden zu kämpfen. Zum einen treten die Klimaänderungen erst mittel- bis langfristig auf und kollidieren so mit den kürzeren Laufzeiten der politischen Wahlperioden. Eine verantwortliche Politik muss deshalb den Wahlperioden-Modus überwinden und längerfristige Perspektiven entwickeln. KLIMZUG-NORD hat gezeigt, dass in Fragen des Hochwasserschutzes, des Stadtklimas oder landwirtschaftlicher Strategien einiger Mut nötig ist, um schon heute Entscheidungen zu treffen, die eine langfristige Kehrtwende einleiten können.

- „Leben mit dem Wasser“ als Paradigma des Hochwasserschutzes eröffnet neue Perspektiven für die Stadt- und Regionalentwicklung, bedeutet aber auch, die Hochsicherheitsstrategie des Deichschutzes zu relativieren und nach neuen Wegen zu suchen, um Wasser in Städten und Gemeinden zuzulassen.
- „Gesunde Städte“ verlangen, Stadtplanung, Städtebau und Architektur konsequenter an der Lebensqualität der Bewohnerinnen und Bewohner zu orientieren: Frischluftschneisen, Regenwasserversickerung, Gründächer etc. sind durchweg keine neuen Erkenntnisse, sondern bereits seit Jahren als sinnvolle Maßnahmen belegt. Einzig fehlte bisher der politische Wille, sie mit Vehemenz zu berücksichtigen. Der Klimawandel unterstreicht, dass Politik, Verbände und Private bei diesen Fragen gefordert sind.
- „Nachhaltiges Grundwassermanagement“ erfordert ein Umdenken in den Teilräumen, die von Trockenheit bedroht sind. Neue Strategien – von alternativen Feldfrüchten über die Diversifizierung der Betriebsstrukturen, den Umbau der Waldbestände bis hin zu wassersparenden Formen der Beregnung – verlangen zugleich nach Mut und Kreativität.

Eine andere Hürde besteht darin, dass die Folgen des Klimawandels immer wieder einmal angezweifelt werden. In der Politik führt dies zu Verunsicherung, ob für weitreichende Entscheidungen eine ausreichende Grundlage vorliegt. KLIMZUG-NORD hat in vielen Bereichen die nötige Wissensbasis geschaffen, sodass gut begründete Entscheidungen getroffen werden können. Die naturwissenschaftlichen Forschungsergebnisse zeigen, wo in der Region mit welchen Auswirkungen zu rechnen ist. Die ingenieur-, sozial- und planungswissenschaftlichen Ergebnisse haben die nötigen Sachlösungen erkundet. Folglich gibt es keinen Grund mehr, längst nötige Entscheidungen weiter aufzuschieben oder die Thematik in Zukunft zu vernachlässigen.

### „Leben mit dem Wasser“ – Hochwasserschutz hat Priorität in der Metropolregion!

KLIMZUG-NORD hat unterstrichen, dass dem Hochwasserschutz eine besondere Bedeutung im Rahmen des Klimawandels zukommen muss. Dies betrifft die Zunahme von Sturmfluten und von Binnenhochwässern an der Elbe und ihren Nebenflüssen sowie die Zunahme von Extremregenereignissen und den absehbaren Meeresspiegelanstieg der Nordsee mit Auswirkungen bis zum Sperrwerk in Geesthacht. Vielen Beteiligten scheint die Tragweite der Veränderungen noch nicht ausreichend klar zu sein. Wenn beispielsweise auch heute noch neue Baugebiete in Überschwemmungsbereiche hinein geplant und gebaut werden, zeugt dies von großer Unvernunft. Die Zukunftskosten werden wider besseres Wissen auf die Hausbesitzer und Mieter verschoben. Gleiches gilt für neue Infrastrukturprojekte, wenn diese Überschwemmungsbereiche beeinträchtigen.

Das neue Paradigma „Leben mit dem Wasser“ eröffnet Chancen für die Städte und Gemeinden. Es erfordert aber auch ein Umdenken in der Bevölkerung. Wasser – und das heißt auch Hochwasser – muss als Bestandteil des Lebensumfeldes akzeptiert werden. Neue Bauweisen können sich an die entsprechenden Risiken anpassen, öffentliche Räume und Gebäude können multifunktional zugleich als Überschwemmungsflächen dienen, versiegelte Flächen können wieder Raum zur Regenwasserversickerung bieten etc. Die Politik sollte das Thema positiv besetzen und damit auch dazu beitragen, das Hamburger Trauma der Sturmflut von 1962 allmählich zu verarbeiten. KLIMZUG-NORD hat gezeigt, dass es inzwischen überzeugende Lösungsansätze für Hochwasserschutz in dicht besiedelten Räumen gibt. Und KLIMZUG-NORD hat auch unterstrichen, dass durch den Klimawandel eine neue Ausgangslage auf die Region zukommt, die innovative und mutige Lösungen erfordert.

### Metropolregion als Vorreiter für Klimaschutz!

KLIMZUG-NORD hat in einer einzigartigen gemeinsamen Anstrengung von Forschung und Praxis dazu beigetragen, die Anpassung an den Klimawandel in der Metropolregion Hamburg zu qualifizieren und Lösungsansätze für die zukünftigen Herausforderungen aufzuzeigen. Dabei war allen Beteiligten von Beginn an klar, dass dies keine Alternative zum Klimaschutz sein sollte, sondern dass es sich um eine ergänzende Strategie handelte, mit der die Region ihre Zukunftsfähigkeit ausloten wollte. Deshalb bleibt die vordringliche Aufgabe der Städte und Gemeinden der Metropolregion Hamburg auch weiterhin, einen aktiven und entschlossenen Beitrag zur Verminderung klimaschädlicher Emissionen zu leisten. Einem aktiven Klimaschutz „von unten“, d.h. durch Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft auf kommunaler Ebene, kommt eine wichtige ergänzende, stellenweise aber sogar Anstoßfunktion für den Klimaschutz auf nationaler und internationaler Ebene zu. Die Metropolregion Hamburg und ihre Städte und Gemeinden sollten die ambitionierten Initiativen der Vergangenheit – etwa Hamburgs Rolle als Europäische Umwelthauptstadt, die Internationale Bauausstellung 2013 oder die Vorreiterrolle Hamburgs im Netzwerk für Klimaschutz der europäischen Metropolregionen – engagiert weiterführen, um sich als lebenswerte und verantwortungsbewusste Region im nationalen und internationalen Maßstab zu qualifizieren.



### **Klimawandel braucht breite Allianzen – „an einem Strang ziehen“!**

KLIMZUG-NORD hat in vielfältigen Anwendungsfeldern gezeigt, dass die Anpassung an den Klimawandel immer wieder erfordert, dass Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft sowie Wissenschaft eng zusammenarbeiten. Gerade wegen des langen Zeithorizonts des Klimawandels und mancher Unsicherheiten über die Auswirkungen braucht es immer wieder den aktiven Austausch zwischen allen Beteiligten. Die Größe der Aufgabe führt außerdem dazu, dass Innovation und Kreativität gefragt sind, so dass Akteuren mit neuen Ideen und unkonventionellen Lösungsansätzen eine wichtige Rolle zukommt.

### **Klimaanpassung erfordert die Zusammenarbeit von Technik und Gesellschaft!**

Vielen Aufgabenfeldern der Klimaanpassung haftet bisher ein überwiegend technisches Grundverständnis an. Wenn es etwa um Hochwasserschutz geht, sehen sich bisher vor allem Wasserwirtschaft und Wasserbau in der Pflicht, oder wenn Ertragsperspektiven der Landwirtschaft zur Diskussion stehen, wird vorwiegend an technische Lösungsansätze der Feldberechnung gedacht. KLIMZUG-NORD hat aber auch gezeigt, dass dieses Denken zu eindimensional ist und die Tragweite der Problematik nicht ausreichend erschließt. Lösungsansätze für Fragen der Klimaanpassung erfordern deshalb, dass Ingenieur- und Sozialwissenschaften, aber auch Forschung und Gesellschaft zusammenarbeiten. Denn in vielen Fällen geht es um die Lebens-, Arbeits- und Kulturformen, die den technischen Anforderungen zugrunde liegen, geht es um die Änderung von Gewohnheiten und Lebensstilen. Hier hat KLIMZUG-NORD zwar bereits einige Handlungsfelder angedeutet, diese aber noch längst nicht ausreichend ausleuchten können. Weiterführende Arbeiten sollten diese Lücke ausfüllen.

### **Schlussfolgerung und Ausblick**

Der Forschungsverbund KLIMZUG-NORD hat über einen Zeitraum von fünf Jahren (April 2009 – März 2014) in der Metropolregion Hamburg mögliche Folgen des Klimawandels für natürliche und soziale Systeme untersucht, regionale Netzwerke geschaffen und weiterentwickelt und im transdisziplinären Dialog von Wissenschaft und Praxis Anpassungsoptionen an den Klimawandel erarbeitet. Die Anfänge des Projektes gehen bis in das Jahr 2007 zurück. In den Forschungsverbund flossen ca. 15 Mio. € Fördermittel des Bundes und weitere Fördermittel der Stadt Hamburg und der Metropolregion Hamburg. Mehr als 170 Personen haben in KLIMZUG-NORD mitgearbeitet und es wurden zahlreiche projektinterne und auch öffentliche Veranstaltungen durchgeführt. Ergebnisse von KLIMZUG-NORD sind in Doktorarbeiten, Buchreihen und Fachveröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften zusammengefasst, Presse, Rundfunk und Fernsehen haben diese aufgegriffen und für die breite Öffentlichkeit aufbereitet. Die wesentlichen Kernaussagen der Projektergebnisse haben wir in diesem Kursbuch zusammengefasst. Hier nennen wir die aus unserer Sicht wichtigsten Handlungsfelder, die von Entscheidungsträgern in Politik und Verwaltung aufgegriffen und umgesetzt werden sollten. Wie kann dieser Prozess der Umsetzung in Politik und Verwaltung erfolgreich verlaufen? Was bleibt von KLIMZUG-NORD nach dem Ende der Projektlaufzeit in der Zukunft? Was haben wir als großes inter- und transdisziplinäres Team

fachlich, aber auch hinsichtlich des Prozesses der Zusammenarbeit gelernt und wie kann das Gelernte für die Zukunft bewahrt werden? Diesen Fragen widmet sich dieser letzte Abschnitt des Kursbuches.

Das Wesen von Forschungsprojekten ist es, dass sie einen Anfang und ein Ende haben. Sie werden aus einer aktuellen Notwendigkeit heraus entwickelt und sollen in einer überschaubaren Projektlaufzeit drängende Fragen beantworten. Der anthropogen bedingte Klimawandel ist ein drängendes Problem, er wirkt aber über sehr viel längere Zeiträume: Auch wenn wir als Gesellschaft des Planeten Erde heute im Jahr 2014 die Treibhausgasemissionen auf null zurückfahren würden (was leider nicht gelingen wird), wäre die Gesellschaft des Planeten Erde auch im Jahr 2114 noch von den Folgen des Klimawandels betroffen. Diese *Langfristigkeit des Phänomens Klimawandel* ist die wesentliche Herausforderung für das politische Handeln und für die Entwicklung einer Klimaanpassungs-Governance, also einer Form der Behandlung des Themas „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ in der Gesellschaft. Strategien und Konzepte für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels müssen vor diesem Hintergrund nach unseren Erfahrungen und Erkenntnissen folgende Grundzüge enthalten:

- Entscheidungen auch unter Unsicherheiten: Zukünftige klimatische Entwicklungen werden sich niemals exakt vorhersagen lassen. Grundrichtungen zukünftiger Entwicklungen wie eine Temperaturerhöhung, ein steigender Meeresspiegel und veränderte Niederschlagsmuster sind bei aller Unsicherheit aber absehbar. Entscheidungen für die Implementierung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel können und müssen auch unter dieser Unsicherheit getroffen werden.
- Anpassungsfähigkeit von Anpassungsmaßnahmen: Die Maßnahmen der Klimaanpassung müssen selbst anpassungsfähig sein. Auch eine aus heutiger Sicht optimale Anpassungsstrategie kann sich in einigen Jahren als fehlerhaft erweisen. Anpassungsstrategien und -maßnahmen sollten regelmäßig, mindestens im Turnus von zehn Jahren, vor dem Hintergrund des jeweils aktuellen Standes des Wissens der Klimaforschung überprüft und weiterentwickelt werden. Gleichzeitig ist es nötig, immer wieder Gewohntes und Routinen – etwa im Bereich des technischen Hochwasserschutzes, der Bauleitplanung oder der Landbewirtschaftung – infrage zu stellen. Nur so kann es gelingen, Lösungen für die zu erwartenden gravierenden Veränderungen der Zukunft zu finden.
- Langfristigkeit und Synergien: Die Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel müssen so geplant und umgesetzt werden, dass sie langfristig ökonomische, soziale und ökologische Ansprüche berücksichtigen. Gerade die langfristige Ausrichtung von Anpassungsmaßnahmen kann es ermöglichen, dass eine zunächst nur aus Sicht eines bestimmten Sektors positiv bewertete Maßnahme langfristig auch anderen Sektoren zugute kommt. Anpassungsmaßnahmen können so zu Synergien zwischen konfliktträchtigen Sektoren beitragen. Hierzu ein Beispiel: Eine Rückdeichung zur Schaffung von Retentionsräumen im Hochwasserfall ist kurzfristig vor allem aus Sicht des Hochwasser- und des Naturschutzes als wünschenswert zu bezeichnen.

Langfristig kann aufgrund des natürlichen „MitwachSENS“ der regelmäßig überfluteten Fläche mit dem Meeresspiegelanstieg aber auch das wirtschaftliche Potenzial wesentlich erhöht werden.

- **Grenzüberschreitungen und Regionalität:** Die Verwundbarkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels ist innerhalb von Regionen spezifisch für unterschiedliche Teilräume zu bewerten. Anpassungsstrategien müssen aus diesem Grund über kommunale oder auch nationale Grenzen hinweg für diese Teilräume entwickelt werden. Für die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel sind deshalb neue Wege notwendig, mit denen administrative und auch fachliche Grenzen überwunden werden können.
- **Partizipation und Planungsprozesse:** Die gesellschaftliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels kann nur gelingen, wenn die Bürgerinnen und Bürger über mögliche regionale Auswirkungen des Klimawandels fortlaufend informiert und ihre Anliegen und auch vorhandene Konflikte in Planungsprozessen berücksichtigt werden. Geeignete Formen der Partizipation sind u.a. moderierte Onlinediskussionen und Zukunftswerkshops. Wichtig für die Praktikabilität und den Erfolg von Partizipation ist eine zielorientierte und zeiteffektive Durchführung, entscheidend ist aber, dass es gelingt, dem langfristigen Zeithorizont des Klimawandels gerecht zu werden und sich von dem gewohnten eher kurzfristigen Denken zu lösen.
- **Institutionalisierung und regionale Netzwerke:** Die bislang genannten Grundzüge für die Entwicklung und Implementierung von Anpassungsstrategien an mögliche Folgen des Klimawandels lassen sich nur dann erfolgreich in politisches und administratives Handeln einbetten, wenn der Prozess der Klimaanpassung selbst regional in langfristig gesicherten gesellschaftlichen Institutionen verankert wird. Die im Bereich der Klimaanpassung in den letzten Jahren aufgebauten regionalen Netzwerke sind ein wichtiger Baustein für diese Institutionalisierung.

In diesem Sinne wünschen die an KLIMZUG-NORD beteiligten Akteure aus Wissenschaft, Verwaltungen, Wirtschaft und Gesellschaft von ganzem Herzen eine erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung regionaler und raumspezifischer Anpassungsstrategien an den Klimawandel. Unsere Botschaft ist klar: Bei allen Planungs- und Entwicklungsprozessen müssen zukünftig Aspekte der Anpassung an die Folgen des Klimawandels „mitgedacht“ werden. Gleichzeitig muss bei allen Überlegungen für eine Klimaanpassung der Klimaschutz, also die Verminderung der Emission von Treibhausgasen, höchste Priorität behalten. Gerade der Klimaschutz erfordert neben politischen Entscheidungen und administrativem Handeln auch individuelle Verhaltensänderungen der Bürgerinnen und Bürger, sodass die Transformation hin zu einer „klimagerechten“ Gesellschaft gelingt.

Die Akteure aus KLIMZUG-NORD werden sich auch in Zukunft engagiert in die nur langfristig zu bewältigende (Mammut-)Aufgabe dieser gesellschaftlichen Transformation mit ihrem Wissen und ihren Erfahrungen einbringen. Der Erfolg der Bearbeitung dieser Aufgabe, aber auch der Entwicklung und Implementierung raumspezifischer Anpassungsstrategien für die Metropolregion Hamburg und

des Transfers von erarbeitetem Wissen und entwickelten Lösungen in andere Regionen, wird maßgeblich davon abhängen, ob es gelingen kann, die skizzierte Klimaanpassungs-Governance in unserer Gesellschaft – auch institutionell – zu verankern.

*Autorin und Autoren:*

*Daniela Jacob, Max-Planck-Institut für Meteorologie und Climate Service Center Hamburg,  
Kai Jensen, Universität Hamburg und  
Jörg Knieling, HafenCity Universität Hamburg*



## Kapitel 2

Behre, K.-E. (2008): Landschaftsgeschichte Norddeutschlands. Umwelt und Siedlung von der Steinzeit bis zur Gegenwart. Wachholtz Verlag, Neumünster.

DWD – Deutscher Wetterdienst: Abteilung Hydrometeorologie (2011): REGNIE (REGionalisierte NIEeder-schläge): Verfahrensbeschreibung & Nutzeranleitung, interner Bericht im DWD, Offenbach.

Jensen, K.; Härdtle, W.; Meyer-Grünefeldt, M.; Pfeiffer, E.-M.; Reisdorff, C.; Schmidt, K.; Schmidt, S.; Schrautzer, J.; von Oheimb, G. (2011): Klimabedingte Änderungen in terrestrischen und semi-terrestrischen Ökosystemen. In: von Storch, H.; Claussen M. (Hrsg.): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 143-176.

Metropolregion Hamburg (2000): Regionales Entwicklungskonzept 2000. REK 2000.

Knieling, J.; Schaerffer, M.; Tressl, S. (2009): Klimawandel und Raumplanung. Flächen- und Risikomanagement überschwemmungsgefährdeter Gebiete am Beispiel der Hamburger Elbinsel. Coastline Reports, 14. (Unter Mitarbeit von Hatice Kirac, Britta Restemeyer, Johanna Wichmann und Jannes Fröhlich.)

Rosenhagen, G.; Schatzmann, M. (2011): Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen. In: von Storch, H.; Claussen, M. (Hrsg.): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 19-59. DOI: 10.1007/978-3-642-16035-6

Schlünzen, K.H.; Hoffmann, P.; Rosenhagen, G.; Riecke, W. (2010): Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. International Journal of Climatology, 30, 8, 1121-1136.

## Kapitel 3

[1] Nakicenovic, N.; Swart, R. (Hrsg.) (2000): Emission Scenarios. Cambridge University Press, UK. 570 Seiten.

[2] Jacob, D.; Göttel, H.; Kotlarski, S.; Lorenz, P.; Sieck, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland mit dem Klimamodell REMO. Forschungsbericht 204-41-138 Teil 2, i. A. des UBA Dessau.

[3] Jacob, D.; Bülow, K.; Kotova, L.; Moseley, C.; Petersen, J.; Rechid, D. (2012): Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland: Ensemble Simulationen für die Klimafolgenforschung. Climate Service Center Report 6, Hamburg.

[4] Hollweg, H.D.; Böhm, U.; Fast, I.; Hennemuth, B.; Keuler, K.; Keup-Thiel, E.; Lautenschlager, M.; Legutke, S.; Radtke, K.; Rockel, B.; Schubert, M.; Will, A.; Woldt, M.; Wunram, C. (2008): Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios. M & D Technical Report 3.

[5] MPI-M – Max-Planck-Institut für Meteorologie (2006): Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert. Hamburg.

[6] Rechid, D.; Petersen, J.; Schoetter, R.; Jacob, D. (2014): Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 1, TuTech Verlag, Hamburg.

[7] Berg, P.; Moseley, C.; Haerter, J.O. (2013): Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. Nature Geoscience, 6, 181-185. DOI: 10.1038/ngeo1731

## Kapitel 4.1

Arnstein, S.R. (1969): A Ladder of Citizen Participation. Journal of the American Institute of Planners, 35, 4, 216-224.

Bischoff, A.; Selle, K.; Sinning, H. (1996): Informieren, Beteiligen, Kooperieren. Kommunikation in Planungsprozessen. Eine Übersicht zu Formen, Verfahren, Methoden und Techniken, Dortmund, Dortmund der Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur.

Faber, S.; Hohberg, B. (2013): Klimawandel im Fokus. Elmshorn: Bürger und Experten diskutieren über den Klimawandel. Kommune21, e-Government, Internet und Informationstechnik, 3/13, 50-51.

Gottschick, M. (2014): Plädoyer für eine investigative transdisziplinäre Anpassungsforschung. In: Beese, K.; Fekkak, M.; Katz, C.; Körner, C.; Molitor, H. (Hrsg.): Anpassung an regionale Klimafolgen kommunizieren. Konzepte, Herausforderungen und Perspektiven. München: oekom verlag.

Hohberg, B. (2014): Moderierte Onlinediskussionen – Kommunikations- und Beteiligungsinstrumente im Kontext von Klimawandel und Klimaanpassung. In: Beese, K.; Fekkak, M.; Katz, C.; Körner, C.; Molitor, H. (Hrsg.): Anpassung an regionale Klimafolgen kommunizieren. Konzepte, Herausforderungen und Perspektiven. München: oekom verlag, S. 321-334.

Hohberg, B.; Feil, B. (2011): Onlinebeteiligung als Mittel der Klimawandel-Anpassung im Rahmen von KLIMZUG-NORD. In: Cormont, P.; Franck, S. (Hrsg.): Governance in der Klimaanpassung - Strukturen, Prozesse, Interaktionen. dynaklim-Publikation Nr. 20, Dortmund, S. 145-157.

KLIMZUG-NORD (2013): Öffentlichkeitsbeteiligung zur Anpassung von Städten und Regionen an den Klimawandel, Politikempfehlung 1-2013.

Koop, A. (2010): Leitfaden Online-Konsultation. Praxisempfehlungen für die Einbeziehung der Bürgerinnen und Bürger über das Internet. Bertelsmann Stiftung, Gütersloh. URL: [http://www.bertelsmann-stiftung.de/cps/rde/xbcr/bst/xcms\\_bst\\_dms\\_31401\\_\\_2.pdf](http://www.bertelsmann-stiftung.de/cps/rde/xbcr/bst/xcms_bst_dms_31401__2.pdf) [12.08.2013]

Knierim, A.; Baasch, S.; Gottschick, M. (Hrsg.) (2013): Partizipation und Klimawandel – Ansprüche, Konzepte und Umsetzung, München, oekom verlag.

Newig, J.; Kuhn, K.; Heinrichs, H. (2011): Nachhaltige Entwicklung durch gesellschaftliche Partizipation und Kooperation? – eine kritische Revision zentraler Theorien und Konzepte. In Heinrichs, H.; Kuhn, K.; Newig, J. (Hrsg.): Nachhaltige Gesellschaft, VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 27-45.

Stiftung Mitarbeit & Initiative eParticipation (Hrsg.) (2007): E-Partizipation. Beteiligungsprojekte im Internet. Beiträge zur Demokratieentwicklung Nr. 21. Verlag Stiftung Mitarbeit, Bonn.

## Kapitel 4.2

Ansari, S. (2013): Rettet die Neugier! Gegen die Akademisierung der Kindheit. 2. Auflage Fischer Krüger: Frankfurt a. M.

BMU & UBA – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & Umweltbundesamt (2011): Umweltbewusstsein in Deutschland. Berlin und Dessau.

Etscheid, M. (2008): Wie ticken Jugendliche? Die Sinus-Milieustudie U27. BDKJ-Journal, 2/08, 4-13.

Katz, C.; Molitor, H. (2014): Klimaanpassung – (k)ein Thema in umweltrelevanten Bildungsorganisationen? In: Beese, K.; Fekkak, M.; Katz, C.; Körner, C.; Molitor, H. (Hrsg.): Anpassung kommunizieren?! Konzepte, Fallstricke und Perspektiven von Bildung, Kommunikation und Wissenstransfer für eine regionale Anpassung an den Klimawandel. München: Oekom Verlag (In Vorbereitung).

Schulz-Schaeffer, R.; Hartmann, L.; Porschke, C. (2014): Grafiknovellen: Chancen für innovative Wissenschaftskommunikation. In: Beese, K.; Fekkak, M.; Katz, C.; Körner, C.; Molitor, H. (Hrsg.): Anpassung kommunizieren?! Konzepte, Fallstricke und Perspektiven von Bildung, Kommunikation und Wissenstransfer für eine regionale Anpassung an den Klimawandel. München: Oekom Verlag (In Vorbereitung).

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Berlin.

Wipperman, C.; Calmbach, M. (2008): Wie ticken Jugendliche? Verlag Haus Altenberg: Düsseldorf.

## Kapitel 4.3

Kment, M. (2010): Anpassung an den Klimawandel. In: JuristenZeitung, S. 62-72.

Knieling, J.; Fröhlich, J.; Krekeler, M. (2011): Grenzen und Ebenen überschreitende Governance der Klimaanpassung. In: Cormont, W.; Frank, S. (Hrsg.): Governance in der der Klimaanpassung - Strukturen, Prozesse, Interaktionen. dynaklim-Publikation Nr. 20, Dortmund, S. 17-34.

Reese, M.; Möckel, S.; Bovet, J.; Köck, W. (2010): Rechtlicher Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels – Analyse, Weiter- und Neuentwicklung rechtlicher Instrumente. UBA-Berichte 1/10, Berlin.

Runge, K.; Wachter, T.; Rottgardt, E. (2010): Klimaanpassung, Climate Proofing und Umweltprüfung - Untersuchungsnotwendigkeiten und Integrationspotenziale. UVP-Report, 24, 4, 165-169.

## Kapitel 4.4

[1] Rogall, H. (2008): Ökologische Ökonomie – Eine Einführung. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden: VS-Verlag.

[2] Seeber, G. (2001): Ökologische Ökonomie : eine kategorialanalytische Einführung. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

[3] Jörissen, J.; Coenen, R. (2004): Instrumente zur Steuerung der Flächennutzung. Auswertung einer Befragung der interessierten und betroffenen Akteure. TAB-Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag –Hintergrundpapier Nr. 10. URL: <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Hintergrundpapier-hp010.pdf> [25.02.2014]

Schempp, S.; Oßenbrügge, J. (2014): Ökonomische Instrumente zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel in der Metropolregion Hamburg: Eine Situationsanalyse. In: Knieling, J.; Rossnagel, A. (Hrsg.): Governance der Klimaanpassung in Regionen. KLIMZUG-Sammelband. München: Oekom Verlag.

## Kapitel 4 Exkurs Elmshorn

Nehlsen, E.; Kunert, L.; Fröhle, P.; Knieling, J. (Hrsg.) (2014): Wenn das Wasser von beiden Seiten kommt – Bausteine eines Leitbildes zur Klimaanpassung für Elmshorn und Umland. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 3, TuTech Verlag, Hamburg.



## Kapitel 5.1

- Beatley, T. (2009): Planning for coastal resilience. Best practices for calamitous times. Washington, DC.
- Greiving, S.; Fleischhauer, M.; Dosch, F. (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung: Rolle der bestehenden städtebaulichen Leitbilder und Instrumente. URL: <http://d-nb.info/998433241/34> [21. 01. 2014]
- Godschalk, D.R. (2003): Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. *Natural Hazards Review*, 4, 3, 136-143.
- Knieling, J.; Kretschmann, N.; Kunert, L.; Zimmermann, T. (2012): Klimawandel und Siedlungsstruktur: Anpassungspotenzial von Leitbildern und Konzepten, neopolis working papers, Nr. 12, Hamburg.
- Knieling, J.; Kunert, L.; Zimmermann, T. (2012): Siedlungsstruktur und Klimaanpassung in Stadtregionen. In: Mahammadzadeh, M.; Chrischilles, E. (Hrsg.): Klimaanpassung als Herausforderung für die Regional- und Stadtplanung – Erfahrungen und Erkenntnisse aus der deutschen Anpassungsforschung und -praxis, KLIMZUG-Workingpaper, Köln, S. 39-48.
- Knieling, J.; Kunert, L.; Zimmermann, T. (2010): Leitbilder der Stadtplanung und Klimaanpassung. *PlanerIn*, 6/10, 26-28.
- Kunert, L.; Zimmermann, T. (2012): Siedlungsstrukturelle Leitbilder und Konzepte - an den Klimawandel angepasst? In: Growe, A.; Heider, K.; Lamker, Ch.; Paßlick, S.; Terfrüchte, T. (Hrsg.): Polyzentrale Stadtregionen - Die Region als planerischer Handlungsraum. Arbeitsberichte der ARL, Nr. 3, Hannover, S. 143-156.

### Quellenangaben zu Abbildung 5.1.2:

- oben links: Benevolo, L. (2000): Die Geschichte der Stadt. Frankfurt am Main, S. 350.
- oben rechts: Sieverts, T. (1999): Zwischenstadt: Zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Braunschweig, S. 66.
- unten links: Hall, P. G.; Ward, C. (1998): Sociable cities: the legacy of Ebenezer Howard. Chichester, S. 92.
- unten rechts: GL – Gemeinsame Landesplanungsbeteiligung der Länder Berlin und Brandenburg (2008): Raumordnungsbericht 2008 – Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg. Berlin, 142 Seiten.

## Kapitel 5.2

- [1] Schlünzen, K.H.; Hoffmann, P.; Rosenhagen, G.; Riecke, W. (2010): Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. *International Journal of Climatology*, 30, 1121-1136. DOI: 10.1002/joc.1968

- [2] Hoffmann, P.; Krueger O.; Schlünzen K.H. (2012): A statistical model for the urban heat island and its application to a climate change scenario. *International Journal of Climatology*, 32, 1238-1248. DOI: 10.1002/joc.2348
- [3] Hoffmann, P. (2012): Quantifying the influence of climate change on the urban heat island of Hamburg using different downscaling methods. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg, 138 Seiten.
- [4] Schoetter, R.; Grawe, D.; Hoffmann, P.; Kirschner, P.; Grätz, A.; Schlünzen, K.H. (2013): Impact of local adaptation measures and regional climate change on perceived temperature. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 2, 117-130.
- [5] Schoetter, R. (2013): Can local adaptation measures compensate for regional climate change in Hamburg Metropolitan Region? Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg, 176 Seiten.
- [6] Ertl, G. (2010): Charakteristika und Repräsentativität von Niederschlag in Norddeutschland. Diplomarbeit im Fach Meteorologie, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, 153 Seiten.

## Kapitel 5.3

- Bechtel, B.; Schmidt K.J. (2011): Floristic mapping data as a proxy for the mean urban heat island. *Climate Research*, 49, 1, 45-58.
- Böhmer, H. J. (2001): Das Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens* DC. 1837) in Deutschland. Eine aktuelle Bestandsaufnahme. *Floristische Rundbriefe*, 35, 47-54.
- Hope, D.; Gries, C.; Zhu, W.X.; Fagan, W.F.; Redman, C.L.; Grimm, N.B.; Nelson, A.L.; Martin, C.; Kinzig, A. (2003): Socioeconomics drive urban plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 8788-8792.
- Kowarik, I. (2011): Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation. *Environmental Pollution*, 159, 8-9, SI, 1974-1983.
- Kühn, I.; Brandl, R.; Klotz, S. (2004): The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research*, 6, 749-764.
- McKinney, M. L. (2002): Urbanization, biodiversity, and conservation. *Bioscience*, 52, 883-890.
- Mosbrugger, V.; Brasseur, G.; Schaller, M.; Strižbny, B. (2012): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Darmstadt.
- Pyšek, P. (1998): Alien and native species in Central European urban floras: a quantitative comparison. *Journal of Biogeography*, 25, 155-163.

Schmidt, K.J. (2013): Plants in urban environments in relation to global change drivers at different scales. Dissertation.

Schmidt, K.J.; Poppendieck, H.H.; Jensen, K. (2013): Effects of urban structure on plant species richness in a large European city. Urban Ecosystems. DOI: 10.1007/s11252-013-0319-y

## Kapitel 5.4

[1] Kuchenbecker, A.; Bischoff, G.; Ziegler, J.; Krieger, K.; Verworn, H.-R. (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf das Hamburger Kanalnetz. Korrespondenz Abwasser und Abfall, 57, 9, 874-881.

[2] Krieger, K.; Kuchenbecker, A.; Hüffmeyer, N.; Verworn, H.-R. (2013): Local effects of global climate change on the urban drainage system of Hamburg, Water Science & Technology, 68, 5, 1107-1113.

[3] Hellmers, S.; Kurzbach, S.; Manojlovic, N.; Palmaricciotti, G. (2013): Multiple linked SUDS in hydrological modelling for urban drainage and flood management. ICFR, Exeter, UK.

[4] Palmaricciotti, G.; Hellmers, S.; Manojlovic, N.; Pasche, E. (2012): Adaptation measures to control exceedance flow in urban catchments. 9th International Conference on Urban Drainage Modelling, Belgrade.

[5] Hellmers, S. (2010): Hydrological Impacts of Climate Change on Flood Probability in Small Urban Catchments and Possibilities of Flood Risk Mitigation. Hamburger Wasserbau-Schriften 13, Institut für Wasserbau, Technische Universität Hamburg-Harburg, Deutschland.

## Kapitel 5.5

URL: <http://www.tech.floodresilience.eu/flood-resilience-measures/dry-floodproofing-sealing>

URL: <http://www.tech.floodresilience.eu/flood-resilience-measures/dry-floodproofing-shielding>

## Kapitel 5.6

Ax, L.; Dietrich, U. (2010): Auswirkungen der Bewertung des thermischen Komforts im Sommer nach EN 15251 auf die bekannten Regeln zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes. In: BauSIM (2010): Building performance simulation in a changing environment. Proceedings of the third German-Austrian IBPSA Conference Vienna University of Technology, 22.-24. September 2010, International Building Performance Simulation Association, German Speaking Chapter. S. 164-170. URL: <http://www.baufachinformation.de/artikel.jsp?v=1072> [18.04.2013]

Deutsche Fassung EN 15251 (2007), Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.

DIN 4108 Beiblatt 2 – 2006/03, Wärmeschutz im Hochbau.

EnEV 2014 Energieeinsparverordnung- Änderung der EnEV 2009. URL: <http://www.bmvbs.de/Shared-Docs/DE/Artikel/SW/energieeinsparverordnung-novellierung.html> [07.11.2013]

Hamburgisches Klimaschutzgesetz, Hamburgisches Gesetz zum Schutz des Klimas durch Energieeinsparung (2006).

Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR) – z. B. ASR A3.6 Punkt 5.3, Tab. 3: II Querlüftung.

Tuschinski, M. (2012) EnEV 2020 – Energieeinsparverordnung auf dem Weg zu klimaneutralen Bauten. URL: [http://service.enev-online.de/bestellen/EnEV\\_2020\\_klimaneutrale\\_Bauten.pdf](http://service.enev-online.de/bestellen/EnEV_2020_klimaneutrale_Bauten.pdf) [18.04.2013]

## Kapitel 5.7

Conradi, G.; Slama (2009): Bericht - Strömungsverhalten Reetdächer. Institut für Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen.

Hupfer, P.; Kuttler W. (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima – eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12. überarbeitete Auflage, B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.

Meinke, I.; Gerstner, E.-M. (2009): Digitaler Norddeutscher Klimaatlas informiert über möglichen künftigen Klimawandel. DMG Mitteilungen 3-2009, Offenbach, S. 17. URL: [http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/dmg-mitteilungen/2009\\_3.pdf](http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/dmg-mitteilungen/2009_3.pdf) [18.02.2014]

## Kapitel 5.8

Conradi, G.; Hamidovic-Baumgarten, J. (2009): Studie – Dachaufstockungspotentiale in der Metropolregion Hamburg. Institut für Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen.

Lutz, P. (1994): Lehrbuch der Bauphysik: Schall Wärme Feuchte Licht Brand Klima. 3. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag.

Voss, K.; Löhnert, G.; Herkel S.; Wagner, A.; Wambsganß, M. (2007): Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen. 2. überarbeitete Auflage, FIZ Karlsruhe, Solarpraxis, Beuth, 282 Seiten.

## Kapitel 5 Exkurs Wandse

Kruse, E.; Zimmermann, T.; Kittel, A.; Dickhaut, W.; Knieling, J.; Sörensen, C. (Hrsg.) (2014): Stadtentwicklung und Klimaanpassung: Klimafolgen, Anpassungskonzepte und Bewusstseinsbildung beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der Wandse, Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 2, TuTech Verlag, Hamburg.



## Kapitel 5 Exkurs Wilhelmsburg

- [1] Handelskammer Hamburg (2004): Leben und Arbeiten im Herzen Hamburgs – Die Entwicklungsperspektive der Elbinsel, 48 Seiten.
- [2] Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2011): Stadtteildatenbank. URL: <http://www.statistik-nord.de/fileadmin/regional/regional.php> [18.02.2014]
- [3] Schlünzen, K.H.; Linde, M. (Hrsg.) (2014): Wilhelmsburg im Klimawandel. Ist-Situation und mögliche Veränderungen. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 4, TuTech Verlag, Hamburg.
- [4] Salim, M.H.; Linde, M.; Gierisch, A.; Schlünzen, K.H.; Grawe, D.; Reinhardt, V. (2011): Some recent extensions and applications of the micro-scale model MITRAS. The 11th EMS Annual Meeting & 10th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) Abstracts, Vol. 8, EMS2011-431.
- [5] Salim, M.H.; Linde, M.; Gierisch, A.; Grawe, D.; Reinhardt, V.; Schlünzen, K.H. (2012): The Microscale Model MITRAS: Towards Quantifying the Impact of Adaptation Measures on Urban Climate. The 8th International Conference on Urban Climate – ICUC 8 and 10th Symposium on the Urban Environment.
- [6] Kipsch, F.; Werk, S.; Harms, F.; Leidl, B. (2011): Optimization of urban structures for city ventilation and pedestrian level winds. Proceedings: Physmod 2011 – Int. Workshop on physical modeling of flow and dispersion phenomena, Hamburg.
- [7] Kipsch, F.; Werk, S.; Harms, F.; Leidl, B. (2012): Ein neuartiger Ansatz zur Bestimmung der Stadtdurchlüftung. Tagungsband: Mettools VIII, Leipzig.
- [8] Kipsch, F.; Harms, F.; Leidl, B. (2013): An experimental approach for quantifying the ventilation in complex urban structures. Proceedings: Physmod 2013 – Int. Workshop on physical modeling of flow and dispersion phenomena, Guilford.
- [9] Plehn, L.; Kipsch, F.; Harms, F.; Leidl, B. (2013): The effect of a reconstructed city quarter on urban ventilation. Proceedings: Physmod 2013 – Int. Workshop on physical modeling of flow and dispersion phenomena, Guilford.
- [10] Salim, M.H.; Grawe, D.; Schlünzen, K.H. (2013): Impacts of Proposed Buildings on the Local Wind Environment Using Obstacle Resolving Microscale Model. The 13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM).

## Kapitel 6.1

- Eiben, E. (2014): Entwicklung eines Beratungssystems zur flexiblen Anpassung an den Klimawandel und die wechselnden Anforderungen des Marktes für landwirtschaftliche Betriebe im Bereich der Niedersächsischen Elbtalaue. In: Prüter, J.; Keienburg, T.; Schreck, C. (Hrsg.): Klimafolgenanpassung im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue – Modellregion für nachhaltige Entwicklung, Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 5, TuTech Verlag, Hamburg.
- Eiben, E.; von Haaren, J. (2014): Landwirtschaft in der Elbtalaue – Strukturen und Entwicklungen vor dem Hintergrund des Klimawandels. In: Prüter, J.; Keienburg, T.; Schreck, C. (Hrsg.): Klimafolgenanpassung im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue – Modellregion für nachhaltige Entwicklung, Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 5, TuTech Verlag, Hamburg.
- Fricke, E.; Riedel, A. (2014): Zukunftsfähige Feldberegnung. In: Urban, B.; Becker, J.; Mersch, I.; Meyer, W.; Rechid, D.; Rottgardt, E. (Hrsg.): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten, Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 6, TuTech Verlag, Hamburg.
- Grocholl, J.; von Haaren, M.; Asendorf, R.; Mensching-Buhr, A.; Urban, B.; Schmelmer, K. (2014): Anpassungsstrategien im Ackerbau. In: Urban, B.; Becker, J.; Mersch, I.; Meyer, W.; Rechid, D.; Rottgardt, E. (Hrsg.): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten, Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 6, TuTech Verlag, Hamburg.
- Haaren, M. von (2012): Der Kulturlandschaftsverband – neue Wege zur Anpassung der Kulturlandschaft an den Klimawandel. In: Grünewald, U.; Bens, O.; Fischer, H.; Hüttel, R.F.J.; Kaiser, K.; Knierim, A. (Hrsg.): Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 238-248.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) (in Vorbereitung): Abschlussberichte der LWK zum Projekt KLIMZUG-NORD.
- Mersch, I.; von Haaren, M. (2014): Dynamischer Kulturlandschaftsplan Obere Wipperaue – Ein Werkzeug zur Integration unterschiedlicher Landnutzungsstrategien auf Gemarkungsebene. In: Urban, B.; Becker, J.; Mersch, I.; Meyer, W.; Rechid, D.; Rottgardt, E. (Hrsg.): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten, Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 6, TuTech Verlag, Hamburg.

Schmelmer, K.; Urban, B.; Stöfen, H.; Schneider, W. (2014): Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt sandiger Ackerböden. Modellierungen im lokalen Maßstab. In: Urban, B.; Becker, J.; Mersch, I.; Meyer, W.; Rechid, D.; Rottgardt, E. (Hrsg.): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten, Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 6, TuTech Verlag, Hamburg.

Schmelmer, K.; Urban, B. (2014): Kohlenstoffdynamik und organische Substanz in Ackerböden. In: Urban, B.; Becker, J.; Mersch, I.; Meyer, W.; Rechid, D.; Rottgardt, E. (Hrsg.): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten, Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 6, TuTech Verlag, Hamburg.

Schmelmer, K.; Urban, B. (2014): Landwirtschaftliche Beratung mit dem Modell Candy-Carbon Balance. In: Urban, B.; Becker, J.; Mersch, I.; Meyer, W.; Rechid, D.; Rottgardt, E. (Hrsg.): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten, Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 6, TuTech Verlag, Hamburg.

## Kapitel 6.2

Guckelberger, A. (2011): §13-15 Allgemeiner Schutz von Natur und Landschaft. In: Frenz, W.; Muggenborg, H.-J. (Hrsg.): BNatSchG Kommentar. Berlin.

Kleijn, D.; Kohler, F.; Baldi, A.; Batary, P.; Concepcion, E. D.; Clough, Y.; Diaz, M.; Gabriel, D.; Holzschuh, A.; Knop, E.; Kovacs, A.; Marshall, E. J. P.; Tscharrntke, T.; Verhulst, J. (2008): On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proceedings of The Royal Society*, 276, 903-909.

Ostermann, U. (1998): Grundwasserentnahme für landwirtschaftliche Beregnung aus Sicht einer Unteren Wasserbehörde. In: *Mitteilungen aus der NNA* 3/98, S. 47-50.

Reese, M.; Möckel, S.; Bovet, J.; Köck, W. (2010): Rechtlicher Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Analyse, Weiter- und Neuentwicklung rechtlicher Instrumente. Berlin.

Regierungskommission Klimaschutz (RK Klimaschutz) (2012): Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Hrsg. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz.

Runge, K.; Wachter, T. (2010): Umweltfolgenprüfung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Ansätze zur Berücksichtigung in SUP, UVP und Eingriffsregelung. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 42, 5, 141-147.

Runge, K.; Wachter, T.; Rottgardt, E. (2010): Klimaanpassung, Climate Proofing und Umweltprüfung - Untersuchungsnotwendigkeiten und Integrationspotenziale. *UVP-Report*, 24, 4, 165-169.

Vohland, K.; Schoenberg, W.; Jensen, K.; Doyle, U.; Ellwanger, G.; Lüttger, A.; Rottgardt, E.; Runge, K.; Schröder, E.; Strasdas, W.; Zeppenfeld, R. (2012): Anpassung und Mitigation - Zielkonflikte und Synergien mit Biodiversität und Naturschutzziele. In: Mosbrugger, V.; Brasseur, G.; Schaller, M.; Stribny, B. (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Darmstadt, S. 343-371.

Wilke, C.; Bachmann, J.; Hage, G.; Heiland, S. (2011): Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben (FKZ 3508820800): Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. In: *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, Heft 109, Bonn – Bad Godesberg.

Wingender, R.; Weddeling, K. (2002): Die Bedeutung der landwirtschaftlichen Nutzung für die Vielfalt wildlebender Tiere und Pflanzen in Deutschland. *Literaturstudie*, Bonn.

## Kapitel 6.3

Baumfeld, L.; Plicka, P. (2005): Großgruppen-Interventionen. ÖAR-Regionalberatung GmbH, Wien.

Gothe, S. (2006): Regionale Prozesse gestalten. Universität Kassel, Schriftenreihe des Fachbereichs Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung, Bd. 28, Kassel.

Ridder, D.; Moster, E.; Wolters, H.A. (2005): Learning together to manage together - Improving Participation in Water Management. Universität Osnabrück, Institute for Environmental Systems Research, Osnabrück.

## Kapitel 6.4

Chmielewski, F.-M. (2007): Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In: Endlicher, W.; Gersengarbe, F.-W. (Hrsg.): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam, S. 75-85.

Jacob, D.; Podzun, R. (1997): Sensitivity Studies with the Regional Climate Model REMO. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 63, 119-129.

Müller, J. (2009): Forestry and water budget of the lowlands in northeast Germany – consequences for the choice of tree species and for forest management, *J. Water Land Dev.*, 13a, 133-148.

Petersen, J. (2012): Rückwirkungen von Landnutzung und Bewässerung auf das simulierte lokale und regionale Klima der Metropolregion Hamburg. *CSC Report* 7.



## Kapitel 6.5

Rohweder, U. (2003): Arzneimittel in der Umwelt - Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Freie und Hansestadt Hamburg: Behörde für Umwelt und Gesundheit, Institut für Hygiene und Umwelt im Auftrag des Bund/Länderausschusses für Chemikaliensicherheit (BLAC), Hamburg.

Scholz, H.; Schwabe, U. (2005): Taschenbuch der Arzneibehandlung, Angewandte Pharmakologie. 13. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Schulz, E. (2012): Landwirtschaftliche Verwertung von Abwässern aus Sicht der Landwirtschaft. Vortragsreihe Siedlungswasserwirtschaft und Kreislaufwirtschaft, Thema: Wiederverwendung von Abwasser in der Landwirtschaft, 21. November 2012, Ostfalia Campus Suderburg.

## Kapitel 6.6

Aerts, R.; Berendse, F.; de Caluwe, H.; Schmitz M. (1990): Competition in heathland along an experimental gradient of nutrient availability. *Oikos*, 57, 310-318.

Burkart, M. (2001): River corridor plants (Stromtalpflanzen) in Central European lowland: a review of a poorly understood plant distribution pattern. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 449-468.

Charman, D. (2008): Peatlands and Climate Change. In: Parish, F.; Sirin, A.; Charman, D.; Joosten, H.; Minayeva, T.; Silvius, M.; Stringer, L. (Hrsg.): Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report, Global Environment Centre and Wetlands International, S. 39-59.

Fagúndez, J. (2013): Heathlands confronting global change: drivers of biodiversity loss from past to future scenarios. *Annals of botany*, 111, 151-172.

Franke, C. (2003): Grünland an der Unteren Mittel-Elbe - Vegetationsökologie und landwirtschaftliche Nutzbarkeit. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Frolking, S.; Roulet, N.; Fuglestedt, J. (2006): How northern peatlands influence the Earth's radiative budget: Sustained methane emissions versus sustained carbon sequestration. *Journal of Geophysical Research*, 111.

Härdtle, W.; Meyer-Grünefeldt, M.; von Oheimb, G. (2013): Atmosphärische Stickstoffeinträge als Ursache für Artenwandel und Artenschwund – Mechanismen und Interaktionen mit Klimawandel am Beispiel von Heideökosystemen. Bericht der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft 25, S. 37-47.

Jensen, K.; Härdtle, W.; Meyer-Grünefeldt, M.; Pfeiffer, E.-M.; Reisdorff, C.; Schmidt, K.; Schmidt, S.; Schrautzer, J.; von Oheimb, G. (2011): Klimabedingte Änderungen in terrestrischen und semi-terrestrischen Ökosystemen. In: von Storch, H.; Claussen M. (Hrsg.): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 143-176.

Jensen, R.; Landgraf, L.; Lenschow, U.; Paterak, B.; Permien, T.; Schiefelbein, U.; Sorg, U.; Thormann, J.; Trepl, M.; Wälter, T.; Wreesmann, H.; Ziebarth, M. (2012): Positionspapier: Potenziale und Ziele zum Moor- und Klimaschutz. *Natur und Landschaft*, 87, 2, 87-88.

Krüger, F.; Weniger, T.; Urban, B. (2014): Bodenentwicklungen und Bodenbelastungen der Mäanderschleife Wehninger Werder an der niedersächsischen Mittel-Elbe. In: Jahrbuch des Naturwissenschaftlichen Vereins für das Fürstentum Lüneburg von 1851. In Druck.

Leyer, I. (2002): Auengrünland der Mittel-Elbe-Niederung. Gebrüder Borntraeger, Stuttgart.

Ludewig, K.; Zelle, B.; Eckstein, L.; Mosner, E.; Otte, A.; Donath, T.W. (2014): Differential effects of reduced water potential on the germination of floodplain grassland species indicative of wet and dry habitats. *Seed Science Research*, 24, 49-61.

Meyer-Grünefeldt, M.; Friedrich, U.; Klotz, M.; von Oheimb, G.; Härdtle, W. (2013): Nitrogen deposition and drought events have non-additive effects on plant growth – evidence from greenhouse experiments. *Plant Biosystems*, published online: 16.12.2013. DOI: 10.1080/11263504.2013.853699

Naiman, R. J.; Décamps, H.; Pollock, M. (1993): The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications*, 3, 209-212.

Permien, T.; Ziebarth, M. (2012): MoorFutures - Innovative Finanzierung von Projekten zur Moorbewässerung in Mecklenburg-Vorpommern. *Natur und Landschaft*, 87, 2, 77-80.

Schmidt, S.R. (2013): Sphagnum in a changing world - from the landscape to the isotope scale. Dissertation, Universität Hamburg.

Schoenberg, W.; Jensen, K. und Arbeitsgruppe Kulturlandschaften & Klimawandel (2014): Perspektiven für den Naturschutz in der Kulturlandschaft unter Einfluss des Klimawandels. Positionspapier der AG Kulturlandschaften & Klimawandel in der Querschnittsaufgabe Naturschutz, KLIMZUG-NORD (In Vorbereitung).

Vanselow-Algan, M. (2013): Impact of summer drought on greenhouse gas fluxes and nitrogen availability in a restored bog ecosystem with differing plant communities. Dissertation, Universität Hamburg.

Vohland, K.; Schoenberg, W.; Jensen, K.; Doyle, U.; Ellwanger, G.; Lüttger, A.; Rottgardt, E.; Runge, K.; Schröder, E.; Strasdas, W.; Zeppenfeld, R. (2012): Anpassung und Mitigation - Zielkonflikte und Synergien mit Biodiversität und Naturschutzziele. In: Mosbrugger, V.; Brasseur, G.; Schaller, M.; Stribny, B. (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Darmstadt, S. 343-371.

Von Oheimb, G.; Power, S.A.; Falk, K.; Friedrich, U.; Mohamed, A.; Krug, A.; Boschatzke, N.; Härdtle, W. (2010): N:P ratio and the nature of nutrient limitation in Calluna-dominated heathlands. *Ecosystems*, 13, 317-327.

## Kapitel 6.7

Chmielewski, F.-M.; Blümel, K.; Henniges, Y.; Müller, A.; Weber, R.W.S. (2009): Klimawandel: Chancen, Risiken und Kosten für den deutschen Obstbau. In: Mahammadzadeh, M.; Biebler, H.; Bardt, H. (Hrsg.): Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen. Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele, Köln: IDW Medien GmbH, S. 279-286.

Chmielewski, F.-M.; Blümel, K.; Henniges, Y.; Blanke, M.; Weber, R.W.S.; Zoth, M. (2011): Phenological models for the beginning of apple blossom in Germany. *Meteorologische Zeitschrift*, 20, 487-496.

Henniges, Y.; Chmielewski, F.-M.; Weber, R.W.S.; Görge, M. (2007): Klimawandel, eine Herausforderung für den deutschen Obstbau. *Phänologie-Journal*, 29, 5-6.

Meyer, S.; Weber, R.W.S. (2009): Hallimasch (*Armilaria* spp.) an Süßkirschen im Niederelbe-Gebiet. Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes, 64, 259-266.

Weber, R.W.S. (2009): Betrachtung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Schadpilze im Obstbau am Beispiel von Fruchtfäule-Erregern an Äpfeln. *Erwerbs-Obstbau*, 51, 115-120.

Weber, R.W.S. (2011): *Phaciidiopycnis washingtonensis*, cause of a new storage rot of apples in Northern Europe. *Journal of Phytopathology*, 159, 682-686.

Weber, R.W.S. (2012): Neue Schaderreger im Alten Land. Anpassung der Sonderkultur Obstbau an den Klimawandel. In: Müller, M.C.M.; von Haaren, M. (Hrsg.): Alien: Invasive Pflanzen und Tiere in der Land(wirt)schaft. Rehburg-Loecum: Loecumer Protokolle 67/11.

Weber, R.W.S.; Dralle, N. (2013): Fungi associated with blossom-end rot of apples in Germany. *European Journal of Horticultural Science*, 78, 97-105.

Weber, R.W.S.; Zabel, D. (2011): White haze and scarf skin, two little-known cosmetic defects of apples in Northern Germany. *European Journal of Horticultural Science*, 76, 45-50.

Weber, R.W.S.; Zahn, V. (2013): Die Apfeltriebsucht an der Niederelbe. Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes, 68, 283-288.

## Kapitel 6.8

Chmielewski, F.-M. (2009): Landwirtschaft und Klimawandel, *Geographische Rundschau*, 61, 9, 28-35.

Döll, S.; Kowalewski, J. (2011): Kreisportraits Landwirtschaft und Klimawandel, erstellt für die Kreise und Landkreise der Metropolregion Hamburg sowie die Freie und Hansestadt Hamburg. Hamburg.

Schaller, M.; Weigel, H.-J. (2007). Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 316.

## Kapitel 6 Exkurs: Modellgebiet Elbtalaue

Prüter, J.; Keienburg, T.; Schreck, C. (Hrsg.) (2014): Klimafolgenanpassung im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue – Modellregion für nachhaltige Entwicklung. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 5, TuTech Verlag, Hamburg.

## Kapitel 6 Exkurs Lüneburger Heide

Urban, B.; Becker, J.; Mersch, I.; Meyer, W.; Rechid, D.; Rottgardt, E. (Hrsg.) (2014): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 6, TuTech Verlag, Hamburg.

## Kapitel 7.1

Amtsblatt der Europäischen Union (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, L288/27 vom November 2007.

Bergemann, M. (1995): Die Lage der oberen Brackwasserzone im Elbeästuar. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen*, 39, 4/5, 134-137.

Kortenhaus, A. (2003): Probabilistische Methoden für Nordseedeiche, Dissertation an der TU Braunschweig, 12/2003.

MELUR-SH – Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (2013): Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein, Fortschreibung 2012.

Schulte-Rentrop, A.; Rudolph, E.; (2013): A Sensitivity Study of Storm Surges under the Conditions of Climate Change in the Elbe Estuary. Chapter 18 in W. L. Filho (Ed.) *Climate Change and Disaster Risk Management*. Springer Berlin Heidelberg.

Siefert, W. (1998): Tiden und Sturmfluten in der Elbe und ihren Nebenflüssen – Die Entwicklung von 1950 bis 1997 und ihre Ursachen. *Die Küste*, Heft 60, S. 1-115.



Vorogushyn, S.; Apel, H.; Lindenschmidt, K.-E.; Merz, B. (2011): Ein neues Modell für die Berechnung von Hochwassergefährdungskarten, System Erde.

## Kapitel 7.2

Donner, M.; Nehlsen, E. (2012): Impact analysis of anthropogenic stresses based on a morphodynamic long-term approach. In : Europe Congress / IAHR. München: Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München.

KLIMZUG-NORD (2013): Öffentlichkeitsbeteiligung zur Anpassung von Städten und Regionen an den Klimawandel, Politikempfehlung 1-2013. URL: <http://klimzug-nord.de/index.php/page/2013-01-17-KLIMZUG-NORD-Politikempfehlung-1-2013> [18.02.2014]

Manojlovic, N.; Behzadnia, N.; Barbarins, D.; Pasche, E. (2012): Learning and Action for Flood Risk Management Planning. In: Hinkelmann, R. (Hrsg.): Proceedings of 10th International Conference on Hydroinformatics - HIC 2012: Understanding changing climate and environment and finding solutions. Hamburg, Germany, 14.-18. Juli 2012. Hamburg: TuTech Innovation.

Manojlovic, N.; Hodgins, S.; Manheimer, J.; Waagø, O. S.; Annamo, E.; Evers, M.; den Besten, J.; Pasche, E. (2012): Adaptive Flood Risk Management Planning: Experience from the SAWA Pilot regions. Final report of the SAWA Project.

Nehlsen, E.; Kunert, L.; Fröhle, P.; Knieling, J. (Hrsg.) (2014): Wenn das Wasser von beiden Seiten kommt – Bausteine eines Leitbildes zur Klimaanpassung für Elmshorn und sein Umland. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten. Bd. 3. Hamburg: TuTech Verlag.

Nehlsen, E.; Pasche, E.; Schneider, W. (2012): Influences of changing climatic conditions on flood protection at tidal marsh-watercourses. In: Hinkelmann, R. (Hrsg.): Proceedings of 10th International Conference on Hydroinformatics - HIC 2012: Understanding changing climate and environment and finding solutions. Hamburg, Germany, 14.-18. Juli 2012. Hamburg: TuTech Innovation.

Stadelmann, R. (2010): Den Fluten Grenzen setzen - Schleswig-Holstein: Küstenschutz Westküste und Elbe, 2. Hälfte 20. Jahrhundert, Bd. 2: Dithmarschen und Elbe/Elbmarschen, Insel Trischen und Helgoland. Hrsg. vom Schleswig-Holsteinischen Heimatbund und Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein.

## Kapitel 7.3

Feseker, T. (2007): Numerical studies on saltwater intrusion in a coastal aquifer in northwestern Germany. Hydrogeology Journal, 15, 267–279.

Grube, A.; Wichmann, K.; Hahn, J.; Nachtigall, K. H. (2000): Geogene Grundwasserversalzung in den Poren-Grundwasserleitern Norddeutschlands. Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Bd. 9, 198 Seiten.

Hoffmann, B.; Meckelburg, M.; Meinken, M. (2005): Folgen einer Klimaänderung für den Grund- und Bodenwasserhaushalt der Unterwesermarsch. In: Schuchardt, B. (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Berlin u.a.: Springer (Umweltnatur- & Umweltsozialwissenschaften).

Lebbe, L.; van Meir, N.; Viane, P. (2008): Potential implications of sea-level rise for Belgium. Journal of Coastal Research, 24, 2, 358–366.

Maniak, U.; Weihrauch, A.; Riedel, G. (2005): Die wasserwirtschaftliche Situation in der Unterwesermarsch unter der Einwirkung einer Klimaänderung. In: Schuchardt, B. (Hrsg.): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Berlin u.a.: Springer (Umweltnatur- & Umweltsozialwissenschaften).

Schuchardt, B. (Hrsg.) (2005): Klimawandel und Küste. Die Zukunft der Unterweserregion. Berlin u.a.: Springer (Umweltnatur- & Umweltsozialwissenschaften).

Seiffert, R.; Hesser, F.; Schulte-Rentrop, A.; Seiß, G. (2012): Potential effects of climate change on the brackish water zone in German estuaries. 10th International Conference on Hydroinformatics: Understanding Changing Climate and Environment and Finding Solutions, 14.-18. Juli 2012, Hamburg.

Steuer, A.; Siemon, B.; Ibs-von Seht, M.; Meyer, M.; Wiederhold, H., (2012): Helicopter-borne electromagnetics (HEM) at the Elbe estuary in Northern Germany. Proceedings of the 24th Schmucker-Weidelt-Colloquium for Electromagnetic Depth Research, 19.-23. September 2011, Neustadt/Weinstraße, S. 256–265.

## Kapitel 7.4

Arbeitsgruppe Elbeästuar (2011): Integrierter Bewirtschaftungsplan für das Elbeästuar. URL: <http://www.natura2000-unterelbe.de/links-Gesamtplan.php> [18.02.2014]

Eick, D. (2012): Habitat preferences of the burbot (*Lota lota*) from the River Elbe: an experimental approach. Journal of Applied Ichthyology, 29, 541–548.

Magath, V.; Thiel, R. (2013): Stock recovery, spawning period and spawning area expansion of the twaite shad *Alosa fallax* in the Elbe estuary, southern North Sea. Endangered Species Research, 20, 109–119.

Runge, K.; Wachter, T.; Rottgardt, E. (2010): Klima-anpassung, Climate Proofing und Umweltprüfung - Untersuchungsnotwendigkeiten und Integrationspotenziale. UVP-Report, 24, 4, 165-169.

Schoenberg, W.; Jensen, K. (Hrsg.); Arbeitsgruppe Elbeästuar & Klimawandel (2013): Positionspapier der Arbeitsgruppe Elbeästuar & Klimawandel in der Querschnittsaufgabe Naturschutz, KLIMZUG-NORD. URL: <http://klimzug-nord.de/index.php/page/2013-08-21-Positionspapier-der-Arbeitsgruppe-Elbeaestuar-Natursc> [18.02.2014]

Schroeder, A. (2011): Klassifizierung der Toxizitäten von Oberflächensedimenten in der Tideelbe mittels einer ökotoxikologischen Testkombination. Umwelttechnik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 97 Seiten.

Storch, H. v.; Claussen, M. (Hrsg.); KlimaCampus Autoren Team (2011): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg. Springer, 300 Seiten.

Temmermann, S.; Meire, P.; Bouma, T.J.; Herman, P.M.J.; Ysebart, T.; De Vriend, H.J. (2013): Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504, 79-83.

Thiel, R. (2011): Die Fischfauna europäischer Ästuare. Eine Strukturanalyse mit Schwerpunkt Tideelbe. Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Hamburg 43, Dölling und Galitz Verlag, München, Hamburg, S. 1-157.

Wahl, T.; Jensen, J.; Frank, T.; Haigh, I.D. (2011): Improved estimates of mean sea level changes in the German Bight over the last 166 years. *Ocean Dynamics*, 61, 5, 701-715.

## Kapitel 7.5

[1] Frei, X.; Kowalewski, J. (2013): Sektorale und regionale Betroffenheit durch den Klimawandel – Entwicklung eines Betroffenheitsindex am Beispiel der Metropolregion Hamburg. HWWI Research Paper 139. URL: [http://www.hwwi.org/uploads/tx\\_wilpubdb/Hinten-Paper\\_139.pdf](http://www.hwwi.org/uploads/tx_wilpubdb/Hinten-Paper_139.pdf) [18.02.2014]

[2] Kowalewski, J.; Ujeyl, G. (2012): Estimating direct and indirect damages from storm surges: The case of Wilhelmsburg/Hamburg. In: Klijn, F.; Schwecken-diek, T. (Hrsg.): *Comprehensive Flood Risk Management: Research for Policy and Practice*. CRC Press, Delft.

[3] Grünig, M.; Kowalewski, J.; Schulze, S.; Stiller, S.; Tröltzsch, J. (2012): Gutachten zu den ökonomischen Folgen des Klimawandels und Kosten der Anpassung für Hamburg. Gutachten für die Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg.

## Kapitel 7 Exkurs Altes Land

Köpke, D. (2012): Ansprüche an die Wasserqualität bei der Frostschutzberegnung und Bewässerung von Obstkulturen. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings*, 382 - 386.

Majerke, G. (2011): Maßnahmen zur alternativen Wasserbereitstellung in den Verbandsgebieten Kehdingen und Altes Land bei zu hohen Salzgehalten in der Elbe. Grontmij, 101 Seiten.

Meyer, G.; Klein, W. (2006): Leitfähigkeitsmessungen zur Risikoabschätzung des Salzgehaltes im Beregnungswasser. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings*, 466 - 470.

Nehlsen, E.; Pasche, E.; Schneider, W. (2012): Influences of changing climatic conditions on flood protection at tidal marsh-watercourses. In: Hinkelmann, R. (Hrsg.): *Proceedings of 10th International Conference on Hydroinformatics – HIC 2012: Understanding changing climate and environment and finding solutions*. 14.-18. Juli 2012, Hamburg, Germany, Hamburg: TuTech Innovation.

Seiffert, R.; Hesser, F.; Schulte-Rentrop, A.; Seiß, G. (2012): Potential effects of climate change on the brackish water zone in German estuaries. 10th International Conference on Hydroinformatics: Understanding Changing Climate and Environment and Finding Solutions, 14.-18. Juli 2012, Hamburg.

Steuer, A.; Siemon, B.; Ibs-von Seht, M.; Meyer, M.; Wiederhold, H. (2012): Helicopter-borne electromagnetics (HEM) at the Elbe estuary in Northern Germany. *Proceedings of the 24th Schmucker-Weidelt-Colloquium for Electromagnetic Depth Research*, 19.-23. September 2011, Neustadt/Weinstr., Germany, S. 256-265.



**A**

**Abfluss:** In  $\text{m}^3/\text{s}$  und  $\text{l/s}$  gemessene Wassermenge: Zufluss, Durchfluss, Volumenstrom; Quotient aus dem Wasservolumen, das einen bestimmten Fließquerschnitt durchfließt, und der dazu benötigten Zeit.

**Abiotische Faktoren:** Wirkungselemente der unbelebten Natur auf die Organismen, z.B. Klima, Boden, Wasser.

**Ackerzahl:** Die Ackerzahl oder Bodenpunkte beschreiben den auf einen Boden bezogenen Ertragsmesswert, also die Qualität einer Ackerfläche. Sie bewegt sich zwischen 7 (schlecht) und 100 (sehr gut). Die Ackerzahl wird basierend auf der Bodenzahl, die sich im Wesentlichen auf Bodenkennwerte und weitere Faktoren wie Klima und Geländebeschaffenheit stützt, über Zu- bzw. Abschläge ermittelt. Ackerflächen mit weniger als 20 Punkten sind landwirtschaftlich kaum noch nutzbar.

**Adaptation / Anpassung an den Klimawandel / Klimaanpassung:** (lat. adaptare = anpassen) Anpassung an den Klimawandel bezeichnet Maßnahmen, mit denen natürliche und menschliche Systeme gewappnet werden, um die Folgen des Klimawandels möglichst unbeschadet zu überstehen. Die Maßnahmen sind vielfältig. Manche sorgen vor, andere reagieren auf bereits eingetretene Veränderungen. Sie betreffen sowohl soziale als auch natürliche Systeme. Umgangssprachlich ist der Begriff „Klimaanpassung“ eingeführt.

**Aerosol:** Ein Aerosol ist ein Gemisch aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen und Gas (hier Luft). Die Schwebeteilchen heißen Aerosolpartikel und stammen zum einen aus natürlichen Quellen (z.B. Vulkanasche, Meersalz), zum anderen können sie durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre gelangen, wie z. B. Ruß und Schwefeldioxid aus der Verbrennung. Die Aerosolpartikel streuen und absorbieren die einfallende Sonnenstrahlung und reduzieren dadurch den Strahlungsfluss an der Erdoberfläche. Die direkte Wirkung von Aerosolen besteht daher in einer Abkühlung der oberflächennahen Luftschicht. Die indirekte Wirkung resultiert aus dem Einfluss der Aerosolpartikel auf die Wolkenbildung und den Niederschlag, diese kann je nach Zustand der Atmosphäre zu einer Abkühlung oder Erwärmung der oberflächennahen Luftschicht führen.

**Agrarstruktur:** Gesamtheit der Produktionsbedingungen sowie der sozialen Verhältnisse im Agrarraum. Dazu zählen die Eigentums- und Besitzverteilung, die soziale Stellung der Landbevölkerung sowie die Form der Bodennutzung.

**Aktive Gebäude-Nutzerinnen und -Nutzer:** Aktive Gebäude-Nutzerinnen und -Nutzer sind Menschen, die ihren Raumluftkomfort aktiv beeinflussen, indem sie ihren Komfort selbst einstellen. Das Selbst einstellen des Komforts ist z.B. durch veränderte

Kleidung, Öffnen oder Schließen der Fenster, Einstellen von Temperaturreglern und Nutzung der Verschattungssysteme möglich. Passive Nutzerinnen und Nutzer sind notgedrungen diejenigen, die in einem vollklimatisierten Gebäude mit Festverglasung und Dresscode arbeiten.

**Albedo:** Ein Maß für das Rückstreuvermögen einer Oberfläche bzgl. Licht. Eine Oberfläche mit höherer Albedo reflektiert mehr Sonnenlicht und erwärmt sich daher weniger stark als eine Oberfläche mit niedrigerer Albedo. Die Albedo ist eine dimensionslose Zahl, die zwischen Null (0 % Rückstreuung) und 1 (100 % Rückstreuung) liegt.

**Anpassungsfähigkeit:** Anpassungsfähigkeit wird hier im Zusammenhang mit städtischen Strukturen definiert als Möglichkeit zur Integration von Anpassungsmaßnahmen innerhalb eines Stadtstrukturtyps zur Kompensation der Klimafolgen. Die Anpassungsfähigkeit basiert auf verschiedenen baustrukturellen Merkmalen des jeweiligen Stadtstrukturtyps.

**Anpassungskapazität:** Anpassungskapazität beschreibt das Potenzial und die Fähigkeit eines Systems (Region, Organisation, Gruppe, Person, natürliche Systeme), sich durch Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an veränderte Bedingungen anzupassen. Sie ist von ökologischen sowie ökonomischen Ressourcen, Know-how und Technologie, Institutionen und persönlichen Merkmalen abhängig.

**Anthropogener Klimawandel:** Vom Menschen verursachter Anteil am Klimawandel. Maßgeblich verursacht durch den Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre, der in engem Zusammenhang mit der vor etwa 200 Jahren beginnenden Industrialisierung steht. Von untergeordneter Bedeutung sind Veränderungen der Landnutzung und damit der Albedo sowie Eingriffe in den Wasserkreislauf.

**Ästuar:** Von Ebbe und Flut trichterförmig erweiterter Bereich eines in das Meer mündenden Tideflusses. Landseitig definiert als die durchschnittliche Grenze von Brackwasser zu Süßwasser.

**Atlantisches Klima / maritimes Klima:** Durch die Nähe zum Ozean/Atlantik geprägtes, gemäßigtes Klima, das sich durch ganzjährig fallende Niederschläge und relativ geringe, durch die ausgleichende Wirkung des Meeres gedämpfte Temperaturschwankungen im Jahresverlauf auszeichnet.

**B**

**Bemessungsgrundlage:** Die Bemessungsgrundlage für Kanalnetze umfasst die Vorgaben und Größen zur Berechnung von Kanalnetzen.

**Beregnungsbedürftigkeit (potenzielle):** Die Beregnungsbedürftigkeit prüft einen Standort darauf, wie weit der Wasserbedarf der Pflanzen aufgrund natürlicher Gegebenheiten gedeckt werden kann.

Die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit ist abhängig vom Klima, vom Wasserspeichervermögen des Bodens und von pflanzenbaulichen Faktoren. Sie stellt die Trockengefährdung eines Standortes dar.

**Beregnungssteuerungsmodelle:** Verfahren zur Bestimmung des optimalen Einsatzes der Zusatzbewässerung/Beregnung. Es können Messungen, Berechnungen oder Kombinationen von beidem genutzt werden.

**Beregnungswürdigkeit:** Nicht alle Kulturen weisen eine besondere Beregnungswürdigkeit auf. Eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Beregnung basiert stets auf dem langjährigen Durchschnitt der Ernteerträge. Eine Frucht ist prinzipiell dann beregnungswürdig, wenn die beregnungsbedingten Mehrkosten durch die Ernte-Mehrerlöse gedeckt sind.

**Beschäftigte:** Unter Beschäftigten werden hier die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Arbeitsort verstanden, die von der Bundesagentur für Arbeit ermittelt werden. Sie unterscheiden sich von der Definition der Erwerbstätigen darin, dass Beamte, Selbstständige, mithelfende Familienangehörige, Berufs- und Zeitsoldaten, Wehr- und Zivildienstleistende nicht berücksichtigt werden.

**BIAS / BIAS-Korrektur:** Systematische Abweichungen (Fehler) der Modelldaten von Beobachtungsdaten werden mit einem Korrekturverfahren angepasst. Danach besitzen die Modellergebnisse ähnliche statistische Eigenschaften wie die Beobachtungsdaten.

**Biodiversität / Biologische Vielfalt:** Vielfalt der unterschiedlichen terrestrischen und aquatischen Lebensformen, ihre genetische Vielfalt innerhalb der eigenen Art, die Vielfalt von Ökosystemen sowie ihre Wechselbeziehungen untereinander und mit der natürlichen Umwelt.

**Biomasse:** Die Menge der lebenden organischen Substanz in einer Raumeinheit bzw. auf einer Flächeneinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Biomasse kann in Phytomasse (Pflanzen und Mikroorganismen) und Zoomasse (Tiere) unterteilt werden.

**Biotopverbund:** Konzept zur Erhaltung und Vernetzung von Lebensräumen (Biotopen) durch Etablierung eines Verbundsystems aus Kernflächen (meist Schutzgebiete), Verbundachsen und Trittsteinen.

**Bodenbearbeitung:** Bearbeitung des Bodens mithilfe von Geräten. Ziel ist, für die zum Anbau gelangenden Pflanzen möglichst günstige Wachstumsbedingungen zu schaffen. Dazu zählen die Lockerung und die Durchlüftung des Bodens, die Zerkleinerung der Bodenkrume sowie die Vernichtung von Unkräutern, die Düngung und die Regulierung der Bodenfeuchtigkeit.

**Bodenflora und -fauna:** Pflanzliche und tierische Lebewesen des Bodens. Bodenfauna ist dabei der

Oberbegriff für alle tierischen Bodenlebewesen, wobei die Mikroorganismen eine eigene Untergruppe bilden, da sie nicht genau der Bodenflora oder -fauna zugeordnet werden können.

**Bodenschutz:** Ursprünglich nur auf Schutz vor Boden-erosion begrenzt, wird Bodenschutz heute umfassender interpretiert, um dem Boden als ökologischem und ökonomischem Faktor Rechnung zu tragen. Bodenschutzmaßnahmen sollen schädliche Einwirkungen auf den Boden vermeiden.

**Bodenwasserhaushalt:** Bezeichnung für Veränderungen der Bodenwassergehalte in ihren jahreszeitlichen Schwankungen und Veränderungen der Tiefenverteilung von frei beweglichem Wasser, Haftwasser und Totwasser sowie die Umsätze von Bodenwasser durch Verdunstung, Versickerung und Abfluss.

**Bottom-up:** Der Begriff meint eine Perspektive, aus der Strukturen und Prozesse ausgehend vom Kleinteiligen hin zum großen Ganzen betrachtet und verstanden werden. In Politik und Planung stellt die Bottom-up-Perspektive den Einfluss heraus, der von Individuen oder Gruppen ausgeht oder ausgehen soll.

**Brackwasser:** Mischung zwischen Meerwasser und Süßwasser, schwach salzhaltig (DIN 4049-3).

**Bürgerhaushalt:** Die Bevölkerung wird aktiv in die Planung von öffentlichen Haushalten und Einnahmen einbezogen.

## C

**C-Bilanz:** Saldo aus Zu- und Abgängen des Bodenkohlenstoffes als Maßzahl für die Entwicklung des Humusgehaltes.

**Climate Adaptation Governance:** Climate Adaptation Governance bezeichnet Instrumente und Verfahren zur Anpassung, an deren Entwicklung und Umsetzung neben staatlichen Akteuren (z.B. öffentliche Verwaltung) auch nicht-staatliche Akteure, z.B. Naturschutzverbände und Vereine beteiligt sind (siehe auch Governance).

**Climate Local Model (CLM):** Auf Grundlage des Lokal-Modells des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vom Helmholtz Zentrum Geesthacht (HZG), dem PIK Potsdam und der BTU Cottbus entwickeltes regionales Klimamodell. Die Weiterentwicklung des CLM erfolgt in enger Abstimmung mit den Entwicklungen des COSMO-CLM des DWD in einem internationalen Netzwerk von an Universitäten und Forschungseinrichtungen tätigen Wissenschaftlern, der CLM-Community ([www.clim-community.eu](http://www.clim-community.eu)).

**Clusteranalyse:** Statistisches Verfahren zur Unterteilung von Daten in verschiedene Gruppen. Die Mitglieder einer Gruppe sollten untereinander sehr ähnliche Eigenschaften aufweisen, wobei die Gruppen sich möglichst stark voneinander unterscheiden sollten.



**CO<sub>2</sub>-Bilanz:** Die CO<sub>2</sub>-Bilanz eines Ökosystems ist die Summe aus durch Fotosynthese aufgenommenem CO<sub>2</sub> und durch die Respiration (Atmung) von Pflanzen und Bodenorganismen an die Atmosphäre abgegebenem CO<sub>2</sub>. Definitionsgemäß bedeutet ein negativer Wert eine Fixierung von CO<sub>2</sub> durch das Ökosystem (wie in wachsenden Mooren), während ein positiver Wert eine Netto-Emission darstellt.

**Corg:** Organisch gebundener Kohlenstoff im Boden. Er ist wesentlicher Bestandteil des Humus, der gemessene Wert stellt die Basis für die Berechnung der Humusmenge dar.

**CULTAN-Düngung:** Spezielles Stickstoffdüngungsverfahren, Controlled Long Term Ammonium Nutrition (kontrollierte Pflanzen-Langzeiternährung mit Ammonium).

## D

**Deckschicht:** Im Naturraum Elbmarsch wird der obere Grundwasserleiter von holozänen Sedimenten bzw. von vor Ort entstandenen Substraten überlagert, die unter dem Begriff „Marschenablagerungen“ zusammengefasst werden. Bei diesen Sedimenten handelt es sich um Klei (Ton-Schluff-Gemenge) und Torf. Sowohl Klei als auch Torf weisen eine geringe hydraulische Leitfähigkeit auf. In der Grundwasserhydrologie wird auch von Grundwasserüberdeckung gesprochen (DIN 4049-3).

**Delphi Mediation Online System (DEMOS):** DEMOS steht für eine flexible interaktive Internetplattform sowie ein spezialisiertes Verfahren zur aktiven Einbeziehung der Bürger in politische Gestaltungs- und Entscheidungsprozesse, das in einem gleichnamigen europäischen Forschungs- und Entwicklungsprojekt entwickelt und seitdem in einer Vielzahl von Politikfeldern in Deutschland und Europa angewendet wurde.

**Deutsche Anpassungsstrategie (DAS):** Die DAS schafft einen Rahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland und wurde 2008 durch das Bundeskabinett beschlossen. Sie stellt vorrangig den Beitrag des Bundes dar und bietet auf diese Weise eine Orientierung für andere Akteure.

**Diversität:** Hier: Das Schützen des Systems gegenüber der Bandbreite der Folgen von Extremereignissen durch Verknüpfen unterschiedlicher Komponenten.

**Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung (DRWB):** Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung fördern die Versickerung, Verdunstung, Rückhaltung und Nutzung von Niederschlagswasser. Die Bewirtschaftung erfolgt, wenn möglich, lokal auf den Flächen, wo das Regenwasser auftritt (dezentrales System).

**Düngungsstrategien:** Verteilungsschemata der einzelnen Düngergaben in der Vegetation der Pflanzen. Von einer Vorratsdüngung zu Beginn des Pflanzen-

wachstums bis zu gering dosierten Einzelgaben sind unterschiedliche Mengen- und Anwendungstermine je nach Kulturart und Bodenart möglich.

**Dynamik/dynamische Prozesse:** Natürliche Veränderungen von Organismen, Populationen, Ökosystemen sowie deren Funktionen.

## E

**Eingriffsregelung:** Rechtliches Instrument zur Vermeidung negativer Auswirkungen eines Eingriffs (z.B. Bauvorhaben, Ausbau von Gewässern) durch Schaffung von naturschutzfachlich angemessenem Ausgleich oder Ersatz (Renaturierungen, Kompensationszahlungen) auf anderen Flächen.

**Einzugsgebiet (Hydrologie):** Gebiet, aus dem Wasser einem bestimmten Ort zufließt (DIN 4049-1). Teileinzugsgebiete unterteilen Einzugsgebiete in kleinere Entwässerungsgebiete mit jeweils einem Auslass in das Gewässer.

**Emissionen:** Austrag von Stoffen oder Strahlung in die Umwelt, hier: Freisetzung von Treibhausgasen oder deren Vorläufersubstanzen in die Atmosphäre über einem bestimmten Gebiet und in einem bestimmten Zeitraum.

**Emissionsszenarien:** Die im Rahmen von KLIMZUG-NORD verwendeten Klimasimulationen basieren auf den im „Special Report on Emission Scenarios“ (SRES) publizierten Szenarien B1, A1B und A2 zur möglichen Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen im 21. Jahrhundert. Den Emissionsszenarien liegen unterschiedliche Annahmen zu plausiblen Pfaden globaler sozioökonomischer und technischer Entwicklungen zugrunde. Das A1B Szenario geht von starkem Wirtschaftswachstum, rascher Entwicklung neuer Technologien sowie einem ausgewogenen Energieverbrauch aus erneuerbaren und fossilen Energiequellen aus. Im B1 Szenario werden rasche Konvergenz der Volkswirtschaften sowie ein schneller Übergang zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft angenommen. Der Ressourcenverbrauch wird reduziert. Die Treibhausgasemissionen sind niedriger als im A1B Szenario. Das A2 Szenario geht von sehr heterogenen Volkswirtschaften und einer stark steigenden Weltbevölkerung aus. Wirtschaftswachstum und technologische Entwicklung sind langsamer als im A1B und B1 Szenario. Die Treibhausgasemissionen sind zur Mitte des 21. Jahrhunderts ähnlich, gegen Ende des 21. Jahrhunderts höher als im A1B Szenario.

**Empfindlichkeit (Sensitivität):** Empfindlichkeit bezeichnet das Maß, in dem ein natürliches oder menschliches System, z.B. durch Klimaänderungen, beeinflusst werden kann. Manche Veränderungen wirken unmittelbar, andere indirekt.

**Energieeinsparverordnung EnEV 2014:** Die neue Energieeinsparverordnung EnEV 2014 wurde am 16.10.2013 verabschiedet und ersetzt die EnEV

2009. Die EnEV 2014 schreibt entsprechend den Vorgaben der EU den Nullenergiestandard für alle Neubauten ab 2020 (öffentliche Gebäude ab 2018) vor.

**Entkoppelung ökologischer Prozesse:** Phasen im jahreszeitlich unterschiedlichen Entwicklungszyklus von Organismen, z.B. Blattbildung, Blühbeginn oder Beginn des Winterschlafs, können aufgrund klimatischer Änderungen zeitversetzt auftreten. Eine Entkoppelung phänologischer Phasen liegt z.B. vor, wenn sich synchron verlaufende Zyklen, wie das Auftreten von Blühbeginn und blütenbestäubenden Insekten, in unterschiedliche Zeitintervalle verschieben.

**Erosion:** Abtrag von Material, z.B. durch die Fließenergie des Wassers.

**Erosionsschutz:** Allgemein der Schutz vor der abtragenden Wirkung durch exogene Kräfte. Im Sinne von Bodenschutz bedeutet Erosionsschutz Schutzmaßnahmen gegenüber der Bodenerosion durch Wasser und Wind, z.B. mittels Erosionsschutzpflanzungen.

**Ertragspotenzial:** Das genetische Ertragspotenzial ist das genetische Vermögen einer Pflanzenart, bei optimalen Bedingungen eine bestimmte Menge Erntegut (Ertrag) zu erzeugen. Das Ertragspotenzial des Standortes erfasst den Ertrag, den ein Pflanzenbestand auf einem bestimmten Standort bei optimaler Versorgung erzielen kann.

**Erwerbstätige:** In der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung werden in den Erwerbstätigen alle Personen zusammengefasst, die einer Erwerbstätigkeit nachgehen. Dazu gehören Selbstständige, mithelfende Familienangehörige und Arbeitnehmer (Arbeiter und Angestellte, marginal Beschäftigte, Beamte).

**Evapotranspiration:** Summe der aus dem Boden verdunsteten Wassermenge und der Wassermenge, die von der Vegetation durch Transpiration an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Einheit ist Millimeter (Liter pro Quadratmeter) und wird auf eine Zeiteinheit bezogen. Die potenzielle Evapotranspiration ist die unter gegebenen Umweltbedingungen (Wind, Temperatur, Dampfdruck) von einer freien Wasseroberfläche abgegebene Menge Wasserdampf. Die aktuelle oder tatsächliche Evapotranspiration ist abhängig vom Bodenwassergehalt und von der Wasserleitfähigkeit des Bodens.

**Exposition:** Die Exposition beschreibt, inwieweit eine Region bzw. ein System Klimaänderungen (z.B. Temperatur, Niederschlag) ausgesetzt ist. Die Exposition ist Teil der Vulnerabilität (siehe auch Verwundbarkeit).

**Extremes Wetterereignis / Extremereignis:** Jedes Wetter, das an einem Ort zu einer Jahreszeit äußerst selten auftritt, ist ein extremes Wetterereignis. Wenn extremes Wetter über eine längere Zeitspanne bestehen bleibt, kann es als „extremes Klimaereignis“ klassifiziert werden.

## F

**FFH-Richtlinie:** Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG): seit 1992 geltende europäische Richtlinie zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Ziel ist die Schaffung eines zusammenhängenden Netzes von Schutzgebieten (NATURA 2000).

**FLORETO:** GIS-basiertes Hochwasserschadensmodell.

**Fokusgebiet:** Ein Fokusgebiet ist ein vom Klimawandel betroffenes Gebiet, welches räumlich abgegrenzt ist und modellhaften Charakter besitzt. Zweck der Fokusgebiete ist, einen Raum abzugrenzen, in welchem im Rahmen des Projektes KLIMZUG-NORD in einer interdisziplinären Arbeitsweise Maßnahmen der klimaangepassten Stadt- und Freiraumentwicklung erarbeitet werden.

**Fruchtfolge:** Im Ackerbau eine Abfolge von geeigneten Kulturen, um eine bestmögliche Ausnutzung des Bodens unter dauernder Erhaltung seiner Fruchtbarkeit zu erreichen. Eine gute Fruchtfolge vermeidet die Aufeinanderfolge biologisch gleichartiger Pflanzen und wechselt vor allem Halmfrüchte mit Klee, Kartoffeln oder Rüben ab.

## G

**Gebäudezertifizierung:** Maßstab nachhaltigen Bauens, welcher Gebäude hinsichtlich der Frage, ob sie nachhaltig geplant, errichtet und betrieben werden, bewertet. Ergebnisse werden gegenüber Eigentümern, Nutzern und der interessierten Öffentlichkeit sichtbar - meist in Form eines Gütesiegels, das die erhobenen Kennwerte zusammenfasst.

**Gigatonne (Gt):** Maßeinheit für Massen, entspricht 1.000.000.000 Tonnen.

**Governance:** Governance bezeichnet Arrangements zur Steuerung und Regelung gesellschaftlicher Belange und Problemstellungen durch das Zusammenwirken staatlicher und nicht-staatlicher Akteure. Instrumente sind unter anderem ökonomische Anreize und Marktmechanismen bis hin zu hoheitlichem, regulativem Handeln. Partizipative Governance und reflexive Governance sind in der Nachhaltigkeits- und Anpassungsforschung bedeutsam.

**Gradient:** Maß für die Änderung einer Größe mit dem Ort, z.B. Änderung eines Umweltfaktors in einem Landschaftsraum, von feuchten zu trockenen Standortbedingungen.

**Grundwasserpotenzial:** Das Grundwasserpotenzial wird auch als Standrohrspiegelhöhe bezeichnet und gibt den Wasserspiegel an, der sich in einem im Grundwasserleiter verfilterten Rohr einstellt. Ist das Grundwasser frei und wird nicht von einer gering durchlässigen Schicht begrenzt, dann entspricht die Standrohrspiegelhöhe der Grundwasseroberfläche und der Druck an dieser Oberfläche dem



atmosphärischen Druck. Ist das Grundwasser gespannt, also von einer gering durchlässigen Schicht begrenzt, steigt das Wasser im Rohr über die Grenzfläche der beiden Gesteinsschichten hinaus an. Der Wasserstand im Rohr liegt dann oberhalb der Grundwasseroberfläche und der Druck an dieser Oberfläche entspricht der Summe aus geodätischer Höhe und der Druckhöhe, die sich aus der überstehenden Wassersäule ergibt.

## H

**Habitat:** Lebensraum, einschließlich der dort lebenden Arten und der dort herrschenden ökologischen Bedingungen.

**Hektar (ha):** Flächeneinheit, 1 ha = 10.000 m<sup>2</sup>.

**Hinterland:** Dem Deich landseitig vorgelagerte Fläche.

**Hitzetag / heißer Tag:** Tag mit einer Maximumtemperatur größer gleich 30 °C.

**Hochmahd:** Mahd ca. 20 - 30 cm über dem Erdboden, sodass nur die obersten Triebe der Besenheide abgeschnitten werden.

**HQ20 / HQ100:** Ein statistisch gesehen alle 20 Jahre (100 Jahre) auftretendes Hochwasserereignis.

**Hystem-Extran:** Hydrodynamisches Kanalnetzmodell zur Simulation der Fließvorgänge im Kanalnetz.

## I

**Immission:** Als Immission definiert man die Einwirkung von Störfaktoren aus der Umwelt auf Mensch und natürliche Umwelt.

**Instrument:** Instrumente dienen politischen und planerischen Akteuren zur Verwirklichung ihrer Zielsetzungen. Eine mögliche Unterteilung unterscheidet in formelle Instrumente (rechtlich geregelte Ziele, Verfahren und Festsetzungen, die auf Gesetzen und Plänen basieren), ökonomische Instrumente (Steuerung über Anreize finanzieller Art), informelle Instrumente (Verfahren, Methoden und Instrumente, die auf Dialog und Verständigung beruhen) und organisationale Instrumente (prozedurale und organisatorische Voraussetzungen in und zwischen Organisationen).

**Interdisziplinarität:** Interdisziplinarität ist eine Form kooperativen, wissenschaftlichen Handelns in Bezug auf gemeinsam erarbeitete Problemstellungen und Methoden, welche darauf ausgerichtet ist, durch Zusammenwirken geeigneter Vertreter unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen das jeweils angemessenste Problemlösungspotenzial für gemeinsam bestimmte Zielsetzungen bereitzustellen.

**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):** Der zwischenstaatliche Ausschuss für

Klimaänderungen, oftmals auch als Weltklimarat bezeichnet, wurde 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ins Leben gerufen. Die Hauptaufgabe des IPCC besteht darin, für politische Entscheidungsträger Forschungsergebnisse zu physikalischen Grundlagen des Klimasystems, den Folgen und Risiken von Klimaänderungen sowie Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zusammenzutragen.

**Interzeptionsverdunstung:** Verdunstung von Wasser, das auf den Blattoberflächen der Pflanzen aufgefangen wurde.

## J

**Jahresprimärenergiebedarf:** Definition aus der Energieeinsparverordnung: sie gibt an, wie viel Primärenergie (z.B. umgerechnet in Steinkohleeinheiten) durchschnittlich fürs Heizen, Lüften und für die Warmwasserbereitung (inkl. Umwandlungswirkungsgrade) im Verlauf eines Jahres benötigt wird. Ein zulässiger Höchstwert wird für jeden Neubau - abhängig von Nutzfläche und Volumen des Gebäudes - vorgegeben.

**Jährlichkeit:** siehe Wiederholungszeitspanne.

## K

**KalypsoHydrology:** Niederschlag-Abfluss-Modell zur Berechnung des vollständigen landgebundenen Teils der globalen Wasserbilanz.

**Keimversuch:** Anzucht von Pflanzen unter standardisierten Bedingungen und vergleichende Bewertung zur Analyse ausgewählter Wirkfaktoren.

**Kelvin (K):** Basiseinheit der absoluten Temperatur (nach dem Internationalen Einheitensystem SI). Die absolute Temperatur, auch thermodynamische Temperatur, ist eine Temperaturskala, die sich auf den physikalisch begründeten absoluten Nullpunkt bezieht, welcher bei -273,15 °C liegt. Zudem wird Kelvin zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet. Das Kelvin ist so definiert, dass die Differenz zwischen zwei Temperaturwerten von einem Kelvin und einem Grad Celsius gleich groß sind (eine Temperaturänderung von 4° auf 5° entspricht genau einem Kelvin). Temperaturänderungen werden in Deutschland nach DIN 1345 in Kelvin angegeben, allerdings ist auch die Verwendung von °C erlaubt.

**Klarwasser / Kläranlagenablauf:** In deutschen Klärwerken gereinigtes Abwasser, welches zur abschließenden Entsorgung in den Vorfluter (z.B. Graben, Bach) abgeleitet wird.

**Klima:** Klima ist die statistische Beschreibung der physikalischen Zustände der Atmosphäre über einen zur Charakterisierung notwendig hinreichend langen Zeitraum (nach der Weltorganisation für

Meteorologie WMO 30 Jahre); es wird charakterisiert durch die statistische Verteilung (z. B. Mittelwerte, Häufigkeitsverteilungen, Extremwerte) meteorologischer Parameter (z. B. Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Strahlung, Wolkenbedeckung, Wind). Im Gegensatz zum Wetter wird das Klima durch physikalische, biologische und chemische Prozesse im gesamten Klimasystem bestimmt.

**Klimaänderung:** Klimaänderung liegt vor, wenn sich die Lage und/oder die Form der Häufigkeitsverteilung (also Mittelwert und/oder extreme Werte) von Klimaparametern signifikant verändern (siehe Klimavariabilität).

**Klimaarchiv:** Ein Klimaarchiv gibt Auskunft über die klimatische Vergangenheit, die Klimageschichte der Erde. Als Klimaarchiv wird somit alles bezeichnet, was Informationen über frühere Klimaverhältnisse speichert, z.B. Jahresringe von Bäumen, Sedimente aus Ozeanen und Seen, Eisbohrkerne.

**Klimafolgenmanagement:** Gesamtheit der Prozesse zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

**Klimaindizes:** Klimaindizes sind aus Klimaelementen, wie zum Beispiel Temperatur und Niederschlag, abgeleitete Kennwerte, die Zustand und Veränderungen des Klimasystems beschreiben. Ein Klimaindex beschreibt jeweils nur einen Aspekt des Klimas. Es gibt eine Vielzahl von Klimaindizes für verschiedene Fragestellungen (z.B. Sommertag). Teilweise existieren ähnliche oder identische Bezeichnungen für unterschiedliche Definitionen. Deshalb ist die Definition immer mit anzugeben.

**Klimamodell:** Ein Klimamodell bezeichnet hier eine numerische Abbildung des Klimasystems, die auf den physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen in seinen Komponenten Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Pedosphäre und Biosphäre und ihren Wechselwirkungen basiert. Das Klimasystem kann von Modellen unterschiedlicher Komplexität dargestellt werden. Für jeden Bestandteil oder eine Kombination von Bestandteilen kann ein Modellspektrum oder eine Modellhierarchie bestimmt werden, die sich in Aspekten unterscheidet wie der Anzahl der räumlichen Dimensionen, dem Ausmaß, in welchem physikalische, chemische oder biologische Prozesse explizit dargestellt werden, oder bis zu welchem Grad empirische Parametrisierungen verwendet werden. Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodelle gekoppelt mit Land, Boden und Biosphäre - sogenannte Erdsystemmodelle - bieten die bislang umfassendste Darstellung des Klimasystems. Klimamodelle werden als Forschungsinstrument verwendet, um das Klima zu untersuchen und Klimaprojektionen zu erstellen, aber auch für operationelle Zwecke, einschließlich monatlicher, saisonaler und jahresübergreifender Klimaprognosen (siehe Prognose).

**Klimaprojektion:** Klimaprojektionen sind Abbildungen möglicher Klimaentwicklungen für die nächsten Jahrzehnte und Jahrhunderte auf der Grundlage verschiedener Annahmen zur Entwicklung der

Bevölkerung, der menschlichen Kultur, der Technologie und der Wirtschaft und daraus folgender Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen in der Atmosphäre. Sie basieren meist auf Klimamodellsimulationen, die ausgehend von unterschiedlichen realistischen Ausgangsbedingungen für ein bestimmtes Emissionsszenario mehrere gleich wahrscheinliche Entwicklungen (siehe Realisierung) des Klimas abbilden.

**Klimasystem:** Das Klimasystem umfasst die Komponenten Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Pedosphäre, Litosphäre und Biosphäre sowie die Wechselbeziehungen zwischen diesen. Das Klimasystem verändert sich über die Zeit unter dem Einfluss seiner eigenen inneren Dynamik und durch externe Kräfte wie Vulkanausbrüche, solare Schwankungen sowie menschlich induzierte Einflüsse wie die Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre und der Landnutzung.

**Klimavariabilität:** Klimavariabilität bezeichnet die zeitlichen und räumlichen Schwankungen des Klimas um einen mittleren Zustand herum. Es werden freie (interne) und erzwungene (externe) Klimaschwankungen unterschieden. Interne Schwankungen im Klimasystem können durch Wechselwirkungen innerhalb eines Subsystems (z. B. Atmosphäre) oder Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Subsystemen (z. B. zwischen Atmosphäre und Ozean) auftreten. Externe Schwankungen können natürliche Ursachen haben, wie z. B. Erdrotation, Neigung der Erdachse, solare Variabilität, Vulkaneruptionen oder auf sehr langen Zeitskalen die Kontinentaldrift. Zum anderen können sie anthropogenen Ursprungs sein, wie durch Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen in die Atmosphäre oder Änderungen von Landnutzung und Landmanagement.

**Klimawandel:** Das Klima befindet sich in einem ständigen Wandel. Warm- und Kaltzeiten haben sich im Laufe der Erdgeschichte abgelöst und unterschiedliche klimatische Bedingungen auf der Erde geschaffen. Man unterscheidet zwischen dem natürlichen Klimawandel und dem anthropogenen (vom Menschen verursachten) Klimawandel.

**Kompensationswanderungen:** Durch klimatische Veränderungen ausgelöste Wanderungs- bzw. Ausbreitungsprozesse von Tieren und Pflanzen in Regionen, die an das aktuelle Verbreitungsgebiet angrenzen und günstigere Klimabedingungen für die jeweilige Art aufweisen.

**Kritische Infrastrukturen:** Organisationen und Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden.

**Kulturlandschaft:** Durch die Bewirtschaftung des Menschen entstandene Landschaft.



## L

**Limnisch:** Vom Süßwasser geprägt. Dabei werden die Flussmündungsbereiche (siehe Ästuar) sowohl der Limnologie als auch der Ozeanographie zugeordnet.

**Limnofauna:** Summe aller Tierarten, die zumindest zeitweise im nicht-salzigen Oberflächenwasser leben.

## M

**Marsch:** Durch Sedimentation entstandene Flächen entlang der Ästuar- und Meeresküsten. Es kann in eingedeichte Marschen, die besiedelt sind und meist landwirtschaftlich genutzt werden, und vor dem Deich liegende Marschen, die häufig keiner Nutzung unterliegen, unterschieden werden. In der Bodenkunde bezeichnet der Begriff Marsch eine unter Einfluss der Gezeiten entstandene Bodenklasse.

**mesophil:** Das Mittlere liebend, in der Ökologie die Bezeichnung für die Bevorzugung nicht extremer (mittlerer) Standortbedingungen meist in Bezug auf Temperatur und Feuchtigkeit.

**METRAS:** Mesoskaliges Transport- und Strömungsmodell. Ein allgemein verfügbares numerisches Atmosphärenmodell, dessen Entwicklung am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg koordiniert wird.

**Mikroklima:** Das Mikroklima beschreibt mittlere atmosphärische Zustände und wiederkehrende Phänomene in der bodennahen Luftschicht mit einer horizontalen Ausdehnung von wenigen Millimetern bis einigen Hundert Metern. Es bezieht sich meist auf ein bestimmtes Areal, wie z. B. Waldrandklima oder Bestandsklima innerhalb oder unmittelbar oberhalb eines Pflanzenbestandes. Es wird stark von den vorhandenen Oberflächen und deren Eigenschaften, wie Rauigkeit oder thermische Leitfähigkeit, bestimmt und kann damit über verschiedenen Oberflächen zu großen Unterschieden in z. B. Temperatur- oder Windverhältnissen führen.

**Mischsystem:** Gemeinsame Ableitung von Regenwasser und Schmutzwasser, z.B. aus Haushalten und Industrie, in einen Kanal, üblicherweise zur Behandlung in der Kläranlage.

**Mitigation:** Vermeidung und Minderung der Freisetzung von Treibhausgasen.

**MITRAS:** Mikroskaliges Transport- und Strömungsmodell. Ein allgemein verfügbares numerisches Atmosphärenmodell für die gebäudeauflösende Skala, dessen Entwicklung hauptsächlich am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg koordiniert wird.

**Modell:** Nachbildung der Realität unter vereinfachten Annahmen. Die gewählten Vereinfachungen bestimmen den Gültigkeitsbereich eines Modells und gehen maßgeblich in die Unsicherheit des Modells ein.

**Modellgebiet:** Ein Modellgebiet ist ein räumlicher Rahmen, in dem losgelöst von der gewohnten Praxis neue Konzepte, Sach- oder Verfahrenslösungen entwickelt und erprobt werden. Innovation wird dadurch erleichtert, dass die Gebiete als „einmalig“, „befristet“ oder „modellartig“ eingestuft werden. In KLIMZUG-NORD repräsentieren die Modellgebiete unterschiedliche Raumtypen, an denen exemplarisch die Betroffenheit durch den Klimawandel untersucht wird.

**Monitoring:** Monitoring bezeichnet die systematische und regelmäßige Erfassung von Zustandsgrößen eines Systems. In der Natur gehört neben der Aufzeichnung von Messwerten das Protokollieren von Randbedingungen dazu.

## N

**Nachhaltigkeit:** Nachhaltigkeit meint die langfristige und gleichzeitige Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension. Ziel ist eine integrative positive Entwicklung in diesen Dimensionen, damit die heutigen und zukünftigen Generationen gleiche Entwicklungsmöglichkeiten haben.

**No-Regret-Maßnahme:** Als No-Regret-Maßnahmen werden diejenigen Maßnahmen bezeichnet, die unabhängig vom Ausmaß der Klimaänderung auf jeden Fall einen umweltpolitischen und wirtschaftlichen Nutzen für die Gesellschaft mit sich bringen.

**Nutzbare Feldkapazität (nFK):** Für Pflanzen nutzbare Wassermenge, die ein Boden maximal gegen die Schwerkraft zurückhalten kann.

**Nutzerkomfort (Gebäudemanagement):** Allgemeines psychisches wie physisches Wohlbefinden im Innenraum und positive Raumwahrnehmung.

## O

**Oberflächenbedeckungen:** Eingabedaten für das numerische, meteorologische Modell METRAS. Diese sind charakterisiert durch die physikalischen Parameter Albedo, thermische Diffusivität, thermische Leitfähigkeit, Wasserverfügbarkeit, potenzielle Wasseraufnahmefähigkeit sowie die Rauigkeit.

**Oberwasserzufluss:** Abfluss an der Tidegrenze eines Wasserlaufes (DIN 4049-3).

**Ökologische Amplitude:** Die ökologische Amplitude beschreibt die Wertespanne eines Umweltfaktors, innerhalb derer ein Organismus oder eine Art lebensfähig ist. Dabei wird auch das Bestehen gegen vorhandene Konkurrenz vorausgesetzt.

**Ökosystemfunktionen:** Prozesse und Interaktionen in einem Lebensraum. Häufig werden unter diesem Begriff z.B. Prozesse der Speicherung von Nährstoffen und Kohlenstoff zusammengefasst.

**Ombrogen:** Der Begriff wird meist im Zusammenhang mit der Bildung von Hochmooren verwendet und kennzeichnet durch Niederschläge bzw. niederschlagsbedingte Feuchtigkeit entstandene Ökosysteme.

## P

**Partizipation:** Beteiligung an kollektiven Entscheidungen in Form von Bürger- und Öffentlichkeitsbeteiligung, zivilgesellschaftlichem Engagement und (betrieblicher) Mitbestimmung sowie öffentlich-privater Kooperation und gemeinsamer Entscheidungsfindung.

**Passive Klimatisierung:** Klimatisierung von Gebäuden oder auch Kraftfahrzeugen ohne Zuhilfenahme von Klimaanlageanlagen. Stattdessen werden beispielsweise bereits beim Bau oder beim Umbau von Gebäuden passende Materialien verwendet, die eine starke Aufheizung (bzw. Abkühlung im Winter) des Inneren verhindern helfen. Der größtmögliche Anteil des Kühlungs- und Wärmebedarfs wird somit aus passiven Quellen gedeckt.

**Perzentil:** Perzentile dienen dazu, die Verteilung einer großen Anzahl von Datenpunkten zu untersuchen. Der Wert des *i*. Perzentils ist dabei so definiert, dass *i* Prozent der Daten kleiner sind als der Wert des *i*. Perzentils. Beispiele: das 1. Perzentil der Tagesmitteltemperaturen im Winter in Hamburg beträgt ca. -8 °C. Das bedeutet, dass 1 % der Wintertage eine Tagesmitteltemperatur kleiner als -8 °C haben. Das 40. Perzentil der Tagesmitteltemperaturen im Winter beträgt ca. 0 °C. Daher haben 40 % der Wintertage eine Tagesmitteltemperatur kleiner als 0 °C.

**Phänologie:** Zeitliche Abfolge von im Jahresverlauf wiederkehrenden biologischen Erscheinungen / Ereignissen, z.B. Beginn der Blüte, Fruchtreife bei Pflanzen, Beginn und Dauer der Fortpflanzungszeit bei Tieren.

**Phase Change Materials:** Materialien zur Wärme- und Kältespeicherung als temperatenausgleichende Speichermasse von hoher Effektivität.

**Polder:** Zum Schutz gegen Überflutungen eingedeichte Niederung (Din 4047-2), siehe auch Überlaufpolder.

**Prognose:** Eine Prognose ist eine Vorhersage zukünftiger Ereignisse, Zustände oder Entwicklungen. Wetterprognosen sind möglich, da sich das Wetter hauptsächlich in der Atmosphäre abspielt und der Anfangszustand der Atmosphäre relativ gut bestimmbar ist; Klimaprognosen versuchen Vorhersagen des Klimas auf saisonaler, jahresübergreifender oder dekadischer Zeitskala. Da die Entwicklung des Klimas sehr stark von den Ausgangsbedingungen des Klimasystems abhängt, welche nur teilweise durch Messungen erfasst werden können, ist die Vorhersage der zukünftigen Entwicklung des Klimas nur schwer bis gar nicht möglich. Deshalb können auf der Zeitskala von mehreren Jahrzehnten und Jahrhunderten nur sogenannte Klimaprojektionen

erstellt werden, die unter der Annahme eines bestimmten Emissionsszenarios für unterschiedliche realistische Ausgangsbedingungen des Klimasystems mehrere gleich wahrscheinliche Entwicklungen (siehe Realisierung) des Klimas abbilden.

**Punkt-axiales Konzept:** Siedlungsstrukturelles Leitbild, das seinen Ursprung im Federplan von Fritz Schumacher für den Hamburger Raum hat. Raumstrukturell sieht das Konzept eine Begrenzung der Siedlungsentwicklung auf das Stadtzentrum und kleinere Zentren entlang von Entwicklungsachsen vor. Die Zentren verbinden Infrastrukturen entlang der Achsen. Die Bereiche zwischen den Entwicklungsachsen sind von Bebauung freizuhalten und bilden damit Grünkeile.

## R

**Realisierung:** Unter der Annahme eines bestimmten Emissionsszenarios können mehrere Klimasimulationen erstellt werden, die sich nur in den Anfangsbedingungen unterscheiden und gleich wahrscheinliche Entwicklungen des Klimas projizieren. Diese werden hier als Realisierung bezeichnet. Die Unterschiede in den zeitlichen Entwicklungen des Klimas beruhen auf interner Klimavariabilität.

**Redundanz:** Hier: Das Sichern des Weiterbestehens eines Systems bei Ausfall einer Komponente durch Verknüpfen sich ergänzender Komponenten.

**REMO:** Am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickeltes regionales Klimamodell, welches auf dem Europa Modell des Deutschen Wetterdienstes (DWD) basiert.

**Renaturierung:** Allgemeine Rückversetzung von Landschaften oder ihren Teilen, wie Bächen oder Gehölzgruppen, in einen naturnahen Zustand mit der Möglichkeit einer natürlichen, ungestörten Weiterentwicklung.

**Reproduktionserfolg:** Fortpflanzungserfolg.

**Risikomanagement / Risikoanalyse:** Risikomanagement in einem Projekt dient der Identifikation und der Abwehr von Risiken, die den Projekterfolg infrage stellen. Es umfasst im Rahmen der Risikoanalyse die Identifikation und Bewertung von Projektrisiken aller Art sowie die Entwicklung und Durchführung von Maßnahmen zur Risikobewältigung.

**Robustheit (von Klimaänderungen):** Das Klimasystem ist ein nichtlineares System, das keine exakten Vorhersagen zulässt. Klimaprojektionen versuchen, mögliche Klimaänderungen einzuschätzen. Die Robustheit der Klimaänderung ergibt sich aus der Stärke des Klimaänderungssignals und seiner Unsicherheit.

**Rote Liste:** Verzeichnis ausgestorbener, verschollener und gefährdeter Tier-, Pflanzen- und Pilzarten, Pflanzengesellschaften sowie Biotoptypen und Biotopkomplexe, in denen der Gefährdungsstatus



einer Art für einen bestimmten Bezugsraum dargestellt ist.

**Ruderalstandorte:** Von krautiger Vegetation besiedelte, stark durch den Menschen beeinflusste Standorte mit undifferenzierter Bodenstruktur wie Schutt- und Schotterfluren.

**Ruderalvegetation:** Spontane Vegetation anthropogen stark veränderter Standorte, die weder land- noch forstwirtschaftlich genutzt werden, aber oft starker Störung unterliegen.

## S

**Salinitätsgradient:** Zu- oder Abnahme des Salzgehalts (hier: des Wassers) entlang einer bestimmten Strecke.

**Schöpfwerk:** Wasserförderanlage für Entwässerungszwecke (DIN 4047-2).

**Sedimentationsrate:** Sedimentmenge, die innerhalb einer Zeiteinheit (z.B. ein Jahr) akkumuliert wird.

**Sensibilität:** Die Sensibilität eines Systems zeigt an, wie stark es auf klimatische Veränderungen reagiert. Beispielsweise könnten sich die Strukturen einer Volkswirtschaft oder eines Ökosystems verändern oder deren Funktionsweise beeinträchtigt oder gar zerstört werden.

**Sensitivität:** siehe Empfindlichkeit.

**Siel:** Bauwerk mit Verschlussvorrichtung zum Durchleiten eines oberirdischen Gewässers durch einen Deich (DIN 4047-2).

**Sky-View-Faktor:** Horizonteinengung in einer Straßenschlucht und damit der sichtbare Anteil des Himmels, der nicht von Gebäuden verdeckt ist.

**Sommertag:** Tag mit einer Höchsttemperatur größer / gleich 25 °C.

**Soziales Milieu:** Soziale Milieus sind Gruppen von Menschen, die sich in ihrer Lebensauffassung, ihren Wertprioritäten, den Prinzipien der Lebensführung, den Verhaltensweisen sowie ihren alltagsästhetischen Präferenzen ähneln. Sie ermöglichen eine differenziertere Merkmalsbeschreibung von Gesellschaften, die über eine Einteilung nach den demografischen Faktoren sowie Bildungsgrad, Beruf und Einkommen hinausgeht.

**Speichermasse:** Ein Gebäude in massiver Bauweise nutzt die Sonnenenergie optimal aus, weil Wände und Decken die Sonnenwärme speichern. Wird es kühler (z.B. nachts) wird die gespeicherte Wärme abgegeben. Die Speichermassen senken den Heizenergiebedarf im Winter und schützen im Sommer vor Überhitzung der Räume. Speichermasse entsteht aus der Addition aller massiven Bauteile eines Gebäudes (Umfassungswände, Fassadenelemente, Innenbauteile) und deren Wärmekapazität und

Dichte. Das dynamische Speicherverhalten (also die Geschwindigkeit des Ein- und Austrages) ist zusätzlich abhängig von der Wärmeleitfähigkeit.

**Spontane Vegetationsentwicklung:** Ohne Einfluss des Menschen auf unterschiedlichen Standorten aufgrund von Sameneintrag entstehende Vegetation.

**SRES-Szenarien:** (siehe Emissionsszenarien)

**Stadtklima:** Als Stadtklima wird das in einer Stadt gegenüber dem Umland veränderte Lokalklima bezeichnet. Die Bebauung, die Emission von Luftschadstoffen und die Abwärme können in Städten zu gegenüber dem Umland erhöhten Temperaturen und Schadstoffkonzentrationen, reduzierten Luftfeuchtigkeiten und Windgeschwindigkeiten sowie erhöhter Böigkeit führen.

**Stakeholder:** Personen oder Personengruppen, die von den betrachteten Auswirkungen betroffen sind. Sie haben ein begründetes Interesse an der Verbesserung ihrer Situation.

**Stakeholderkommunikation:** Maßnahmen, die einen Dialog zwischen Stakeholdern und beispielsweise einer Projektleitung ermöglichen (z.B. Veranstaltungen). Sie ermöglichen der Projektleitung, Meinungen und Stimmungsbilder zu erlangen, um die Projektsteuerung entsprechend anpassen und den Projektverlauf optimieren zu können.

**Standortfaktoren:** Im Ökosystem die Gesamtheit aller äußeren Lebensraumbedingungen für pflanzliche und tierische Organismen, also die unterschiedlichen abiotischen und biotischen Faktoren, die einen Standort prägen.

**Starkniederschlag:** Hier verwendeter Klimaindex als Tag mit einer Niederschlagshöhe größer gleich 20 mm (bzw. einer Niederschlagsmenge größer gleich 20 l/m<sup>2</sup>).

**Strategische Umweltprüfung (SUP):** siehe Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

**Sturmflut:** Durch starken Wind verursachtes Ansteigen des Wassers an den Meeresküsten und in den Flussmündungen im Küstengebiet, bei dem die Wasserstände einen bestimmten (festgelegten) Wert überschreiten (DIN 4049-3).

**Sturmflutscheitelwasserstand:** Höchster im Sturmflutzeitraum aufgetretener Wasserstand.

**subkontinentales Klima:** Klimatische Bedingungen im Übergangsbereich zwischen atlantischem Klima und kontinentalem Klima, das sich durch deutliche Temperaturschwankungen und -extrema im Jahresverlauf sowie geringe Niederschläge auszeichnet.

**Substrat:** (lat.: substratum = Unterlage) allgemein Nährmedium; der Boden oder das Material, auf dem ein Organismus lebt, in der Bodenkunde auch für das Ausgangsmaterial der Bodenbildung verwendet.

**SWOT-Analyse:** Methode zur Analyse und Bewertung einer Situation als Grundlage für eine darauf aufbauende Strategieentwicklung. Dazu werden die Schlüsselfaktoren, die für die Erreichung eines definierten Ziels wichtig sind, identifiziert und einer der vier Kategorien Stärken (Strengths), Schwächen (Weaknesses), Chancen (Opportunities) oder Risiken (Threats) zugeordnet.

**Szenarien (Anpassungs-, Entwicklungs-, Handlungsszenarien):** Szenarien sind plausible und begründbare Zukunftsbilder, die aus der gegenwärtigen Situation heraus systematisch entwickelt werden. Dazu werden alternative Entwicklungsmöglichkeiten der wesentlichen Einflussfaktoren erarbeitet, sodass sich schließlich durch deren Kombinationen verschiedene mögliche Zukunftsbeschreibungen ergeben.

## T

**Tideamplitude:** Größe des Unterschieds zwischen mittlerem Hoch- und mittlerem Niedrigwasser.

**Tidehochwasser Thw:** Höchster Wert der Tidekurve zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tnw (DIN 4049-3).

**Tidehub Thb:** Mittlerer Höhenunterschied zwischen Thw und den beiden benachbarten Tnw (DIN 4049-3).

**Tideniedrigwasser Tnw:** Niedrigster Wert der Tidekurve zwischen zwei aufeinanderfolgenden Thw (DIN 4049-3).

**Tidestieg:** Höhenunterschied zwischen einem Tnw und dem folgenden Thw (DIN 4049-3).

**Transdisziplinarität:** Transdisziplinarität ist ein Forschungsprinzip, das eine Weiterentwicklung des Konzeptes der Interdisziplinarität beschreibt. Es wird dort wirksam, wo eine allein fachliche oder disziplinäre Definition von Problemlagen und Problemlösungen nicht möglich ist. Sie stellt außerwissenschaftliche Probleme in den Mittelpunkt und ist damit ein Arbeits- und Organisationsprinzip, das problemorientiert über Fächer und Disziplinen hinausgreift.

**Transformation:** Nachhaltiger Umbau und damit die Veränderung des gesamten sozio-ökologischen Systems. Dazu zählen neben den Änderungen von Infrastrukturen, Produktionsprozessen, Lebensstilen und Regulierungssystemen auch ein neues Zusammenspiel von Politik, Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft.

**Transpiration:** Verdunstung von Wasser über die Spaltöffnungen der Pflanzen.

**Treibhauseffekt:** siehe Treibhausgase.

**Treibhausgase:** Gase in der Atmosphäre (natürlichen und anthropogenen Ursprungs), die einen Teil der langwelligen Ausstrahlung der Erdoberfläche

absorbieren und entsprechend ihrer Temperatur langwellige Strahlung emittieren. Der zur Erdoberfläche gerichtete Anteil erwärmt als atmosphärische Gegenstrahlung die Erdoberfläche. Diese Eigenschaft verursacht den Treibhauseffekt. Wasserdampf, Kohlendioxid, Lachgas, Methan und Ozon sind die Haupttreibhausgase in der Erdatmosphäre. Außerdem gibt es eine Anzahl von ausschließlich vom Menschen produzierte Treibhausgase in der Atmosphäre, wie die Halogenkohlenwasserstoffe und andere chlor- und bromhaltige Substanzen. Die von Menschen in die Atmosphäre emittierten Treibhausgase verursachen den zusätzlichen sogenannten anthropogenen Treibhauseffekt.

**Trend:** Ein Trend ist eine systematische Änderung einer Größe mit einer Grundtendenz zur Zunahme oder Abnahme der Größe. Optisch sichtbar wird ein Trend in einer graphischen Darstellung der betrachteten Werte. Belastbar sind nur signifikante Trends, bei denen mit statistischen Verfahren die Belastbarkeit der Zu- oder Abnahme bestimmt wird.

**Trennsystem:** Getrennte Ableitung von Regen- und Schmutzwasser (z.B. aus Haushalten und Industrie) in zwei Kanälen. Schmutzwasser wird zur weiteren Behandlung z.B. in eine Kläranlage abgeleitet, das Regenwasser wird möglichst ortsnahe in ein Gewässer eingeleitet.

**Tropennacht bzw. Tropentag:** Hier verwendeter Klimaindex als Tag (bzw. Nacht), an dem (bzw. in der) die bodennahe Lufttemperatur 20 °C nicht unterschreitet.

**Trübungszone:** Zone in Ästuaren, geprägt durch Akkumulation von Schwebstoffen.

## U

**Überlauf:** Gezielte Entlastung von Mischwasserkanalnetzen bei starken Regenereignissen, bei denen an geeigneten Stellen Mischwasser in Gewässer eingeleitet wird.

**Überlaufpolder:** Polder, der durch einen Überlaufdeich nur gegen niedrige Hochwasser geschützt ist (DIN 4047-2).

**Überstau:** Austritt von Wasser aus dem Kanalnetz durch Überlastung, z.B. aufgrund eines starken Regenereignisses.

**Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) und Strategische Umweltprüfung (SUP):** Die Umweltverträglichkeitsprüfung und die Strategische Umweltprüfung stellen die Umweltprüfungen zur Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen auf die Umwelt (§ 1 Nr. 1 UVPG) von öffentlichen und privaten Vorhaben (UVP) und bestimmten Plänen und Programmen (SUP) dar.

**UNESCO-Biosphärenreservat:** UNESCO-Biosphärenreservate sind Gebiete, die im Rahmen des 1970 ins Leben gerufenen UNESCO-Programms „Der



Mensch und die Biosphäre (MaB)“ anerkannt wurden. Sie folgen dem Anspruch, als Modellregionen für nachhaltige Entwicklung zu einem Ausgleich der ökonomischen, sozialen und kulturellen Interessen mit den Erfordernissen eines intakten Naturhaushalts beizutragen. Das Weltnetz der UNESCO-Biosphärenreservate besteht aktuell aus 621 Gebieten in 117 Staaten.

**Unsicherheit:** Bezeichnet Unklarheit über einen gegenwärtigen oder zukünftigen Sachverhalt. Unsicheres Wissen kann in Nicht-Wissen und umstrittenes Wissen unterteilt werden und kann viele Ursachen haben, unter anderem fehlerhafte Daten, mehrdeutig formulierte Konzepte und Terminologien, unterschiedliche Interpretationen und Bewertungen von Fakten. Die Vorhersage des Verhaltens von komplexen Systemen (z.B. Klimasystem oder Menschen) ist prinzipiell immer mit Unsicherheit verbunden.

## V

**Vegetationszeit (auch Vegetationsperiode oder Wachstumszeit):** Zeitabschnitt des Jahres, in dem die Pflanzen fotosynthetisch aktiv sind.

**Verfeinerung (statistische und statistisch-dynamische):** Methodik zur Verfeinerung von Klimamodellergebnissen. Ein statistischer Zusammenhang zwischen großskaligen Größen (z.B. Luftdruck) und einer kleinskaligen meteorologischen Zielgröße (z.B. Temperatur oder Wärmeinsel) wird hergestellt. Mithilfe der großskaligen Größen, welche aus den Klimamodellergebnissen extrahiert werden, kann die Klimatologie der kleinskaligen Zielgröße bestimmt werden. Die statistisch-dynamische Verfeinerung (SDV) ist ein Verfahren zur Verfeinerung von Klimamodellergebnissen. Ausgewählte Wetterlagen, welche für die meteorologische Zielgröße (z.B. Temperatur oder Wärmeinsel) repräsentativ sind, werden mittels eines hochaufgelösten meteorologischen Modells simuliert. Diese Simulationsergebnisse werden mit der Häufigkeit der jeweiligen Wetterlagen gewichtet, um das statistische Verhalten der Zielgröße zu bestimmen.

**Versiegelung:** Durch Wohn-, Industrie- und Verkehrsbauten wasserundurchlässig befestigte Flächen.

**Verwundbarkeit, Verletzlichkeit, Vulnerabilität:** bezeichnet die Anfälligkeit eines Systems für Schädigungen durch den Klimawandel. Faktoren sind u.a. Empfindlichkeit und Anpassungskapazität des jeweiligen Systems.

**Vorland:** Über dem mittleren Tidehochwasser (MThw) liegendes Gelände zwischen Gewässerbett und Deich, Düne oder Hochufer (DIN 4047-2).

## W

**Wärmeinsel (städtische):** Meteorologisches Phänomen, welches die innerhalb von Städten gegenüber dem ländlichen Umland höheren Temperaturen vor allem in den Abend- und Nachtstunden beschreibt.

**Wärmeinselintensität:** Maß für die Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland. Dieses kann auf verschiedene Weise definiert werden. In diesem Bericht wird sie als Differenz zwischen den Temperaturen in Hamburg und den Temperaturen an den Umlandstationen des Deutschen Wetterdienstes Grambek und Ahrensburg definiert.

**Wasserdargebot:** Die für einen bestimmten Zeitraum ermittelte oder zu erwartende nutzbare Wassermenge aus Grundwasser und Oberflächenwasser. Diese repräsentiert eine mehr oder weniger limitierte Wasserressource, die als Wasserdargebotspotenzial ausgewiesen wird (meint hier die für eine Entnahme durch die Feldberegnung zur Verfügung stehende Teilmenge).

**Wasserkreislauf (städtischer):** Für städtische Gebiete aufgrund von Versiegelung vorherrschender Abfluss des Niederschlagswassers in die Kanalisation.

**Wassernutzungseffizienz:** Erzeugte Biomasse (oder Ertrag) pro insgesamt verbrauchter Wassereinheit (kg/l), in Bezug auf Bewässerung: Mehrertrag pro Einheit Zusatzwasser gegenüber fehlender Bewässerung (kg/mm).

**Wetter:** Das Wetter ist der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort und wird charakterisiert durch messbare Parameter wie z. B. Lufttemperatur, Luftdruck und Niederschlag.

**Wiederholungszeitspanne oder Wiederkehrintervall:** Mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert entweder einmal erreicht oder überschreitet (DIN 4049-1).

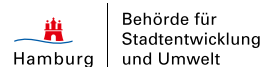




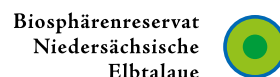
# 11 Am Kursbuch beteiligte Autorinnen und Autoren und Institutionen

**BAL – Büro für Angewandte Limnologie**  
Dr. Herbert Reusch

**Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt**  
Amt für Natur- und Ressourcenschutz  
Helga Schenk



**Biosphärenreservatsverwaltung Niedersächsische Elbtalaue**  
Leitung:  
Prof. Dr. Johannes Prüter  
Mitarbeit:  
Dipl.-Umweltwiss. Tobias Keienburg  
Dipl.-Ing. Landsch.-ökol. Christiane Schreck



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Dr.-Ing. Annette Büscher  
Dr. Norbert Winkel



**Fachhochschule Lübeck**  
Institut für Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen  
Leitung:  
Prof. Dipl.-Ing. Georg Conradi  
Mitarbeit:  
Dipl.-Ing. Steffen Slama



**Forschungszentrum Jülich GmbH**  
Institut für Bio- und Geowissenschaften  
Dr. Frank Wendland  
Dr.-Ing. Frank Herrmann



**HafenCity Universität Hamburg**  
Fachgebiet Bauphysik  
Leitung:  
Prof. Dr. rer. nat. Udo Dietrich  
Mitarbeit:  
Dipl.-Ing. (FH) Lydia Ax



Fachgebiet Landschaftsarchitektur  
Leitung:  
Prof. Dipl.-Ing. Christiane Sörensen  
Mitarbeit:  
Dipl.-Ing. Anne Kittel

Fachgebiet Recht und Verwaltung  
Leitung:  
Prof. Dr. Martin Wickel  
Mitarbeit:  
Ass. jur. Nelly Morgenstern

Fachgebiet Stadtplanung und Regionalentwicklung  
Leitung:  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Knieling  
Mitarbeit:  
Dipl.-Ing. Martin Krekeler  
M.Sc. Nancy Kretschmann  
Dipl.-Ing. Lisa Kunert  
Dipl.-Ing. Sonja Schlipf  
Dipl.-Ing. Thomas Zimmermann

Fachgebiet Umweltgerechte Stadt- und Infrastrukturplanung  
Leitung:  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut  
Mitarbeit:  
Dipl.-Ing. Elke Kruse

**Hamburg Wasser**

Grundlagen und Systementwicklung

Dr. Nina Hüffmeyer

Dipl.-Ing. Andreas Kuchenbecker

**Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH (HWWI)**

Dr. Julia Kowalewski

Dr. Sven Schulze

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg**

Büro Forschung &amp; Transfer

Dr. Christoph Porschke

Lothar Hartmann

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences**Fakultät Life Sciences**

Leitung:

Prof. Dr. Susanne Heise

Mitarbeit:

Dr. Pei-Chi Hsu

**IBA Hamburg GmbH**

M.Eng. Caroline König

**Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein**

Frerk Jensen

Sabine Mahner

Manuel Gröschel

**Landwirtschaftskammer Niedersachsen**

Bezirksstelle Uelzen

Leitung:

Dr. Jürgen Grocholl

Mitarbeit:

Dipl.-Geogr. Enno Eiben

Dipl.-Ing. agr. Alix Mensching-Buhr

Dipl.-Geogr. Imke Mersch

Dipl.-Ing. agr. Elisabeth Schulz

Dipl.-Geogr. Monika von Haaren

**Obstbauversuchsanstalt Jork**

Dr. Roland Weber

**Geschäftsbereich Landwirtschaft, Hannover**

Dipl.-Ing. agr. Angela Riedel

**Leuphana Universität Lüneburg**

Fakultät Nachhaltigkeit, Institut für Ökologie

Leitung:

Prof. Dr. Brigitte Urban

Mitarbeit:

Dipl.-Biol. Frank Krüger

Dr. rer. nat. Karin Schmelmer

M.Sc. Mario Tucci

**Fakultät Nachhaltigkeit, Institut für Ökologie**

Leitung:

Prof. Dr. Werner Härdtle

Mitarbeit:

Dipl.-Umweltwiss. Maren Meyer-Grünefeldt



## Fakultät Nachhaltigkeit

Leitung:

apl. Prof. Dr.-Ing. Karsten Runge

Mitarbeit:

Dipl.-Geogr. Elena Rottgardt

## Fakultät Umwelt und Technik

Dr. Christine Katz

## Max-Planck-Institut für Meteorologie und Climate Service Center Hamburg

Leitung:

Dr. Daniela Jacob

Mitarbeit:

Dipl. Geogr. Juliane Petersen

Dr. Diana Rechid



Max-Planck-Institut  
für Meteorologie



## Technische Universität Hamburg-Harburg

Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz

Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Otterpohl

Mitarbeit:

Dipl.-Ing. Wibke Meyer



## Institut für Wasserbau

Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle

Mitarbeit:

Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Sandra Hellmers

Dipl.-Ing. Natasa Manojlovic

Dipl.-Ing. Edgar Nehlsen

Dipl.-Ing. Giovanni Palmaricciotti

Dipl.-Ing. Suleman Shaikh

Dipl.-Ing. Frederik M. Treuel

## Institut für Wasserressourcen und Wasserversorgung

Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Schneider

Mitarbeit:

Dipl.-Ing. Anna-Gesa Meier

Dipl.-Geol. Joachim Palm

Dipl.-Ing. Moritz Scharnke

Dr. Heinke Stöfen

## TuTech Innovation GmbH

Jürgen Becker

Dipl.-Soz. Birgit Hohberg

Tobias Kirschner

Dipl.-Soz. Rolf Lührs



## Universität Hamburg

FB Biologie, Biozentrum Grindel und Zoologisches Museum

Leitung:

Prof. Dr. Ralf Thiel

Dr. Julian Glos

Dr. Veit Hennig

Mitarbeit:

Dipl.-Biol. Dennis Eick

Dr. Victoria Magath

Mag. Biol. Julia Stockinger

Dipl.-Biol. Esther Verjans



Universität Hamburg  
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

FB Biologie, Biozentrum Klein Flottbek und Botanischer Garten

Leitung:

Prof. Dr. Kai Jensen

Mitarbeit:

Dipl.-Geoökol. Christian Butzeck

Dipl.-Biol. Kristin Ludewig

Dr. Hans-Helmut Poppendieck

Dr. Katharina Schmidt

Dr. Sebastian Schmidt

Dipl.-Geogr. Wiebke Schoenberg

FB Geowissenschaften, Institut für Bodenkunde

Leitung:

Prof. Dr. Eva-Maria Pfeiffer

Mitarbeit:

Dr. Claudia Fiencke

Dr. Marion Vanselow-Algan

FB Geowissenschaften, Institut für Geographie

Leitung:

Prof. Dr. rer.nat. Jürgen Oßenbrügge

Mitarbeit:

M.Sc. Sabine Schempp

FB Geowissenschaften, Meteorologisches Institut

Leitung:

Prof. Dr. Bernd Leidl

Prof. Dr. K. Heinke Schlünzen

Mitarbeit:

Dr. Peter Hoffmann

Dipl.-Ing. Frieso Kipsch

Dipl.-Met. Marita Linde

Dr. Mohamed Salim

Dr. Robert Schoetter

FSP BIOGUM

Leitung:

Prof.Dr. Volker Beusmann

Dr.-Ing. Manuel Gottschick

Mitarbeit:

Dipl.-Umweltwiss. Juliane Ette

Dr. Jürgen Schaper



## KLIMZUG-NORD Kursbuch und Berichte aus den Modellgebieten

Im „Kursbuch Klimaanpassung. Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg“ sind die wesentlichen Ergebnisse des fünfjährigen Verbundvorhabens KLIMZUG-NORD zusammengefasst. Das Kursbuch wird begleitet und ergänzt von sechs Berichten aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, die vertiefende Informationen liefern.

KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.) (2014): Kursbuch Klimaanpassung.  
Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg,  
TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-66-0

Rechid, Diana; Petersen, Juliane; Schoetter, Robert; Jacob, Daniela (2014): Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 1, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-67-7

Kruse, Elke; Zimmermann, Thomas; Kittel, Anne; Dickhaut, Wolfgang; Knieling, Jörg; Sörensen, Christiane (Hrsg.) (2014): Stadtentwicklung und Klimaanpassung: Klimafolgen, Anpassungskonzepte und Bewusstseinsbildung beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der Wandse, Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 2, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-68-4

Nehlsen, Edgar; Kunert, Lisa; Fröhle, Peter; Knieling, Jörg (Hrsg.) (2014): Wenn das Wasser von beiden Seiten kommt – Bausteine eines Leitbildes zur Klimaanpassung für Elmshorn und Umland. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 3, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-69-1

Schlünzen, K. Heinke; Linde, Marita (Hrsg.) (2014): Wilhelmsburg im Klimawandel. Ist-Situation und mögliche Veränderungen. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 4, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-70-7

Prüter, Johannes; Keienburg, Tobias; Schreck, Christiane (Hrsg.) (2014): Klimafolgenanpassung im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue – Modellregion für nachhaltige Entwicklung. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 5, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-71-4

Urban, Brigitte; Becker, Jürgen; Mersch, Imke; Meyer, Wibke; Rechid, Diana; Rottgardt, Elena (Hrsg.) (2014): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 6, TuTech Verlag, Hamburg.  
ISBN: 978-3-941492-72-1

Stürme und Sturmfluten, starke Niederschläge und Überschwemmungen, Hitze und Gewitter im Sommer und Eisregen im Winter: Diese Wetterkapriolen beeinträchtigen schon heute Leben und Arbeiten in der Metropolregion Hamburg. Mit dem Klimawandel können sie immer häufiger auftreten. Wie wird sich der Klimawandel in unserer Region manifestieren, welche Auswirkungen wird er haben und wie kann sich unsere Gesellschaft an die Folgen des Klimawandels anpassen? KLIMZUG-NORD hat Antworten auf diese Fragen erarbeitet und die Ergebnisse in dem nun vorliegenden Kursbuch zusammengefasst.

Das Kursbuch will Denkanstöße auch für unkonventionelle Lösungswege geben und den Kurs einer klimaangepassten zukünftigen Entwicklung skizzieren. Um diesen Kurs einzuschlagen, ist mehr politisches Gewicht für Klimaanpassung erforderlich, müssen neue Siedlungskonzepte für ein Leben mit dem Wasser umgesetzt und breite gesellschaftliche Allianzen geschmiedet werden. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist eine Mammutaufgabe – beteiligen Sie sich jetzt an deren Bewältigung! Stöbern Sie in dem Kursbuch, diskutieren Sie mit Kolleginnen und Kollegen, politisch Verantwortlichen, Ihrem Freundeskreis und mit Ihrer Familie und bringen Sie so die Klimaanpassung in unserer Region auf einen guten Kurs!

Das Verbundprojekt KLIMZUG-NORD wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die Freie und Hansestadt Hamburg und die Metropolregion Hamburg.

Gefördert durch das



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



ISBN: 978-3-941492-66-0