REKLIM Report

Helmholtz-Verbund
Regionale Klimaänderungen

September 2015

Regionale Klimaänderungen – Ursachen und Folgen

Im Fokus

- Schnelle Klimaänderungen aus Proxy-Daten
- Klimawandel und Luftqualität
- Risikoabschätzungen und Risikomanagement für Klimaanpassungsstrategien

Weitere Themen im Report:

Aktuelle Aktivitäten im Helmholtz-Forschungsverbund REKLIM

Digitale Produkte der regionalen Helmholtz-Klimabüros

HELMHOLTZ | GEMEINSCHAFT

Herausforderung Klimawandel

Klimaforschung im Verbund

Nach erfolgreicher Evaluierung der REKLIM-Initiative „Regionale Klimaänderungen“ im Jahr 2013 ist der im Jahr 2009 gegründete Forschungsverbund im Rahmen der programmorientierten Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft als Querschnittsverbund für den Zeitraum 2014 – 2018 bestätigt worden. Dies war Anlass, im Oktober 2014 eine große internationale Wissenschaftskonferenz zum Thema „Our Climate – Our Future; Regional Perspectives on a Global Challenge“ zu veranstalten, an der insgesamt 340 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 28 Nationen teilgenommen haben.

Der REKLIM-Verbund hat sich nun für die zweite Förderperiode inhaltlich neu ausgerichtet und die ursprünglich zehn Themen zu insgesamt acht Themenfeldern verschmolzen. Anlass hierfür war das Auslaufen der in 2010 im Rahmen eines Helmholtz Portfolioprozesses zusätzlich eingeworbenen Finanzierung, die eine Erweiterung des Forschungsverbundes um die Themenfelder „Schnelle Klimaänderungen aus Proxy-Daten“, „Klimawandel und Luftqualität“ und „Risikoabschätzungen und Risikomanagement für Klimaanpassungsstrategien“ ermöglichte. Diese Themenfelder sind in Zusammenarbeit mit neun universitären Partnern gestaltet und erfolgreich bearbeitet worden. Mit Auslaufen der Förderphase werden die Themen nun vollständig integriert und bilden das gemeinsame Gerüst des Verbundes.

Die neue Ausgabe der REKLIM-Broschüre erscheint somit auch in einem neuen Design. Nach der ersten Übersichtsbroschüre und insgesamt drei REKLIM-Newsletter geht sie nun als REKLIM-Report an den Start, um in den kommenden Jahren über wichtige Erkenntnisse und Ergebnisse des REKLIM-Verbundes zu berichten. Dabei werden mit dem neuen Bereich „IM FOKUS“ Themen aufgegriffen, die Aspekte der aktuellen Forschung in größerer Ausführlichkeit präsentieren sollen. In diesem Jahr wird den drei Portfoliothemen diese Gelegenheit gegeben.

Neben den Forschungsschwerpunkten wird der REKLIM-Report jedoch auch weiterhin über praktische Ergebnisse und Produkte berichten, die im Rahmen des Verbundes entwickelt wurden und als Portale, Broschüren oder Ratgeber den gesellschaftlichen Akteuren zur Verfügung gestellt werden, um sich über regionale Auswirkungen des Klimawandels zu informieren oder sie als praktisch umsetzbare Empfehlungen zu verwenden. In dieser Ausgabe sind dies die Produkte, die über unsere regionalen Klimabüros entwickelt und angeboten werden: „Norddeutscher Klimamonitor“, „meereisportal.de“, „Dürremonitor“ und die „Dein Klima“ - App.

Das Jahr 2015 wird im Rahmen der Klimaaufzeichnungen eine herausragende Position einnehmen: bereits zum Ende des Sommers steht fest, dass es wahrscheinlich das weltweit wärmste Jahr seit Datenaufzeichnung werden könnte. In Deutschland stellt sich 2015 als Jahr mit einer gestiegenen Zahl an Hitzetagen (Temperaturen größer 30 °C) dar, mit ausgedehnten Dürreperioden und Trockenstress, die die Landwirtschaft vor große Herausforderung stellt, lokalen Extremereignissen mit Niederschlägen sowie ungewöhnlichen Sturmereignissen im Frühjahr und Sommer. Die Auswirkungen des Klimawandels werden zunehmend sicht- und spürbarer, und die hierdurch hervorgerufenen Kosten steigen! Im Dezember 2015 findet in Paris die 21. UN-Klimakonferenz statt, bei der es um eine verbindliche Festlegung von CO_2-Reduktionszielen und die Vereinbarung von Klimaschutzzielen geht. Diese ist eine enorme, gemeinsame Herausforderung für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, an der jeder durch seinen Beitrag und sein Handeln mitwirken kann, um sie zu einem spürbaren Erfolg führen zu können.

Prof. Dr. Peter Lemke (AWI)
Leiter des Helmholtz-Verbundes REKLIM

AWI | DLR | FZJ | GEOMAR | GFZ | HMGU | HZG | KIT | UFZ

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Forschungszentrum Jülich
GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum
Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
Helmholtz-Zentrum Geesthacht - Zentrum für Material- und Küstenforschung
Karlsruher Institut für Technologie
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

BETEILIGTE UNIVERSITÄRE PARTNER

Europa-Universität Viadrina (EUV)
Universität Bremen (UHB)
Universität Heidelberg (UHD)
Universität Hamburg (UHH)
Universität zu Köln (UK)
KIT - Universitätsbereich (UKA)
Universität Leipzig (UL)
Technische Universität München (TUM)
Universität Potsdam (UP)

Impressum

Koordinierungsstelle Helmholtz-Verbund REKLIM
Wissenschaftlicher Koordinator:
Prof. Dr. Peter Lemke (AWI)
Geschäftsführer:
Dr. Klaus Grosfeld (AWI)
Koordinationsassistentin:
Marietta Weigelt (AWI)

Kontakt für Anfragen:
Alfred-Wegener-Institut
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

Dr. Klaus Grosfeld
Tel.: 0471-4831-1765
E-mail: Klaus.Grosfeld@awi.de

Dipl.-Geogr. Marietta Weigelt
Tel.: 0471-4831-1750
E-Mail: Marietta.Weigelt@awi.de

www.reklim.de
E-mail: info@reklim.de

Herausgeber:
Helmholtz-Verbund REKLIM, 2015

Texte und Abbildungen:
Mitglieder des Helmholtz-Verbundes REKLIM

Redaktion und Konzeption:
Prof. Dr. Peter Lemke (AWI)
Dr. Klaus Grosfeld (AWI)
Dipl.-Geogr. Marietta Weigelt (AWI)

Copyright:
Alfred-Wegener-Institut
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

Sprecher- und Sprecherinnen der Themenschwerpunkte:

Thema 1: Prof. Dr. Klaus Dethloff (AWI),
Dr. Burkhardt Rockel (HZG)
Thema 2: Dr. Klaus Grosfeld (AWI),
Dr. Ingo Sasgen (AWI)
Thema 3: Dr. Birgit Heim (AWI),
Dr. Torsten Sachs (GFZ)
Thema 4: Prof. Dr. Hans Peter Schmid (KIT),
Dr. Andreas Marx (UFZ)
Thema 5: Prof. Dr. Peter Braesicke (KIT),
PD Dr. Martin Schultz (FZJ)
Thema 6: PD Dr. Michael Kunz (KIT),
Dr. Frauke Feser (HZG)
Thema 7: Prof. Dr. Reimund Schwarze (UFZ),
Prof. Dr. Beate Ratter (HZG)
Thema 8: Prof. Dr. Ralf Tiedemann (AWI),
Prof. Dr. Achim Brauer (GFZ)
Thema 9: Prof. Dr. Peter Braesicke (KIT),
PD Dr. Martin Schultz (FZJ)
Thema 10: Prof. Dr. Beate Ratter (HZG),
Prof. Dr. Reimund Schwarze (UFZ)
Sprecherinnen der Regionalen Helmholtz Klimabüros:
Dr. Insa Meinke (HZG)
Dr. Renate Treffeisen (AWI)

Gestaltung:
KLEMM BREMEN.DE
Koordinierungsstelle REKLIM

Druck:
Girzig+Gottschalk GmbH, Bremen
www.girzig.de

Inhalt

	1	Gekoppelte Modellierung regionaler Erdsysteme	4
	2	Meeresspiegeländerungen von globaler zu regionaler und lokaler Skala	6
	3	Regionale Klimaänderungen in der Arktis	8
	4	Landoberflächen im Klimasystem	10
	5	Atmosphärische Zusammensetzung und Klima: Wechselwirkungen von globalen zu regionalen Skalen	12
	6	Modellierung und Verständnis extremer meteorologischer Ereignisse	14
	7	Risikoanalyse und Risikomanagement für integrierte Klimastrategien	16
IM FOKUS	8	Schnelle Klimaänderungen aus Proxy-Daten	18
IM FOKUS	9	Klimawandel und Luftqualität	22
IM FOKUS	10	Risikoabschätzungen und Risikomanagement für Klimaanpassungsstrategien	26
		Digitale Produkte der regionalen Helmholtz-Klimabüros	30
		Referenzen, Autoren und Fotonachweise	32

AWI | GEOMAR | HZG | KIT | UFZ

1 Gekoppelte Modellierung regionaler Erdsysteme

Wie hängt die Entwicklung des Klimas von der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre-Ozean-Eis und Landoberflächen ab? Welchen Einfluss haben natürliche und anthropogene Prozesse?

Motivation

Die Entwicklung von regionalen Klimamodellen mit hoher Auflösung in der Arktis, Europa und Deutschland erlaubt die Verbesserung von kleinskaligen Parametrisierungen für wichtige Prozesse im Klimasystem, wie Strahlung, Turbulenz, Konvektion und gekoppelte Rückkopplungsprozesse zwischen Atmosphäre, Ozean, Meereis und Landprozessen mit dem Ziel, Beobachtungsdaten genauer zu interpretieren und die Ursachen von beobachteten Änderungen zu verstehen. Damit wird auch ein wichtiger Mehrwert zur Verbesserung globaler Wettervorhersagemodelle und von Klimamodellen geleistet.

Arktische Klimarückkopplungen in einem gekoppelten Atmosphäre-Land-Permafrostmodell

Das polare Klima der Arktis hängt sehr empfindlich von den Wechselwirkungen zwischen der Landoberfläche und der Atmosphäre ab. Insbesondere die im Sommer oberflächennah auftauenden Dauerfrostböden (Permafrostböden) beeinflussen den Energie und Gasaustausch erheblich. Um die regionalen Klimarückkopplungsprozesse zwischen der Atmosphäre und dem im Winter gefrorenen und im Sommer auftauenden Permafrostboden realistischer beschreiben zu können, wurde das am AWI-Potsdam entwickelte regionale Atmosphärenmodell HIRHAM5 mit dem Landoberflächen-Permafrostmodell CLM4 des National Center for Atmospheric Research (NCAR) gekoppelt. Das neue Modellsystem verbessert die Simulation von Schlüsselprozessen an der Landoberfläche und den Temperaturverlauf im Permafrostboden als Folge der verbesserten Repräsentation des Wärmetransports durch die sich jahreszeitlich verändernde Schneedecke und die Wärmeleitung im Boden.

Abbildung 1.1 stellt die über den Zeitraum Januar 1979 bis Dezember 1984 monatlich gemittelte Temperatur im Boden bis zu einer Tiefe von 3 m in einer gekoppelten Simulation und Temperaturmessungen an 70 russischen Beobachtungsstationen gegenüber. Die Simulationsergebnisse für den Bereich der russischen Beobachtungsstationen zeigen, dass der Jahreszyklus vom Modell recht gut wiedergegeben ist: Gefriertemperaturen von Mitte Oktober bis Mitte April und aufgetauter Boden mit positiven Temperaturen von Mai bis Oktober. Jedoch sind die simulierten oberen Bodentemperaturen im Sommer im Vergleich zu den gemessenen Temperaturen zu kalt. Die Prozesse an der Landoberfläche beeinflussen die atmosphärische Temperatur, den Luftdruck, die Wolkenbedeckung und die vertikalen turbulenten Strahlungs- und Wärmeflüsse. Als Folge von Wolkenänderungen und der damit veränderten lang- und kurzwelligen Strahlung sind die Lufttemperaturen im Sommer in dem neuen gekoppelten Modell dadurch niedriger, als in dem bisher verwendeten Klimamodell (ECHAM5). Dies weist auf die besonders sensitive Rolle von Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Landprozessen durch kleinskalige vertikale Wärme- und Feuchteflüsse für Klimaänderungen hin. Die beschriebenen lokalen und regionalen Rückkopplungen beeinflussen natürlich die atmosphärischen Luftdruck- und Zirkulationsmuster. Um diese besser zu verstehen, wurden längere gekoppelte Simulationen von 1979 bis 2015 mit seitlichem Randantrieb durch Reanalysedaten des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage gestartet.

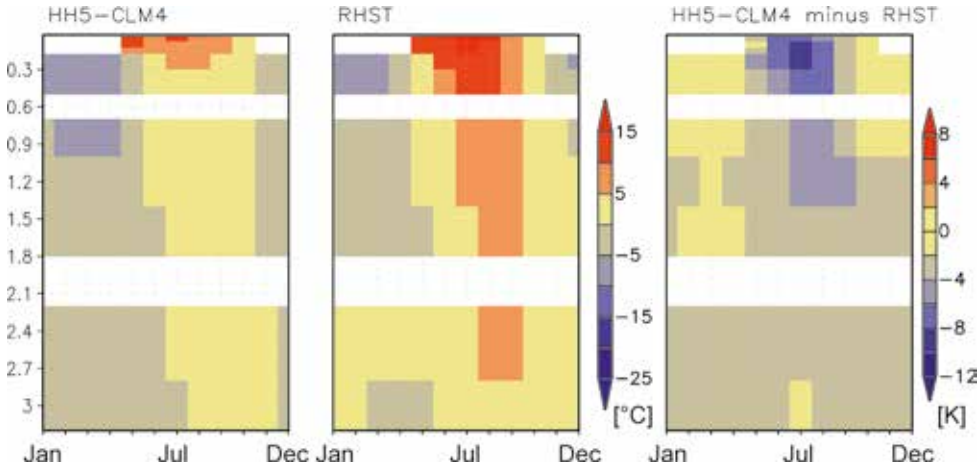

Abb. 1.1: Monatlich gemittelte Bodentemperaturen von Januar 1979 bis Dezember 1984 (°C) im gekoppelten regionalen Atmosphäre-Landoberflächenmodell HIRHAM5-CLM4, in Stationsdaten (historisches russisches Beobachtungsnetz RHST) und die Differenz von Modellergebnissen und Beobachtungsdaten. (Grafik: Heidrun Matthes, AWI)

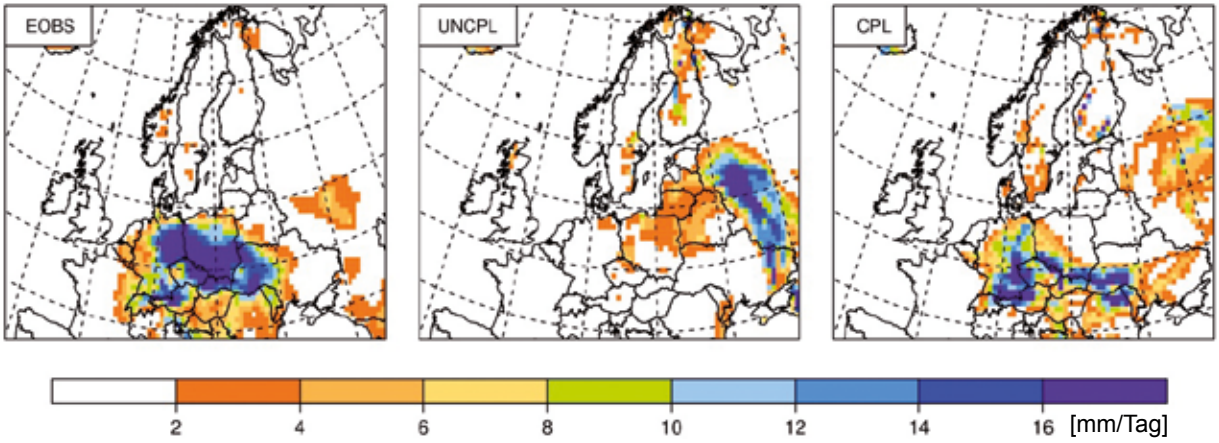

Abb. 1.2: Niederschlag in mm/Tag für den Zeitraum 18. - 20. Juli 1997. Links: Beobachtungen (EOBS Datensatz), Mitte: ungekoppeltes Atmosphärenmodell, Rechts: Gekoppeltes Atmosphäre-Ozean-Modell (Austausch von Zustandgrößen). (Grafik: Ha Hagemann, HZG)

Atmosphäre-, Ozean- und Meereisrückkopplungen

Mit dem gekoppelten regionalen Atmosphäre-Eis-Ozean-Modell COSTRICE für die Nord- und Ostseeregion wurden die Wechselwirkungen und Rückkopplungen zwischen Atmosphäre und Ozean mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Kopplungsverfahren untersucht. Die erste Methode realisiert die Kopplung der einzelnen Modelle über den Austausch von Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur und Wind. Diese werden vom Atmosphärenmodell an das Ozeanmodell übergeben, in dem die daraus resultierenden Energieflüsse berechnet werden. Das zweite Verfahren verwendet hauptsächlich den Austausch von Energieflüssen. Hier werden Oberflächenstrahlung und Wärmeflüsse vom Atmosphären- zum Ozeanmodell übertragen, mit Ausnahme der ausgehenden terrestrischen Strahlung, die im Ozeanmodell mittels Meeresoberflächentemperatur berechnet wird. Erste Ergebnisse zeigten, dass die Kopplung von Atmosphäre und Ozean (nur Nord- und Ostsee werden hier gekoppelt) bei beiden Kopplungsmethoden nur schwache Auswirkungen auf langzeitliche Klimasimulationen hat. Ein Beispiel hierfür ist die Oderflut im Juli 1997, durch die eine der stärksten Überschwemmungen in Mitteleuropa im 20. Jahrhundert ausgelöst wurde. In Abbildung 1.2 sind dazu die mittleren täglichen Niederschlagsmengen für den gekoppelten und ungekoppelten Fall im Vergleich zu den Beobachtungen während der zweiten Hochwasserwelle der Oder am 18. - 20. Juli 1997 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der starke Niederschlag über Mitteleuropa durch die Kopplung der Modelle realistischer abgebildet werden kann.

Aerosole

Mit dem regionalen Klimamodell COSMO-CLM wurden Sensitivitätsstudien zum Einfluss von Aerosolen auf den Strahlungshaushalt und damit auf das europäische Klima der vergangenen 60 Jahre (1950 – 2010) durchgeführt. Neben einer weitgehend kühlenden Wirkung von Aerosolen auf die Erdoberfläche wurden auch verschiedene semi-direkte Effekte unter anderem auf Bewölkung und Niederschlag untersucht. Eine durch Aerosole hervorgerufene regional variierende Modifikation der vertikalen atmosphärischen Temperaturschichtung zeigt dabei, dass Aerosole insbesondere im Sommer einen Einfluss auf die Atmosphärendynamik (Wind und Energietransport) haben können. Beispielhaft hierfür ist in Abbildung 1.3 die Änderung des Luftdrucks im Sommer für zwei unterschiedliche Aerosolklimatologien gegenüber einer Kontrollsimulation ohne Aerosole dargestellt. Unterschiede ergeben sich in der Stärke der simulierten Luftdruckabnahme, während die räumliche Verteilung mit Schwerpunkten über der Ostsee, Italien und dem Schwarzen Meer in beiden Simulationen sehr ähnlich ist. Ob und in welchem Maße die Reduktion der anthropogenen Aerosolemissionen seit den 1980er Jahren einen Beitrag zum beobachteten Erwärmungstrend geleistet hat, ist Gegenstand der weiteren aktuellen Forschung.

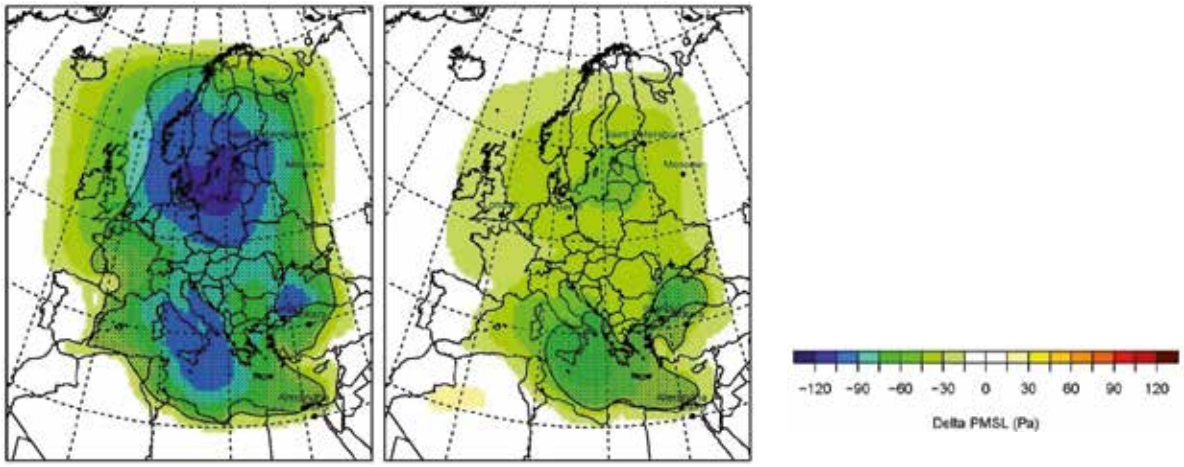

Abb. 1.3: Mittlere Differenz des Luftdrucks (in Pascal) im Sommer (1950 – 2010) gegenüber einer Kontrollsimulation, die keine Aerosole berücksichtigt. Schraffierte Gebiete zeigen eine statistisch signifikante Änderung. Links: Standardaerosolklimatologie in COSMO-CLM; Rechts: AeroCom Aerosolklimatologie für das Jahr 2000. (Grafik: Markus Schultze, HZG)

AWI | GEOMAR | GFZ | HZG

2 Meeresspiegeländerungen von globaler zu regionaler und lokaler Skala

Wie groß sind die Verluste der kontinentalen Eismassen (insbesondere von Grönland) und wie reagiert der Meeresspiegel auf Schmelzwasser und Erwärmung?

Die Folgen des Klimawandels sind vielfältig und wirken sich auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen aus. Hierbei zählt der Meeresspiegelanstieg zu einer der bedrohlichsten Konsequenzen, da die Küsten zu den am dichtesten besiedelten Räumen der Erde gehören und somit besonders anfällig für die Auswirkungen des Klimawandels sind. Dort erstrecken sich wichtige landwirtschaftliche Flächen, befinden sich große Ballungs- und Industriezentren. Es ist kaum vorstellbar, wie die Küsten und damit die infrastrukturellen Systeme aussehen werden, wenn der Weltozean in wenigen Jahrhunderten um deutlich mehr als einen Meter ansteigt. Die Hauptursachen hierfür liegen im Schmelzen der Gletscher und Inlandeise der Erde sowie der thermischen Ausdehnung der Weltozean als Folge der globalen Erwärmung. Thema 2 widmet sich der Untersuchung dieser Prozesse, um die regionalen Auswirkungen besser vorhersagen und quantifizieren zu können.

Schelfeis – Ozean Wechselwirkungen in der Antarktis

Die Küstenlinie der Antarktis wird zu großen Teilen von Schelfeisflächen gesäumt, die durch den Abfluss von Eis aus dem Inneren des antarktischen Kontinents entstehen. Veränderungen in der Geometrie der Schelfeise - beispielsweise durch erhöhtes Abschmelzen - beeinflussen auch den gegründeten Teil des Eisschildes; der beschleunigte Abfluss und die damit verbundene Ausdünnung der Quellgletscher sind daher für die Entwicklung des antarktischen Eisschildes und damit auch des globalen Meeresspiegels von großer Bedeutung.

Zur Untersuchung des aktuellen Zustands und von möglichen Änderungen im Rahmen einer globalen Klimaänderung werden neben hydrographischen und glaziologischen Beobachtungen auch Modelle des Ozeans sowie des Schelf- und Inlandeises eingesetzt. Ein Schwerpunkt der aktuellen Arbeiten liegt auf der Kopplung des Finite-Element Sea ice – ice shelf – Ocean Model (FESOM) mit einem dynamisch-thermodynamischen Eismodell (RIMBAY). Letzteres simuliert die Entwicklung des im Weddellmeer gelegenen Filchner-Ronne-Schelfeises und seines gegründeten Einzugsgebietes, in welchem mehrere schnell fließende Eisströme Eismassen aus dem Inneren des Eisschildes zum Schelfeis und damit zum Ozean transportieren (Abb. 2.1). Erste Studien mit schrittweise variierter Kavernengeometrie weisen darauf hin, dass die Berücksichtigung einer reduzierten Dicke des Schelfeises zwar die räumliche Verteilung der basalen Schmelzraten verändert, den über das gesamte Schelfeis integrierten Massenverlust auf einer Zeitskala von etwa 200 Jahren aber kaum beeinflusst. Aktuelle Studien mit dem voll gekoppelten Modellsystem untersuchen transiente Zustände und mögliche Rückkopplungsmechanismen zwischen den verschiedenen Komponenten des polaren Klimasystems.

Massenbilanz des grönländischen Inlandeises

Grönlands Eismassenverluste trugen in den letzten zehn Jahren durchschnittlich 0,7 mm/Jahr zum globalen Meeresspiegelanstieg von 3,2 +/- 0,6 mm/Jahr bei. Satellitendaten der Schwerefeldmission GRACE haben gezeigt, dass der Eisrückgang vor allem im Südwesten Grönlands stattfindet. Dort sind die Verluste außergewöhnlich hoch im Vergleich zu den letzten fünf Jahrzehnten und nehmen weiter zu. Der Sommer 2012 markierte nun einen Jahrhundertrekord auf der Skala der mittleren Temperatur in Grönland; kurzfristig wurde selbst in den Hochlagen des Eisschilds eine Temperatur über 0°C

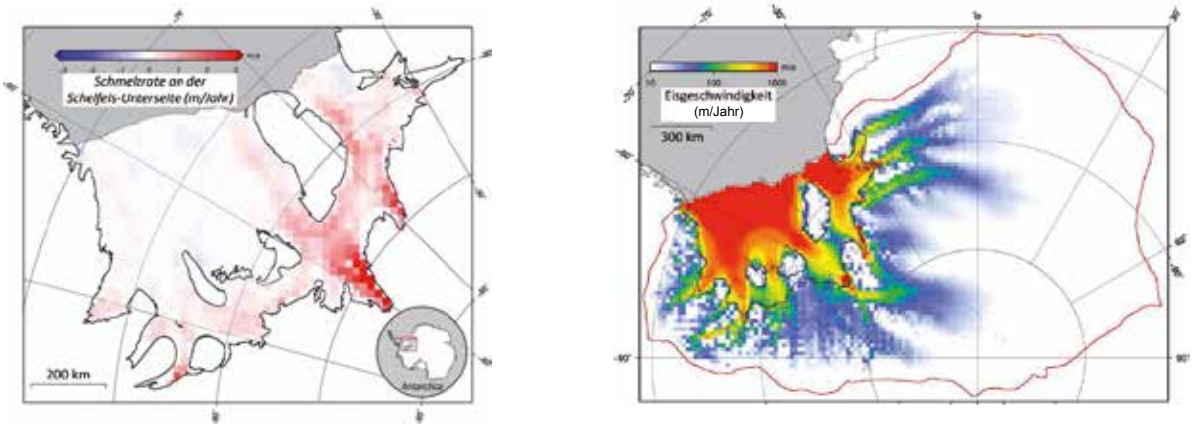

Abb. 2.1: Basale Schmelzraten (links) des Filchner-Ronne Schelfeises und Geschwindigkeitsfeld des Schelfeis-Inlandeissystems (rechts) und ihr Einfluss auf den Eisabfluss aus dem Inlandeis. (Grafik: Ralph Timmermann, Sebastian Göller, AWI)

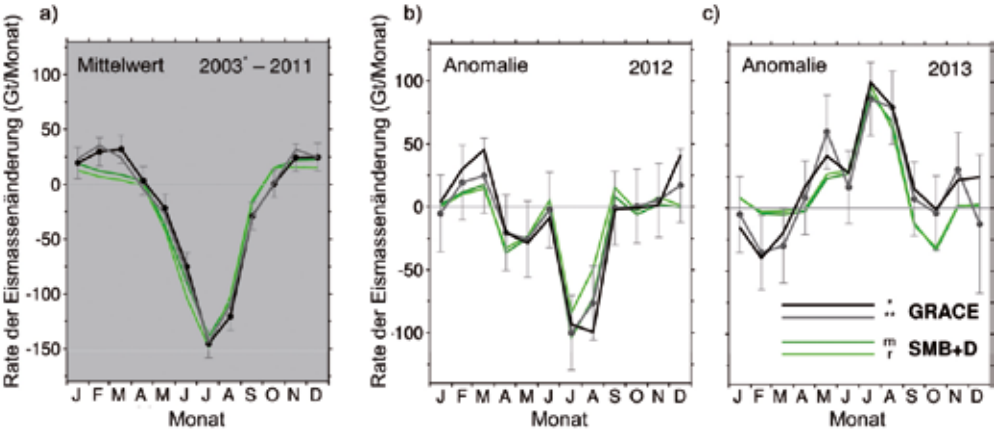

Abb. 2.2 : Monatliche Massenbilanz für das grönländische Eisschild aus GRACE-Satellitendaten (GRACE) im Vergleich mit den Modellergebnissen (SMB+D). Gezeigt ist der a) Mittelwert für die Jahre 2003-2011, die b) Anomalie 2012, sowie die c) Anomalie 2013, jeweils bezogen auf den Mittelwert 2003-2011. (Grafik: Ingo Sasgen, GFZ)

gemessen. Die Eismassenverluste der Sommermonate Juni und Juli 2012 übertrafen den mittleren Verlust für 2002 bis 2011 um nahezu das Doppelte (Abb. 2.2). Überraschender Weise zeigten GRACE-Abschätzungen im folgenden Jahr 2013 eine nahezu ausgeglichene Eismassenbilanz. In REKLIM wurde nun ein Vergleich von GRACE-Daten mit regionalen Klimasimulationen durchgeführt. Die extremen Massenbilanzen für 2012 und 2013 konnten dabei fast ausschließlich auf Schwankungen in der Schmelzproduktion zurückgeführt werden. Die Analysen zeigen eine unmittelbare und sensitive Antwort der Eismassenbilanz auf die vorherrschenden Temperaturbedingungen und eine enge Verbindung zu atmosphärischen Zirkulationsmustern. Sie unterstreichen damit die Bedeutung des grönländischen Eisschilds als eine wichtige Quelle der Meeresspiegeländerung im sich erwärmenden Klima.

Interne Variabilität des globalen Meeresspiegels

Die genaue Entwicklung des Meeresspiegels unterscheidet sich erheblich von Küste zu Küste; globale Durchschnittswerte nützen daher wenig, um konkrete Küstenschutzmaßnahmen zu planen. Mit dem Kieler Klimamodell (KCM) haben GEOMAR-Wissenschaftler die Klimaentwicklung für einen Zeitraum von 3000 Jahren simuliert (Bordbar et al., 2015). Im zweiten Schritt haben die Forscher dann an unterschiedlichen Zeitpunkten der Klima-Simulation den Kohlendioxid (CO_2)-Gehalt in der Atmosphäre um 1% pro Jahr ansteigen lassen und so für den Zeitraum von 70 Jahren (plus 30 Jahre konstanter CO_2-Gehalt) einen Klimawandel im Modell induziert. Obwohl sie für alle Experimente die gleichen CO_2-Werte verwendet hatten, entwickelte sich der Meeresspiegel regional sehr unterschiedlich, abhängig vom Zustand des Ozeans und der Atmosphäre beim Start der Rechnungen; der globale Anstieg blieb dabei - wie erwartet - identisch. Es zeigte sich, dass vor allem der Zustand des Meeres zu Beginn einer Klimasimulation einen großen Einfluss auf den projizierten Meeresspiegel hat (Abb. 2.3). Das Fazit: Der gegenwärtige Zustand des Ozeans muss sehr gut bekannt sein, um verlässliche Prognosen über die regionale Entwicklung des Meeresspiegels treffen zu können. Das gilt auch für die Tiefsee unterhalb von 2000 Meter, was eine Erweiterung der derzeitigen Ozeanbeobachtungssysteme erfordert.

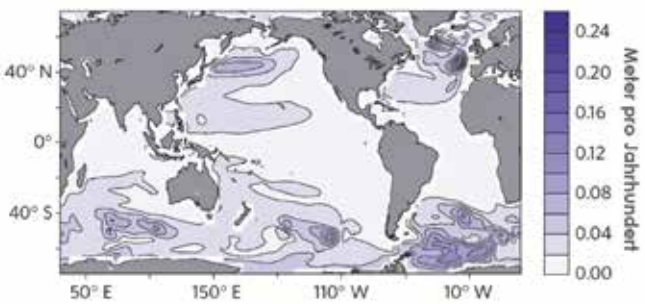

Abb. 2.3: Standardabweichung des linearen Trends des Meeresspiegels (m/Jahrhundert) berechnet anhand von 22 Klimaänderungsexperimenten (mit verschiedenen Startwerten), in denen der CO_2-Gehalt um 1%/ Jahr ansteigt. Der Isolinien-Abstand beträgt 0,04m/Jahrhundert. Eine hohe Standardabweichung zeigt eine hohe Sensitivität des durch die Klimaerwärmung (infolge des CO_2-Anstiegs) bedingten Meeresspiegelanstiegs der entsprechenden Region aufgrund starker interner Variabilität des Klimasystems. (Grafik: Mohammad H. Bordbar, GEOMAR)

Regionale Aspekte des Meeresspiegelanstiegs in der Deutschen Bucht

Um eine verlässliche Schätzung des langfristigen Meeresspiegeltrends als Grundlage für den Küstenschutz zu erhalten, ist es wichtig, alle beitragenden Komponenten der regionalen Meeresspiegelvariabilität zu verstehen. In REKLIM werden zwischenjährliche bis hin zu (multi-)dekadischen Variabilitäten des Meeresspiegels untersucht, um die beeinflussenden und treibenden Faktoren zu bestimmen. Lokale und regionale Veränderungen im Druck- und Windfeld über dem Nordatlantik erklären dabei einen großen Teil der Meeresspiegelvariabilität entlang der Nordseeküste. Allerdings bleibt noch ein erheblicher Anteil in der Nordsee, der nicht durch diese Effekte verursacht wird. Dichtebezogene Volumenvariationen durch lokale Veränderungen des Wärmeinhalts oder des Salzgehalts kommen wegen der flachen Wassertiefen der Nordsee kaum in Frage. Bisherige Ergebnisse legen nahe, dass externe Signale der Meeresspiegelvariabilität im Atlantik und interne, interannuale bis multidekadische Variabilitäten, wie sie durch Klimamoden angeregt werden, für die unerklärten Meeresspiegelvariationen verantwortlich sind.

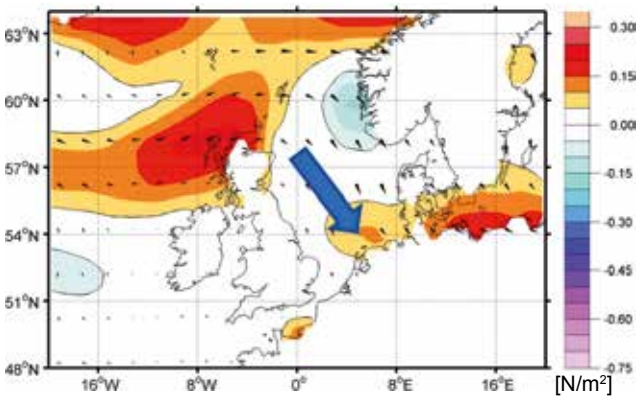

Abb. 2.4: Der Trend der Windschubspannung über dem Nordatlantik und der Deutschen Bucht für den Zeitraum 1937 – 2008 zeigt eine dominierende Wetterlage mit auflandigen Winden an, die die Hauptkomponente des Meeresspiegelsignals beschreibt. (Grafik: Monica Ionita, AWI)

AWI | GEOMAR | GFZ | HZG

3 Regionale Klimaänderungen in der Arktis

Wie wirkt sich der Klimawandel auf den arktischen Ozean, das Meereis und die Permafrostregionen aus? Was sind die Wechselwirkungen zwischen Kryosphäre, Landoberflächen, Ozean und Atmosphäre? Kann unser zunehmender Fortschritt in neuen Technologien und Messmethoden das Verständnis von klimarelevanten Prozessen in den hohen Breiten verbessern?

Klimavariabilität in der Arktis – Rekonstruktion, Messungen, und Zukunfts-Projektionen

Die Arktis spielt eine Schlüsselrolle im globalen Klimasystem. Thema 3 untersucht, wie sich der Klimawandel auf den arktischen Ozean, das Meereis und die Permafrostregionen auswirkt. Sowohl Langzeitbeobachtungen und Messkampagnen im arktischen Ozean und auf den Landoberflächen (Abb. 3.1) als auch regionale Modellierung sind Anwendungen im Rahmen von REKLIM.

Trendentwicklung und Variabilität des Meereises in der Arktis

Die rasant schwindende Meereisbedeckung ist wahrscheinlich die eindringlichste Auswirkung der besonders starken Klimaänderungen in den hohen Breiten. Die Komplexität der Prozesse, die zum Meereisschwund führen, und die daraus entstehenden Konsequenzen für das globale Klima werden als die größte Herausforderung der heutigen Klimawissenschaften angesehen. Die Meereisvariabilität und ihre zukünftige Entwicklung werden von den globalen Klimamodellen sehr unterschiedlich simuliert. Noch kann der jüngste dramatische Meereisschwund selbst mittels Modell-Ensemblen nicht adäquat reproduziert werden. Um die Genauigkeit dieser Ergebnisse und mögliche Schwächen in der Meereissimulation abschätzen zu können, haben Semenov et al. (2015) die globalen Klimamodelle der vorletzten (CMIP3) und der jüngsten Generation (CMIP5) mit Meereis-Daten (HadISST1-Datensatz) hinsichtlich ihres Vermögens verglichen, historische Veränderungen im arktischen Meereis (1950 – 2000) realistisch zu simulieren. In den bisherigen Studien stand der Sommer im Vordergrund, diejenige Jahreszeit mit dem dramatischsten Eisverlust. Die Untersuchung zeigt, dass es für den Sommer erhebliche Fortschritte in der Qualität der CMIP5 Simulationen verglichen zu der vorherigen Modell-Generation gibt und der drastische Meereisschwund immer besser repräsentiert werden kann. Die Untersuchung aller Jahreszeiten ergab jedoch, dass die Simulationen des Wintereises noch erhebliche Schwächen aufweisen.

Trendentwicklung und Variabilität im arktischen Ozean

Im gesamten arktischen Ozean können überregional die hydrographischen Parameter mit Sensoren gemessen werden, die unter dem treibenden Meereis verankert sind (internationales Ice-Tethered Profiler Program, www.whoi.edu/itp). Damit konnten Rabe et al. (2014) im Zeitraum 1992 – 2012 einen zunehmenden Frischwassereintrag von 600 km^3/Jahr in der obersten Wasserschicht des arktischen Ozeans messen. Verankerte Ozean-Messstationen bieten eine der weiteren wenigen Möglichkeiten, Langzeitmessungen in der schwer zugänglichen Arktis durchzuführen. In der Laptewsee lässt sich so über Langzeitmessungen an Verankerungen nachvollziehen, dass die bodennahen Schelfwassermassen durch die veränderte atmosphärische Zirkulation und Meereisbedeckung episodisch wärmer werden (Janout and Lenn, 2014).

Mittels Langzeitdatensätzen aus Feld- und Satellitenbeobachtungen sowie mit modellierten Datensätzen wurde die Kopplung des Phytoplankton-Wachstums in der Framstraße an physikalische Faktoren wie beispielsweise Temperatur und Salzgehalt des Meerwassers oder Meereiskonzentration und -dicke untersucht (Cherkasheva et al. 2014).

Abb. 3.1: REKLIM Informationssystem (im Aufbau, http://maps.awi.de/awimaps/) WebGIS mit Überblick zu den Lokationen der Langzeitmessstellen (marines Observatorium Framstrasse, Verankerungen in der Laptew See, Permafrost-Observatorium im Lena Delta) und überregionale Messungen (flugzeuggetragene Treibhausgasmessungen in Alaska und Kanada, Hydrographie im arktischen Ozean über das Ice-Tethered Profiler Programm). (Grafik: Antonie Haas, AWI)

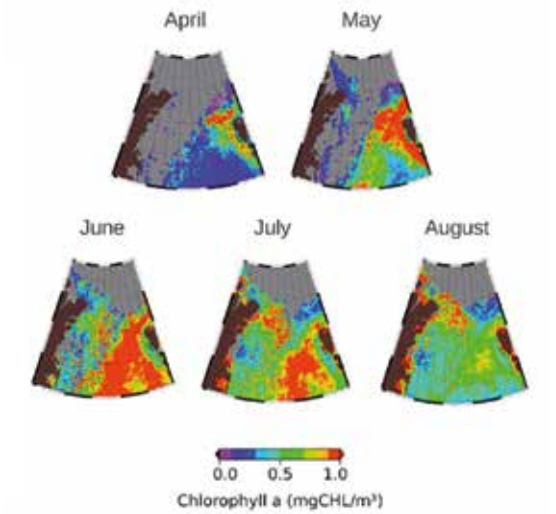

Abb. 3.2: Klimatologie der Chlorophyllkonzentration aus satellitenabgeleiteten GlobColour Chl-a Langzeitdaten von 1998-2009 (mit 4.6 km räumlicher Auflösung) in der Framstraße: 76°- 84° N, 25°-15° E). Es zeigt sich ein klares saisonales Signal mit den niedrigsten Konzentrationen im April und den höchsten von Mai bis Juli (Cherkasheva et al., 2014). (Grafik: Alexandra Cherkasheva, AWI)

Für die untersuchte Periode von 1998 – 2009 wurde festgestellt, dass im südlichen Bereich der Framstraße ein Anstieg des Phytoplanktons mit einem Anstieg der Temperatur und der Abnahme des Küsteneises um Svalbard signifikant von April bis Mai korreliert war (Abb. 3.2). Somit ist bei steigenden Temperaturen im Einstromgebiet der Arktis auch zukünftig mit einem zunehmenden Wachstum von Phytoplankton zu rechnen, mit Auswirkungen auf das gesamte arktische Ökosystem.

Trendentwicklung und Variabilität der Schneebedeckung in Sibirien

Für die arktischen Landgebiete wurden ebenfalls Klimasimulationen und –rekonstruktionen mit regionalen Klimamodellen durchgeführt, um die Klimavariabilität zu verstehen und zukünftige Entwicklungen besser simulieren zu können. Für die riesige Landfläche Sibiriens gibt es kaum Messdatensätze. Daher bietet die regionale Klimamodellierung die Möglichkeit, zeitlich und räumlich konsistente Klimadaten für ein datenarmes Gebiet zu rekonstruieren. Eine große Herausforderung hierbei ist die korrekte Simulation der Schneedecke in Bezug auf die Schneealbedo und die Schneemächtigkeit, welche auch durch das Schneewasseräquivalent (SWE) (mm) ausgedrückt wird. Es wurden die regionalen Klimamodelle HIRHAM und COSMO-CLM (CCLM), Reanalysedaten und satellitenabgeleitete Variablen (SWE, Albedo) mit regionalem Fokus auf Sibirien verglichen. Die regionale, von NCEP1 angetriebene CCLM Klimarekonstruktion (CCLM_NCEP1) zeigt, dass die Schneemächtigkeit in den vergangenen 30 Jahren in Nordsibirien abgenommen, in den südlicheren Bereichen hingegen bis zu 20 mm pro Dekade zugenommen hat (Klehmet, 2014). Diese simulierte Rekonstruktion von Klimadaten für Sibirien wird von den aus Satelliten-Beobachtungen abgeleiteten SWE-Langzeitdatensätzen unterstützt (Globsnow Datensatz)(Abb. 3.3). Der Vergleich der CCLM und HIRHAM Modell-Simulationen unter Einbeziehung von Fernerkundungs- und Reanalysedaten zeigt gute raum-zeitliche Übereinstimmungen bis auf die Taiga Gebiete, für die eine dunklere Schnee-Albedo Parametrisierung empfohlen wird (Zhou et al. 2014).

Variabilität der Treibhausgasflüsse in der Arktis

Die großflächige Kartierung von Treibhausgasflüssen in Permafrostgebieten auf der Basis flugzeuggestützter Messungen in Alaska und Kanada (Abb. 3.1) liefert erste hochaufgelöste Karten. Dies erlaubt die Untersuchung regional wirksamer Prozesse und eine erheblich bessere Abschätzung der Treibhausgasemissionen als es durch die bisher notwendige Extrapolation von wenigen punktuellen Messungen möglich war. Synthesestudien zum Austausch latenter Wärme zwischen 65 borealen und arktischen Messstandorten (eingeteilt in neun verschiedene Ökosystemtypen) und der Atmosphäre ergaben, dass die Variation der Oberflächenwiderstände innerhalb und zwischen verschiedenen Vegetationstypen eine signifikante Rolle im Wärmeaustausch spielt. Hieraus ergibt sich, dass Vegetationstypen und -phänologie bei der Modellierung des Energieaustausches berücksichtigt werden sollten (Kasurinen et al., 2014). Die räumliche Variabilität der arktischen Kohlenstoffdioxid (CO_2)-Flüsse hingegen wird während des maximalen Pflanzenwachstums in hohem Maße durch den Blattflächenindex (LAI) und die Temperatur im Juli gesteuert (Mbufong et al., 2014).

Wie wichtig die gemeinsame Betrachtung von CO_2 und Methan (CH_4) für die Abschätzung der Klimawirksamkeit arktischer Ökosysteme ist, zeigen Ergebnisse des von Watts et al. (2014) entwickelten, mit Satellitendaten getriebenen biophysikalischen Modellansatzes zur Quantifizierung der Kohlenstoffbilanz an sechs nördlichen Torfmoor- und Tundraökosystemen sowie die Analyse gemessener CO_2- und CH_4-Flüsse an zahlreichen unterschiedlich stark anthropogen beeinflussten Feuchtgebieten (Petruscu et al. 2015). Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Umwandlung naturnaher Feuchtgebiete in land- oder forstwirtschaftliche Flächen deren Treibhausgasbilanz verschlechtert und einen langfristigen zusätzlichen Erwärmungseffekt nach sich zieht.

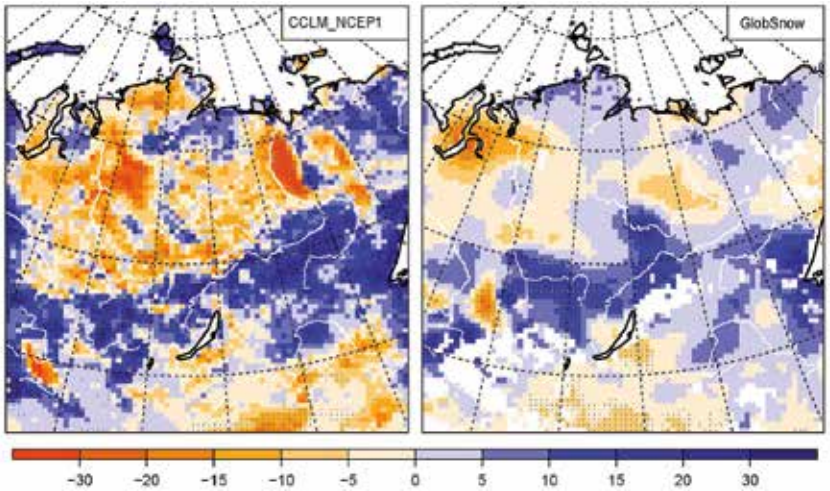

Abb. 3.3: Trendmuster des Schneewasseräquivalents (SWE) (mm/Dekade) für den Winter gemittelt über den Zeitraum 1987-2010 (simuliert vom regionalen Klimamodell CCLM) und GlobSnow (satellitenabgeleitetes SWE). Weiße Zellen im Untersuchungsgebiet sind vorzufinden, wenn GlobSnow keine Werte geliefert hat. Statistisch signifikante Trends auf dem 95% Niveau sind mit grauen Punkten gekennzeichnet. (Grafik: Katharina Klehmet, HZG)

FZJ | GEOMAR | GFZ | HMGU | KIT | UFZ

4 Landoberflächen im Klimasystem

Was sind die regionalen Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme, Wasserressourcen, Land- und Forstwirtschaft und wie beeinflussen diese wiederum das Klima?

Im Rahmen des Themas 4 werden regionale Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme, Wasserressourcen, Land- und Forstwirtschaft untersucht und es wird der Frage nachgegangen, wie diese wiederum das Klima beeinflussen. Die Prozesse an der Schnittstelle zwischen Atmosphäre und Landoberfläche sind noch unvollständig verstanden. In den Umwelt-Observatorien des TERENO Netzwerkes werden Daten erhoben, die Grundlagen für ein besseres Prozessverständnis sind und eine Verbesserung von regionalen Klimamodellen ermöglicht.

Skalenübergreifende Messung der Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte ist eine wichtige Zustandsgröße für den Austausch von Wasser und Energie zwischen Atmosphäre und Landoberfläche. Sie hängt unter anderem von der Versickerung von Niederschlag, der Verdunstung sowie der Umwandlung von kurzwelliger Strahlung in fühlbare Wärme ab. Aufgrund der starken räumlichen Variabilität ist eine aussagekräftige Bestimmung der Bodenfeuchte aus Punktmessungen speziell für größere räumliche Skalen schwierig. Diese Information ist aber gerade für die Überprüfung und Verbesserung von hydrologischen und regionalen Klimamodellen von besonderer Bedeutung. Hoch aufgelöste Radarmessungen von Satelliten und Flugzeugen aus, aber auch die Ableitung über die kosmische Hintergrundstrahlung (Neutronen), stellen hier neue Ansätze für die großflächige Bestimmung der Bodenfeuchte dar. Diese indirekten Methoden können nur mit räumlich und zeitlich hoch aufgelösten lokalen Messungen überprüft werden. Das KIT hat am TERENO Standort Peißenberg-Fendt (Bayern) ein funkbasiertes Bodenfeuchtenetzwerk mit 55 vertikalen Profilen auf einer Fläche von 9 ha installiert (Abb. 4.1). In einer Reihe von Messkampagnen wird hier in Kooperation mit dem UFZ Leipzig und dem EURAC Bozen die Qualität der Bestimmung der Bodenfeuchte mit Hilfe von fahrzeug-, flugzeug-, und satellitengestützten Messungen für verschiedene Skalen untersucht.

Evaluierung von Wasserflüssen europäischer Einzugsgebiete

Die regionale Modellierung des Wasserhaushalts ist eine anspruchsvolle Aufgabe in der Hydrologie. Dazu werden Modelle benötigt, die zuverlässig über mehrere räumliche Skalen arbeiten. In einer am UFZ durchgeführten Studie (Rakovec et al., 2015) wurden die Wasserhaushaltskomponenten aus dem mesoskaligen hydrologischen Modell mHM in über 400

Abb. 4.1: Einbau des funkbasierten Bodenfeuchtenetzwerks und einer Neutronensonde am TERENO Standort Peißenberg-Fendt des KIT. (Foto: Benjamin Fersch, Ingo Völksch, KIT)

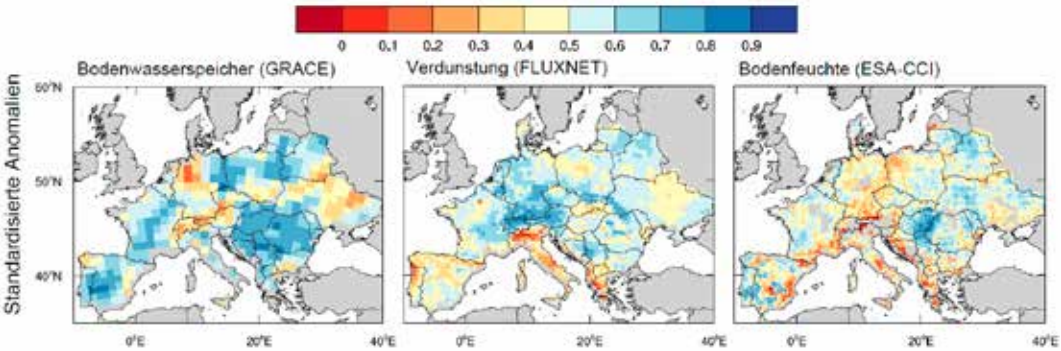

Abb. 4.2: Pearson-Korrelationskoeffizient aus hydrologischen Modellsimulationen mit mHM und Beobachtungsdaten. (Grafik: Olrich Radovec, UFZ)

europäischen Flusseinzugsgebieten mit Beobachtungsdaten verglichen. Neben dem beobachteten Abfluss wurden satelliten-gestützte Daten von Verdunstung, Bodenfeuchte und Bodenwasserspeicher, sowie punktuelle Eddy-Kovarianz-Beobachtungen zu Wasserflüssen an der Erdoberfläche eingesetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass in der hydrologischen Modellierung die Abflussdynamik am besten abgebildet werden kann, gefolgt von der Evapotranspiration, der Anomalie des Bodenwasserspeichers und der Bodenfeuchte (Abb. 4.2). Je besser die Eingangsdaten für die Modellierung sind, umso besser ist auch das Ergebnis der Simulationen: Ein wesentlicher Teil der Abweichungen in den modellierten Variablen kann durch die Unsicherheiten in den Beobachtungsdaten erklärt werden.

Verständnis von Energieflüssen im kleinstrukturierten Alpenvorland

Unser regionales Wetter und Klima wird maßgeblich durch die Umwandlung der Energiemenge bestimmt, die an der Landoberfläche verfügbar ist. Dies sind hauptsächlich die Verdunstung von Wasser sowie die Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme. In welchem Verhältnis die Energiemenge für Verdunstung (latente Wärme) und Temperaturerhöhung (fühlbare Wärme) verbraucht wird, hängt sowohl von den Eigenschaften des Bodens, der Atmosphäre als auch von der Landnutzung und Bewirtschaftung ab. Um die zugrunde liegenden Prozesse in ihrem Zusammenspiel zu verstehen, vergleichen wir ein Computermodell, im Prinzip ein „Cartoon der Realität", mit den tatsächlichen Messwerten vom Klostergut Scheyern (Bayern). Eine Herausforderung an diesem Standort ist, dass ein momentaner Messwert der Energieflüsse selten nur einer einzigen Fläche zugeordnet werden kann. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird mit einem Computermodell berechnet, zu welchem Anteil der jeweilige Messwert unter der aktuellen Windsituation von welchen Flächen mit unterschiedlichem Bewuchs stammen könnte (Abb. 4.3). Anteilig werden die modellierten Flüsse der einzelnen Felder dann in den modellierten Gesamtfluss eingerechnet. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass sich die Energieflüsse heterogener Landschaften, die aus mehreren kleinen Feldern bestehen, auf diese Weise sinnvoll simulieren und verstehen lassen.

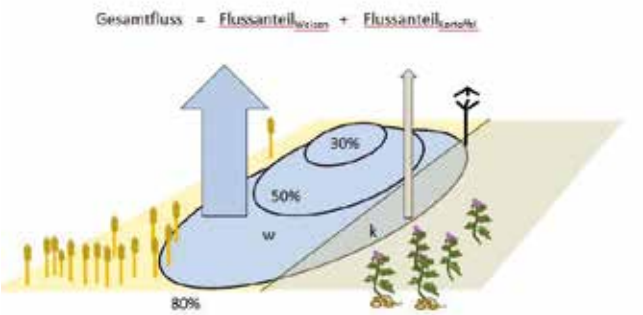

Abb. 4.3: Eine sog. Footprintfunktion zeigt die Ausdehnung und Gewichtung der Fläche von der aus der Messwert an einem Messgerät stammt. Gemäß dieser Quellengewichtung wird der gesamte Energiefluss berechnet (grauer Pfeil, blauer Pfeil). (Grafik: Christoph Thieme, HMGU).

Analyse des Wasser- und Methanhaushalts im Observatorium Nordostdeutsches Tiefland

Wie beeinflussen Bäume den Wasserhaushalt und umgekehrt der Wasserhaushalt den Waldbestand? Wie klima-sensitiv ist dieses System? Diesen Fragen wird im Müritz-Nationalpark (ebenfalls eine TERENO Untersuchungsfläche) mit einem umfassenden Systemansatz nachgegangen. Dabei wird der Wasserhaushalt für verschiedene Waldbestände (Kiefern, Buchen, Eichen) im Detail erfasst. Sowohl Kronendurchlass und Stammabfluss, als auch Veränderungen im Bodenwasserspeicher, Grundwasserneubildung und Wasseraufnahme durch Wurzeln bzw. Saftfluss werden hochauflösend gemessen. Zusätzlich erlauben unterschiedliche Messungen einzelner Parameter (Dickenwachstum Abb. 4.4, Holzuntersuchungen auf Zellbasis, Bestimmung stabiler Isotope im Boden, Grundwasser und Xylem) eine Analyse des dynamischen Feedbacks der Hydrologie auf den Waldbestand, und somit eine prozessbasierte Interpretation des dendrologischen Geoarchivs. In zwei wiedervernässten, stark degradierten Mooren unterschiedlicher Genese (Küstenmoor „Hütelmoor" und Durchströmungsmoor im Peenetal) werden zudem Energie- und Treibhausgasflüsse (CO_2 und Methan) auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalen untersucht. Erste Ergebnisse im Peenetal zeigen zehn Jahre nach Wiedervernässung noch sehr hohe Methanemissionen sowie, trotz hoher Photosynthese-Raten, auch große CO_2-Flüsse in die Atmosphäre. Im Hütelmoor haben Koebsch et al. (2015) die zeitliche Variabilität der Stoffflüsse analysiert und die auf verschiedenen Zeitskalen im Jahresverlauf dominierenden Treiber identifiziert, während die langfristige Klimawirkung der Moor-Umwandlung in Agrarland in einer globalen Synthesestudie untersucht wurde (Petrescu et al. 2015).

Abb. 4.4: Messung von Dickenwachstum, Saftfluss, Stammabfluss und Bestandsniederschlag im Müritz-Nationalpark (von links nach rechts). (Fotos: Ingo Heinrich und Janek Dreibrodt, GFZ)

AWI | DLR | FZJ | GFZ | HMGU | KIT | TUM | UK

5

Atmosphärische Zusammensetzung und Klima: Wechselwirkungen von globalen zu regionalen Skalen

Welche Faktoren bestimmen die Interaktion zwischen regionalem Klimawandel und atmosphärischer Zusammensetzung? Was sind die potentiellen Folgen von Klimawandel und Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit und Ökosysteme?

Das jetzige REKLIM Thema 5 hat seinen Ursprung in den ursprünglichen REKLIM Themen 5 „Chemie-Klima Wechselwirkung“ und Thema 9 „Klimawandel und Luftqualität“. Im Zuge einer Überarbeitung und Anpassung der REKLIM Struktur Ende 2013 wurden beide Themen zusammengelegt und neugeordnet. Zum jetzigen Zeitpunkt bearbeitet Thema 5 zwei übergreifende Fragenkomplexe:

1. **Welche Faktoren bestimmen die Interaktion zwischen regionalem Klimawandel und atmosphärischer Zusammensetzung?**
2. **Was sind die potentiellen Folgen von Klimawandel und Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit und Ökosysteme?**

Die neue Aufstellung des Themas erlaubt eine holistische Sicht auf das globale System von „Luftzusammensetzung und Klima“, welches viele Skalen und Wechselwirkungen umfasst. Arbeiten dieses Themas erforschen die vollständige Wirkungskette, die von globalen zu regionalen Skalen führt. Zur Bewältigung dieser Aufgabe werden Modelle und atmosphärenchemische sowie meteorologische Beobachtungen genutzt. Auf der globalen Skala werden zum Beispiel Spurenstoffkreisläufe, Austausch zwischen Stratosphäre und Troposphäre, sowie die Struktur der Tropopause und Aerosoleffekte untersucht. Auf kleineren Skalen werden Wechselwirkungen zwischen Wolken, Niederschlag und der Luftzusammensetzung studiert. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der bebauten Umwelt und ihrem Einfluss auf Luftzusammensetzung und Klima. Dabei interessieren auch städtische Wärmeinseln, Luftqualität und deren Einfluss auf Menschen und Ökosysteme.

Auf „großen Skalen“ hat Thema 5 eine Vielzahl von Modellierungsarbeiten mit zahlreichen Schnittstellen zu Beobachtungen zu bieten. Angewandte Modelle reichen von Chemie-Transport Modellen zu interaktiven Chemie-Klimamodellen. Der Fragestellung entsprechend, werden diese Modelle zur Erforschung von atmosphärischen Prozessen eingesetzt, die unser heutiges und zukünftiges Klima bestimmen.

Zirkulationsänderungen, Transport und Trends

Im Bereich der Chemie-Transport Modellierung wurde das „Chemical Lagrangian Model of the Stratosphere (CLaMS)“ mit den ECMWF ERA-Interim Reanalysen betrieben, um die globale Zirkulation (ihren Jahresgang und ihre zwischenjährliche Variabilität) besser zu verstehen. Nach wie vor ist ein besseres Verständnis vergangener Zirkulationsänderungen nötig, um beobachtete und zukünftige (prognostizierte) Trends in Spurengasen besser beurteilen zu können.

Von der globalen zur regionalen Klimamodellierung

Um regionale Klimaänderungen besser modellieren zu können, werden auch Chemie-Klimamodelle benötigt, die von „großen“ auf „kleine“ Skalen herunterskalieren können. Hierzu wurde das Klima-Chemie-Modell MECO(n) konstruiert und evaluiert. Dieses Modell koppelt das regionale Modell COSMO/MESSy online mit dem globalen Modell EMAC, so dass globale und regionale Skalen konsistent simuliert werden können. Die Modellergebnisse können dann im Hinblick auf Skaleneinflüsse verglichen werden. Mittels einer sogenannten „Tagging-Methode“ ist es nun möglich, den Beitrag verschiedener Quellen zum troposphärischen Ozon in Europa besser zu quantifizieren. Diese Studie verbessert auch unser Verständnis der Luftqualität bestimmenden Faktoren für Deutschland.

Einfluss anthropogener Luftschadstoffe auf die Allergenität von Birkenpollen

Luftqualität beeinflusst auch Pflanzen. Abbildung 5.1 zeigt eine Pollenmessstation in Augsburg, die zur quantitativen Erforschung dieses Fakts eingesetzt wurde. Natürlich sind solche

Abb. 5.1: Pollenmessstation in Augsburg. (Foto: C. Traidl-Hoffmann, UNIKA-T)

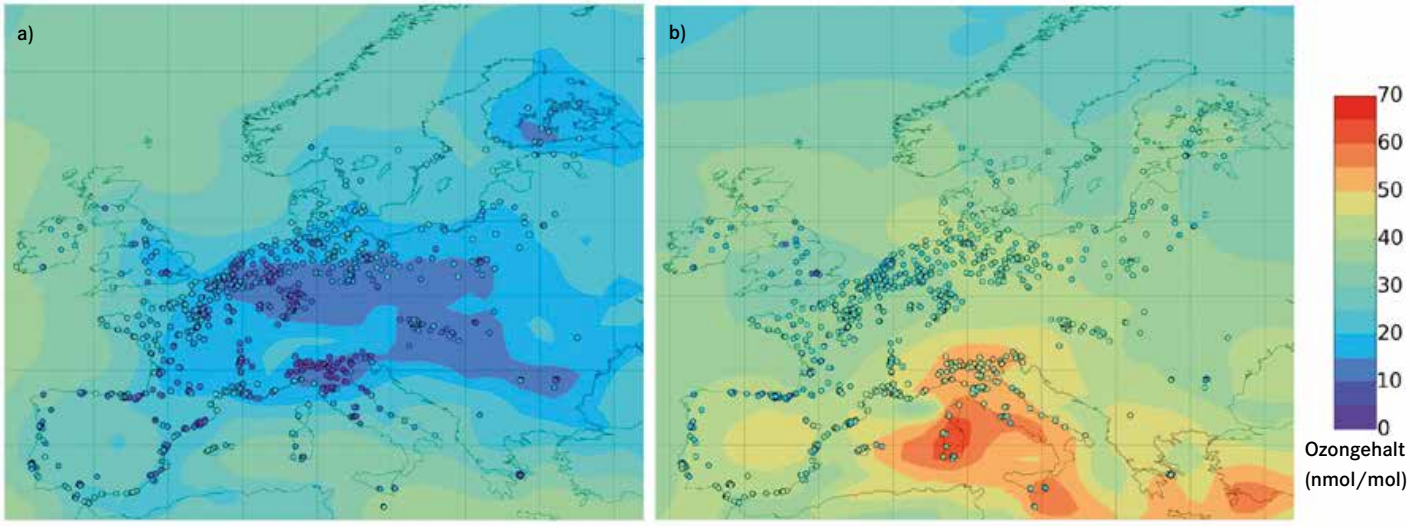

Abb. 5.2: Vergleich von MACC-Reanalysen des bodennahen Ozons (nmol/mol) für Januar (a) und Juli (b) mit Stationsdaten für den Zeitraum 2007 bis 2010. (Quelle: Dissertation O. Lyapina, Bonn, 2014)

Messungen nur saisonal sinnvoll. Im Frühjahr 2015 wurden 60 Birken im unmittelbaren Umfeld der Wohnsitze von KORA (Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg) Probanden (siehe Thema 9, S. 22) ausgewählt und mittels Passivsammlern von Ende März bis Mitte Mai Luftschadstoffe (NO_2, Ozon) an den Bäumen gemessen. Während der Birkenblüte (Mitte April) wurden an den Bäumen Kätzchen gesammelt und Pollen daraus isoliert. Die Allergenität der Pollen wird derzeit mittels ELISA („enzyme-linked immunosorbent assay") bestimmt. Weitere Untersuchungen bestehen in der Analyse der immunstimulatorischen und -modulatorischen Kapazität und dem allergenen Potential in vivo (Pricktests an Birkenpollenallergikern). Ferner wird untersucht, ob der Sensibilisierungsstatus und die allergischen Symptome von KORA-Probanden mit der Allergenität der Birkenpollen in der Umgebung korrelieren.

Ein Klimamodell für die Mittlere Atmosphäre

Eine weitere Arbeit, die das globale EMAC-Modell verwendet, beschäftigt sich mit der vertikalen Erweiterung des Modells. Die bisherige Version endet in ca. 80 km Höhe und kann damit die wesentlichen Prozesse in der Troposphäre und Stratosphäre abbilden. Allerdings gibt es auch wichtige chemische Prozesse oberhalb dieser Höhe (in der Mesosphäre), die sich auf die Stratosphäre und damit auch auf das troposphärische Klima auswirken können. Daher wird eine vertikale Erweiterung des Modells auf ca. 170 km angestrebt. Die Evaluierung dieses Modells verwendet unter anderem MIPAS Fernerkundungs-Satellitendaten.

Modellevaluierung

Natürlich müssen Modelle evaluiert werden. Verschiedene subjektive und objektive Methoden kommen dabei zum Einsatz. Als ein weiterer Beitrag zur Modellevaluierung wurde eine Clusteranalyse europäischer Ozonmessungen und deren Vergleich mit Modellergebnissen aus dem MACC-Projekt durchgeführt. Abbildung 5.2 zeigt einen Vergleich von MACC-Reanalysen (farbcodierte Flächen) des bodennahen Ozons (nmol/mol) für Januar (a) und Juli (b) mit Stationsdaten (kleine farbige Kreise) für den Zeitraum 2007-2010. Im Idealfall haben die Kreise die gleiche Farbe wie die schattierten Flächen, in denen sie liegen. Wie sich unschwer erkennen lässt, stimmt fast immer die Tendenz (erhöhtes (warme Farben) oder erniedrigtes (kalte Farbe) Ozon), jedoch gibt es auch Regionen, in denen die beobachteten absoluten Werte nur unzureichend vom Modell wiedergegeben werden. Hierbei zeigt sich deutlich, dass eine geeignete Gruppierung von Messwerten eine detailliertere Evaluierung von atmosphärenchemischen und meteorologischen Prozessen im Modell ermöglicht. Diese Evaluierung ist dann der Ausgangspunkt für weitere Modellverbesserungen.

Neu- und Weiterentwicklung von Chemie-Klima Modellen

Zusätzlich zur Nutzung von Modellen für wissenschaftliche Fragestellungen werden auch neue Modellentwicklungen im REKLIM-Verbund durchgeführt. Ein neues Modell, welches viele Einsatzmöglichkeiten verspricht, ist das sogenannte ICON-Modell des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und des Max-Planck-Institutes für Meteorologie (MPI). Dieses wurde erfolgreich um ein Aerosol- und Chemiemodul (ART) erweitert. Komponenten dieses ART-Systems werden nun weiterentwickelt und kontinuierlich evaluiert. Hier vor allem das Photolyse Modul Fast-Jx, welches im Detail mit Flugzeugmessungen verglichen wird.

Auf Grund der historischen Entwicklung des Themas werden die meisten Arbeiten im „Gesundheitsfeld" und in der Datenassimilation im Thema 9 Bericht zusammengefasst. Dieser wird zukünftig entfallen und in Thema 5 aufgehen. Die Gunst der Stunde nutzend, kann daher diesmal in einem etwas längeren Rahmen über das „Gesundheitsfeld" berichtet werden (siehe Seite 22).

HZG | KIT | GEOMAR | UFZ

6 Modellierung und Verständnis extremer meteorologischer Ereignisse

Wie und warum hat sich die Intensität und Häufigkeit extremer Wetterereignisse in den vergangenen Jahrzehnten verändert? Welche Änderungen sind in einem zukünftigen Klima zu erwarten?

Thema 6 analysiert meteorologische Extremereignisse und deren Charakteristika auf regionaler Ebene. Schwerpunkte der Forschungsarbeiten bilden Untersuchungen der durch den Klimawandel veränderten Austauschprozesse in der Atmosphäre und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse. Dazu werden Ergebnisse hoch aufgelöster globaler und regionaler Klimamodelle mit Daten geeigneter Beobachtungssysteme kombiniert. Damit lassen sich Extremereignisse wie Dürren, außertropische und tropische Stürme, Starkniederschläge oder Gewitter zuverlässig nachbilden und statistisch analysieren.

Globaler hochaufgelöster atmosphärischer Datensatz für die vergangenen Jahrzehnte

Statistische Analysen von Wettersystemen basieren häufig auf Reanalysen, für die verschiedene Messdaten in ein numerisches Modell eingehen. Die Wetterdaten sind aber nur auf einem relativ groben Gitter und zumeist nur alle sechs Stunden verfügbar; außerdem hat sich deren Anzahl und Qualität in der Vergangenheit erheblich verändert. Um einen möglichen Trend der meteorologischen Parameter allein aus den unzureichenden Beobachtungen zu minimieren, wurde mit einem globalen Klimamodell ein neuer Klimalauf der vergangenen 67 Jahre erstellt. Bei diesem Datensatz wurde das modellierte Wetter zwar an Reanalysedaten angeglichen, allerdings nur für sehr große räumliche Skalen wie beispielsweise Hoch- und Tiefdruckgebiete. Regionale Wettererscheinungen hingegen simuliert das Klimamodell selber. Mit rund 80 km Maschenweite ist dieses Globalmodell sehr hoch aufgelöst. Über 200 meteorologische Größen liegen stündlich vor.

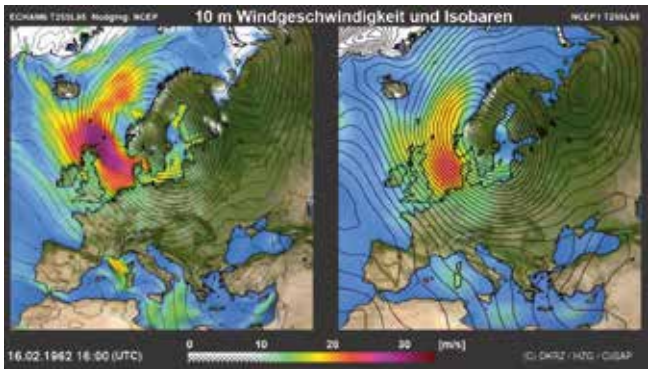

Abb. 6.1: Die Sturmflut des Jahres 1962 im neuen globalen Datensatz (links) und in den Reanalysen (rechts): Linien gleichen Luftdrucks (Isolinien) und bodennahes Windfeld (Farben) am 16.02.1962 (Schubert-Frisius et al., 2015). (Grafik: DKRZ / HZG)

Die Simulationsergebnisse zeigen in Übereinstimmung mit den Reanalysen wirklichkeitsgetreue Zirkulationssysteme wie die Nordatlantische Oszillation (NAO) oder den indischen Monsun. Regionale Wetterphänomene wie tropische Wirbelstürme oder starke Tiefdruckgebiete (Abb. 6.1) werden im Globalmodell dagegen meist besser dargestellt, auch wenn deren Intensität gegenüber Beobachtungen nach wie vor unterschätzt wird. Mit Hilfe dieses neuen globalen Datensatzes können Änderungen unterschiedlicher Extremereignisse untersucht werden. Aktuell werden die Daten genutzt, um Wirbelstürme zu erforschen, die sich in Tiefdruckgebiete der mittleren Breiten umwandeln. Einige dieser ehemaligen Wirbelstürme erreichen Europa als schwere außertropische Stürme, wo sie mit erheblichen Schäden verbunden sein können. Ein Beispiel hierfür ist der ehemalige Hurrikan Gonzalo, der sich am 12.10.2014 östlich der kleinen Antillen in der Karibik formierte und 9 Tage später als außertropisches Sturmtief auf die Nordseeküste traf. Aufgrund von Starkniederschlägen, Gewittern und schweren Sturmböen kam es zu großen Schäden auf beiden Seiten des Atlantiks. In mehreren Anrainerstaaten der Nordsee führten maximale Windböen zwischen 100 und 180 km/h zu Sturmfluten (Feser et al., 2015).

El Niño und die globale Erwärmung

Die unregelmäßig auftretende Erwärmung des tropischen Ost- und Zentralpazifiks während mehrerer Monate – als El Niño bezeichnet – hat erhebliche Auswirkungen auf das Klima und die Ökosysteme weltweit. El Niño-Ereignisse können beispielsweise zu Dürren in Südostasien, starken Regenfällen im westlichen Südamerika und in Südkalifornien, zu Winterfrösten in Florida oder zu einer schwächeren Hurrikan-Aktivität im atlantischen Raum führen. In Indien sind große Hungersnöte als Folge sehr starker und außergewöhnlich lang anhaltender El Niño-Episoden, sogenannter Super El Niños, dokumentiert. Ein Beispiel hierfür ist der Super El Niño zwischen 1876 und 1878, als sich der tropische Pazifik für fast zwei Jahre außergewöhnlich stark erwärmt hatte („Great Famine“ mit geschätzten mehreren Millionen Toten). Für die Abschätzung des zukünftig zu erwartenden Klimas ist eine möglichst realistische Darstellung von El Niño-Episoden in Klimamodellen wichtig. Hierzu wurden verschiedene Simulationen mit dem Kieler Klimamodell (KCM) durchgeführt, das El Niños realistisch simuliert. Rechnungen mit heutigen und ansteigenden Treibhausgaskonzentrationen zeigen, dass infolge des Klimawandels Dauer und Intensität von El Niño-Episoden ansteigen und demzufolge in der Zukunft mehr Super El Niños auftreten können (Abb. 6.2)

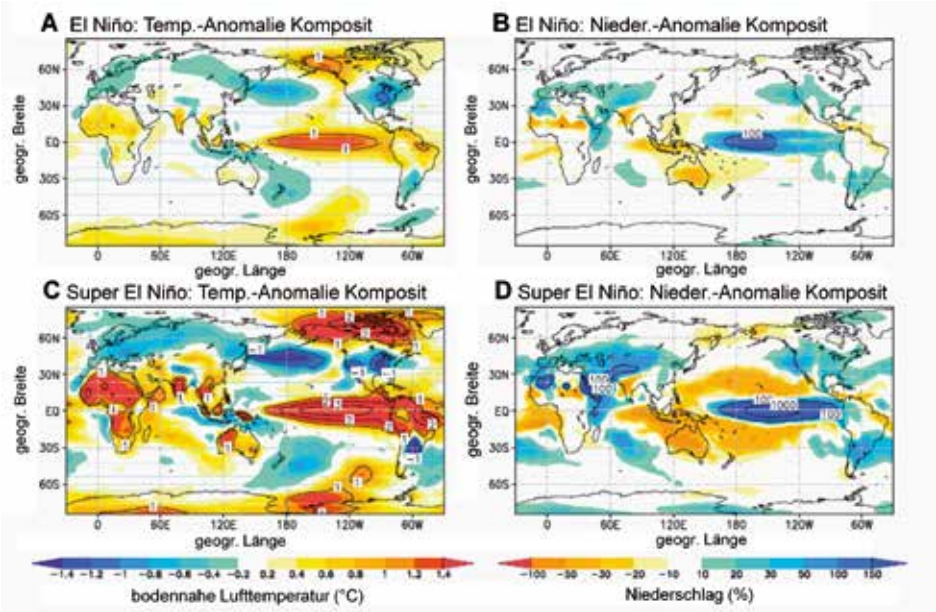

Abb. 6.2: Auswirkungen von „nomalen" El Niños (A,B) und von Super El Niños (C, D) auf die oberflächennahe Lufttemperatur (in °C; A,C) und den Niederschlag (in Prozent; B,D). Gezeigt sind die Anomalien gegenüber den langjährigen Mittelwerten. Das Modell wurde zu verschiedenen Zeitpunkten eines 1000-jährigen Kontrolllaufs (mit heutigen Treibhausgaskonzentrationen) gestartet und über 100 Jahre bei Zunahme der CO_2-Konzentrationen um 1% pro Jahr (CO_2-Verdopplung nach 70 Jahren, danach für weitere 30 Jahre konstant) gerechnet (Latif et al., 2015). (Grafik: Mojib Latif, GEOMAR)

Entwicklung eines saisonalen Dürrevorhersagesystems für Europa

Durch Verringerung von Ernteerträgen können Dürren zu humanitären Krisen und hohen wirtschaftlichen Schäden führen. Beispielsweise herrschte im Jahr 2003 über weiten Teilen Europas eine schwere Dürre, deren saisonale Entwicklung in Abbildung 6.3 dargestellt ist. Dürren treten in Regionen mit einem Bodenfeuchteindex niedriger als 0,2 auf, d.h. einer Eintrittswahrscheinlichkeit < 20% (Thober et al., 2015). Während im Februar in nahezu keiner Region Europas eine Dürre existierte, entwickelte sich bereits im Frühjahr eine schwere Dürre. Der Höhepunkt zeigte sich im August, als eine niedrige Bodenfeuchte mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von weniger als 5% in weiten Teilen Mitteleuropas vorlag. Um bessere Anpassungsmöglichkeiten an diese Extreme zu erlauben, wurde ein saisonales Dürrevorhersagesystem für Europa entwickelt. Dieses beruht auf meteorologischen Prognosen von Klimamodellen, die mittels des mesoskaligen Hydrologischen Modells (mHM) in Bodenfeuchtevorhersagen übersetzt werden. Es konnte gezeigt werden, dass diese Vorhersagen eine höhere Vorhersagegüte von Dürren liefern, als ein bisher oft verwendeter statistischer Ansatz. Die Prognosen, welche im Frühjahr beginnen (März-April), haben eine höhere Vorhersagegüte, als solche, die im Sommer (Juli-Aug.) erstellt werden.

Räumliche und langzeitliche Variabilität von Gewittern in Europa

Neben großräumigen extremen Wetterereignissen führen auch mit Gewittern verbundene Wetterphänomene wie Starkniederschläge, Starkwindböen oder Hagel in weiten Teilen Europas zu erheblichen Schäden. Aufgrund ihrer geringen räumlichen Ausdehnung lassen sich diese konvektiven Ereignisse jedoch weder aus Beobachtungsdaten noch aus Klimamodellen verlässlich rekonstruieren. Ein eigens dafür entwickeltes logistisches Modell (multivariates Analyseverfahren) kann aber zumindest das Potential der Atmosphäre für die Bildung von schweren Gewittern aus Daten von Klimamodellen abschätzen (Mohr et al., 2015a). Basierend auf regionalisierten NCEP1-Reanalysen (CoastDatII) zeigt der mit dem logistischen Modell bestimmte potentielle Hagelindex (PHI) in den vergangenen 60 Jahren in Europa eine sehr hohe zeitliche Variabilität (Abb. 6.4). Die Änderungen über diesen langen Zeitraum sind aufgrund der hohen Variabilität allerdings statistisch nicht signifikant.

In Europa ist die konvektive Aktivität vor allem von der Orographie, der Entfernung zum Meer und der Verfügbarkeit von Feuchtequellen bestimmt. Dies zeigen Analysen von Blitzdaten für die Jahre 2001 bis 2014. Demzufolge treten die häufigsten Gewittertage entlang des südlichen Alpenkamms auf, wo feuchte, labil geschichtete Luftmassen an Bergen angehoben werden. Dagegen kommt es an der Atlantikküste (z.B. Bretagne) sehr selten zu Gewittern, was auf den im Sommer stabilisierenden Einfluss des Atlantiks zurückzuführen ist. Im nächsten Schritt sollen die langzeitliche Variabilität der konvektiven Aktivität und die Ursachen näher untersucht werden.

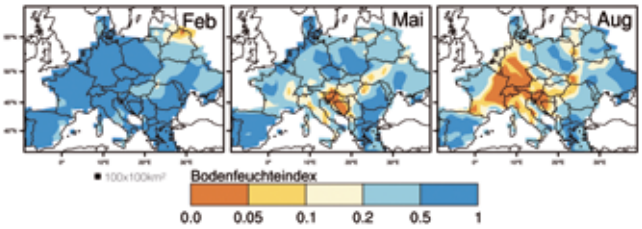

Abb. 6.3: Entwicklung des Bodenfeuchteindex für 2003 in Europa. Dürren treten in Regionen mit einem Bodenfeuchteindex niedriger als 0,2 auf, d.h. einer Eintrittswahrscheinlichkeit < 20% (Thober et al., 2015). (Grafik: Stephan Thober, UFZ)

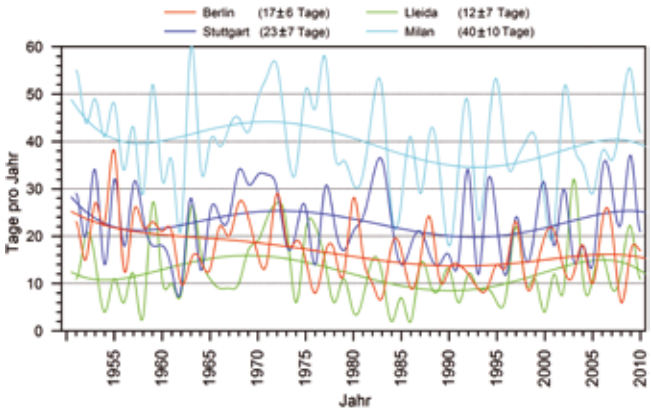

Abb. 6.4: Zeitliche Variabilität (1951 – 2010) des mittleren jährlichen Hagelpotentials (PHI); spline-Glättung für vier europäische Regionen basierend auf den CoastDatII-Daten des HZG (Mohr et al., 2015b). (Grafik: Susanna Mohr, KIT)

PD Dr. Michael Kunz (KIT), Michael.Kunz@kit.edu | Dr. Frauke Feser (HZG), Frauke.Feser@hzg.de

HZG | KIT | UFZ| EUV

7 Risikoanalyse und Risikomanagement für integrierte Klimastrategien

Welche Klimarisiken und Klimavariabilität haben einen spezifisch regionalen Fokus und wie sind sie zu bewerten? Wie kann Klimakommunikation – auch mit unterschiedlichen sozialen und kulturellen Gruppen – verbessert werden? Wie lassen sich Klimaanpassungs- und Klimaschutzstrategien verbinden und dabei gleichzeitig die Lücke zwischen internationalen und regionalen Klimaaushandlungsprozessen schließen?

Die sozialwissenschaftliche Analyse integrierter Klimaanpassungsstrategien auf regionaler Ebene ist ein neues Forschungsfeld, das einer methodischen Weiterentwicklung und theoretischen Vertiefung bedarf. Gerade die vielschichtigen Interdependenzen zwischen Klimaschutz (Mitigation) und Klimaanpassung (Adaptation) im Kontext sozialer, ökonomischer sowie natürlicher Kontexte machen eine sorgfältige Analyse und ‚geerdete' Bewertung notwendig, die regionalen Bedingt- und Eigenheiten Rechnung tragen. Dafür ist es erforderlich, Synergien und Konflikte zwischen Mitigations- und Anpassungsstrategien im Kontext sozialer, umweltpolitischer und wirtschaftspolitischer Diskurse zu untersuchen. Diese Diskurse, hier verstanden als kulturell eingebettete und medial geprägte Aushandlungsprozesse, beeinflussen die öffentliche Wahrnehmung von und Meinungsbildung zu Klimarisiken auf der regionalen Ebene und sind für eine konsistente und nachhaltig wirksame Entwicklung von integrierten Anpassungs- und Mitigationsstrategien von zentraler Bedeutung.

Thema 7 widmet sich aus dieser Perspektive den folgenden Themengebieten:

- Empirische Analyse der soziokulturellen Klima- und Gefahrenwahrnehmung und des Umgangs mit Klimarisiken auf regionaler Ebene;
- Entwicklung einer regional und lokal bezogenen Risikobewertung und Verbesserung der Klimakommunikation;
- Methodische und theoretische Weiterentwicklung sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Ansätze für deren Anwendung im Kontext integrierter regionaler Klimastrategien;
- Analyse internationaler Verhandlungen über Klimaanpassungs- und Mitigationsstrategien.

Im Folgenden werden schlaglichtartig einige aktuelle Forschungsaktivitäten im Thema 7 dargestellt.

Nutzung probabilistischer multikriterieller Bewertungsverfahren bei der urbanen Klimaanpassung

Zahlreiche Kommunen haben in den vergangenen Jahren damit begonnen, sich mit den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf städtischer Ebene zu beschäftigen. Auf Grundlage von sog. Vulnerabilitätsanalysen wurden lokale Klimaanpassungsstrategien entwickelt, die die zu erwartenden negativen Auswirkungen des Klimawandels verringern und die Nutzung sich ergebender Chancen fördern sollen. Die Stadt Jena ist eine dieser Pionierkommunen. Die Jenaer Klimaanpassungsstrategie (JenKAS) wurde im Frühjahr 2013 durch einen Beschluss des Stadtrats als informelle Grundlage der Stadtplanung politisch bestätigt. Seither hat eine Arbeitsgruppe, in der Vertreter verschiedener städtischer Fachbereiche, Vertreter von Landesbehörden sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusammenarbeiten, die Umsetzung der Strategie vorangetrieben.

Ein Schwerpunkt von JenKAS ist die Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Entwicklung in heutigen Planungsprozessen. Als eine Möglichkeit, diese Bemühungen zu unterstützen, haben Forscher des UFZ Anpassungs-Checks von Planungsvorhaben durchgeführt. Dabei wurden in die Planungen zu drei aktuellen Bauvorhaben Anpassungsmaßnahmen integriert, die von den Stadtplanern vor Ort als umsetzbar erachtet wurden. Diese Einzelmaßnahmen wurden variiert: Art und Anzahl der anzupflanzenden Bäume, Farbgestaltung der zu versiegelnden Flächen, Ausmaß der Dachbegrünung sowie Verwendung und Größe eines künstlichen Wasserlaufs. Die sich ergebenden Variationen wurden auf Basis von für die planerischen Entscheidungen relevanten Kriterien wie u.a. Kosten, mikroklimatische Situation und Aufenthaltsqualität, mittel- (2021-2050) wie langfristig (2021-2100) miteinander verglichen.

Abb. 7.1 : Visualisierungen der Ausführungsvarianten 2 und 3 des Bauvorhabens „Uni-Campus Inselplatz", Periode 2071-2100. (Grafik: Oliver Gebhardt, UFZ)

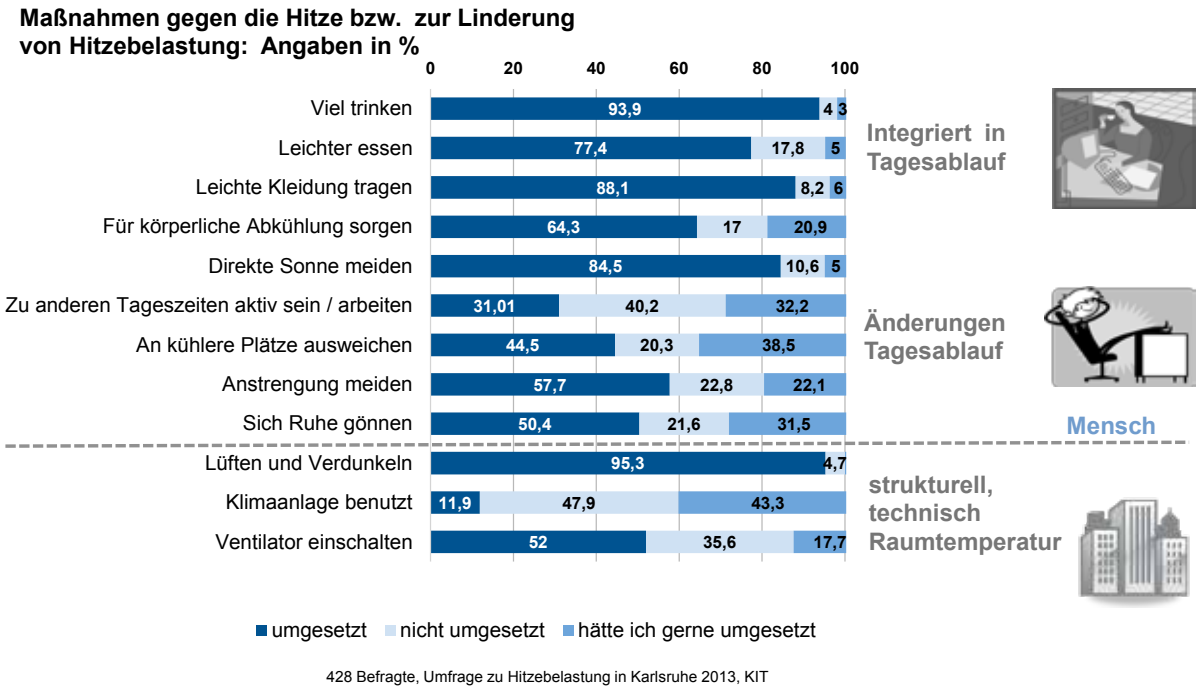

Abb. 7.2: Antworten (Prozentangaben) der Befragten zur Umsetzung von Maßnahmen gegen die Hitze auf Basis von Kunz-Plapp et al. (2014) und Kunz-Plapp et al. (2015, submitted). (Grafik: Tina Kunz-Plapp, KIT)

Für das Bauvorhaben „Universitäts-Campus Inselplatz“ ergab der Vergleich von drei denkbaren Ausführungsvarianten (Abb. 7.1), dass auf Basis der gewählten Entscheidungsparameter Variante 3 den Alternativen mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit sowohl mittel- als auch langfristig überlegen ist.

Zusammenfassend betrachtet zeigte sich, dass die vergleichsweise geringen Mehrkosten, die bspw. durch die Nutzung heller Materialien für die Pflasterung oder die Pflege großkroniger Stadtbäume entstehen, durch die positiven Effekte für das Mikroklima kompensiert werden. Ein Kostenbarwertvergleich groß- und kleinkroniger Straßenbäume ergab, dass erstere durch ihre durchschnittlich wesentlich längere Lebenszeit in der Gesamtbetrachtung günstiger sind als letztere. In die Kostenschätzungen der drei Alternativen ging auch eine Kosten-Nutzen-Analyse der Gründachvarianten ein. Die Ermittlung der für die Anpassungs-Checks notwendigen Daten wurde von den eingebundenen Stadtplanern als verhältnismäßiger Zusatzaufwand und insbesondere für größere Planungsvorhaben als gerechtfertigt eingeschätzt.

Subjektive Hitzebelastung in der Stadt, Bewältigung und Anpassung

“Hitzestress” und die Vermeidung gesundheitlicher Hitzefolgen sind vor dem Hintergrund des Klimawandels und des städtischen Wärmeinseleffektes ein wichtiges Thema städtischer Anpassungskonzepte. Zur Entwicklung geeigneter Strategien ist es notwendig, die von Bürgerinnen und Bürgern in ihrem Alltag erfahrene Hitzebelastung, ihre Strategien zur Bewältigung von Hitze sowie die Einflussfaktoren der subjektiven Hitzebelastung zu kennen und zu verstehen. Hierzu wurden im Rahmen von REKLIM durch das KIT im Sommer 2013 nach einer Hitzewelle 428 in Karlsruhe lebende und arbeitende Personen befragt. Es zeigte sich, dass die Hitze nicht nur zu Hause und bei der Arbeit als Belastung empfunden wird, sondern sich als Belastung durch den kompletten Alltag hindurch zieht. An Maßnahmen zur Linderung von Hitzebelastung haben die Befragten häufiger leicht in den Alltag integrierbare Maßnahmen umgesetzt als solche Maßnahmen, die Alltagsabläufe selbst verändern und eine gewisse Flexibilität erfordern (Abb. 7.2). Die Ergebnisse zeigen auch die Notwendigkeit zielgruppenorientierter Kommunikation von hitzeangepasstem Verhalten.

Bottom-up Implementierung von Windenergie in Nordfriesland: Der Fall Reußenköge

Forscherinnen und Forscher des HZG untersuchten in einer Studie (Süsser und Döring, in prep.) die potentiellen Einflüsse des Klimawandels auf die Nutzung und Etablierung von onshore-Bürgerwindparks an der deutschen Nordseeküste sowie die politischen Herausforderungen, die mit der Entwicklung dieser Nutzungen in Zusammenhang stehen. Raumplanung gilt nach wie vor als wichtiges Handlungsfeld für den Klimaschutz, die Energiewende und die Entwicklung neuer Technologien, um sich den damit verbundenen konfligierenden Interessen im Küstenraum zu widmen. Diese Untersuchungen ergänzen eine weltumspannende Gesamtschau von Fallstudien integrierter regionaler Klimastrategien am Golf von Mexiko, den Malediven und Vietnam.

In weiteren internationalen Aktivitäten aus dem Thema 7 wirkten Forscherinnen und Forscher des UFZ beim zweiten „Assessment Report Climate Change in Cities“ (ARC3-2) als Leitautoren für das Urban Climate Change Research Network (UCCRN) mit. Zugleich tragen Arbeiten aus dem Thema 7 zum Aufbau einer internationalen „Case Study Docking Station“ für gute Praxis-Beispiele von urbanem Klimaschutz bei.

IM FOKUS 8

AWI | GEOMAR | GFZ | HZG | UHB | UHD | UHH | UP

Schnelle Klimaänderungen aus Proxy-Daten

Welche Mechanismen, Prozesse und regionalen Klimamuster verstärken Klimasprünge in Warmzeiten und am Übergang von Eiszeiten in Warmzeiten? Wie unterschiedlich sind die Muster im Vergleich zur letzten Warmzeit, dem Eem, als es 1-2 °C wärmer war als heute?

Aus der Vergangenheit lernen

Die gegenwärtige und zukünftige Klimaentwicklung unterliegt aufgrund des zunehmenden menschlichen Einflusses auf das Klimasystem einem deutlichen Wandel. Umstritten ist allerdings, in welchem Umfang und mit welcher Geschwindigkeit dies geschieht. Für eine verbesserte Abschätzung fehlt es bislang an Informationen über Dauer, Geschwindigkeit, Frequenz und regionalen Mustern von lang- und kurzfristigen Klimaschwankungen aus Zeiträumen, in denen der Einfluss durch den Menschen noch keine Rolle spielte. Solche Informationen sind in natürlichen Klimaarchiven gespeichert, wie z.B. in den Sedimentablagerungen am Grund von Seen und dem Ozean, den großen polaren Eisschilden, aber auch in fossilen Sanddünen an Land. Die Erstellung erdgeschichtlicher Zeitreihen und deren Interpretation mithilfe der Paläoklimamodellierung bildet eine wesentliche Basis zum Verständnis über die Reaktion und Dynamik des Klimas gegenüber Veränderungen in den Anfachungsmechanismen und interner Rückkopplungsprozesse im Klimasystem. Ziel von Thema 8 war es, regionale und zeitliche Muster in der Klimavariabilität zwischen atlantischem und pazifischem Raum, sowie zwischen hohen und niederen Breiten für den Zeitraum der letzten 140.000 Jahre auf unterschiedlichen Zeitskalen von Jahren bis Jahrtausenden zu erfassen und in ihren Ursachen zu erklären. Dieser Zeitraum erlaubt es, nicht nur die raschen Klimawechsel am Ende der letzten Eiszeit zu erfassen, sondern auch Unterschiede zwischen der heutigen Warmzeit (Holozän) und der letzten Warmzeit vor etwa 120.000 Jahren, dem Eem (Abb. 8.1) herauszuarbeiten.

Während der letzten 5 Jahre wurden in enger Zusammenarbeit zwischen den Helmholtz-Zentren AWI, GEOMAR, GFZ, HZG und den Universitäten Bremen, Heidelberg, Hamburg und Potsdam wegweisende neue Erkenntnisse erzielt.

Schwellenwerte im Klimasystem – Ursachen und Auswirkungen abrupter Klimaänderungen

Der Wärmetransport des Nordatlantikstroms (Golfstrom) und die daran gekoppelte Tiefenwasserbildung in der Norwegisch-Grönländischen See halten einen wichtigen Schlüssel zum Verständnis rascher Klimaschwankungen, die sich innerhalb weniger Dekaden vollziehen und mit abrupten Temperatursprüngen auf Grönland einhergingen. Diese schnellen Temperaturänderungen zwischen kurzen Kalt- und Warmphasen (Stadialen und

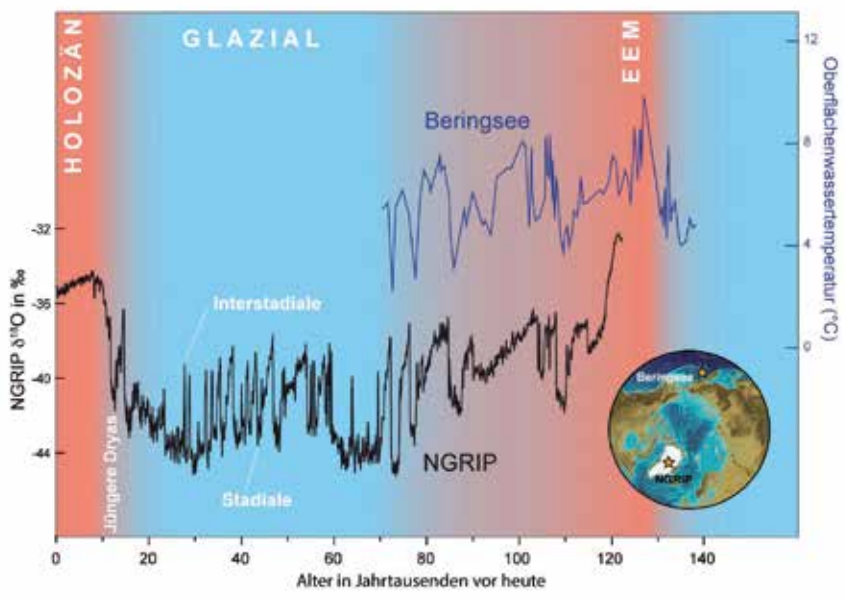

Abb. 8.1: Aus Eiskerndaten ($\delta^{18}O$, NGRIP) abgeleitete Klimavariabilität in Grönland im Vergleich zu Änderungen in den Wasseroberflächentemperaturen in der Beringsee. Rote Intervalle kennzeichnen das Holozän und das letzte Interglazial mit seinem Wärmemaximum im Eem. Die schnellen Klimasprünge kennzeichnen Wechsel zwischen Stadialen (kurzen Kaltphasen) und Interstadialen (kurzen Warmphasen). (Grafik: Ralf Tiedemann, Lars Max, AWI)

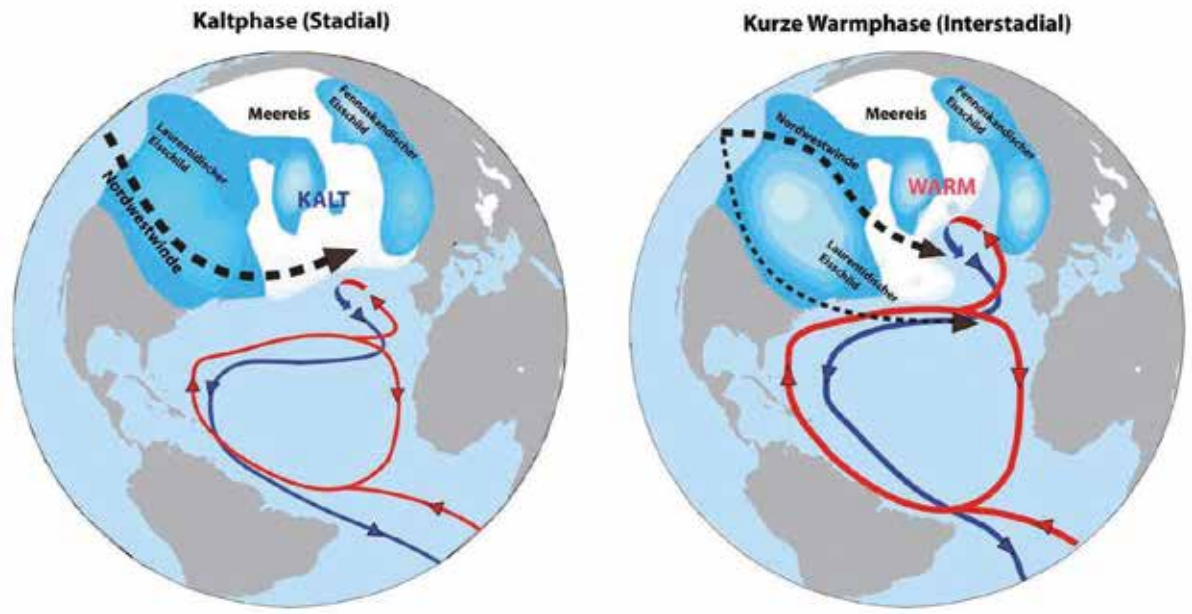

Abb. 8.2: Änderungen in den kontinentalen Eismassen der Nordhemisphäre und daran gekoppelte atmosphärisch-ozeanische Wechselwirkungen können abrupte Temperatursprünge zwischen Stadial und Interstadial auslösen. (Grafik: Xu Zhang, AWI)

Interstadialen) kennzeichnen vor allem die letzte Eiszeit (Abb. 8.1), als große Teile der Nordhalbkugel mit Inlandeis bedeckt waren und der Meeresspiegel bis zu 120 m niedriger lag als heute. Um die Ursachen solcher abrupter Übergange des vergangenen Klimas besser verstehen zu können, wurden diverse Prozesse mit komplexen numerischen Erdsystemmodellen untersucht. Die Modellläufe zeigten überraschenderweise, dass diese Klimasprünge nur während Zeiten mittleren Eisvolumens und mittlerer Meeresspiegelhöhe auftreten, also nicht während der Extremstände (Zhang et al. 2014). Während der Stadiale (Abb. 8.2) führten starke Nordwestwinde zu einem ausgedehnten Meereisdeckel auf dem Nordatlantik, wodurch der Wärmeaustausch zwischen Luft und Meer unterbunden wurde. Dies reduzierte die Tiefenwasserbildung und schwächte den Wärmetransport des Golfstroms in den Norden (Abb. 8.3a). Es wurde kälter. Mit dem Anwachsen der Eisschilde verlagerte sich die Hauptwindströmung weiter nach Norden und damit auch die Meereisgrenze. Die veränderten Bedingungen resultierten in einem erhöhten Wärmetransport nach Norden und kurbelten die Tiefenwasserbildung in der Norwegisch-Grönländischen See wieder an (Abb. 8.3b). Das Klima auf der Nordhalbkugel wurde innerhalb weniger Jahrzehnte wärmer („Interstadial“), bevor es aufgrund des dann einsetzenden Gletscherrückgangs über Nordamerika und den erneuten Änderungen der Windverhältnisse sich wieder begann abzukühlen („Stadial“). Während dieser Klimasprünge fanden auch tiefgreifende atmosphärische Veränderungen in den tropisch-subtropischen Regionen Nordwestafrikas und Südamerikas statt. Die Auswertung küstennaher, mariner Sedimentkerne kennzeichnet die Stadiale als Phasen mit erhöhten Niederschlägen im Hinterland, die vermutlich auf eine Südwärtsverlagerung der Innertropischen Konvergenzzone zurückgehen.

Schnelle Klimaänderungen erreichen Deutschland verspätet

Die Jüngere Dryas (12.800 – 11.500 Jahre vor heute) ist das letzte Stadial am Ende der letzten Eiszeit (Abb. 8.1). Sie ist für das Verständnis der Klimadynamik von besonderem Interesse, weil diese etwa 1300-jährige Rückkehr zu fast glazialen Klimabedingungen den letzten großen Klimaumschwung in der Nordhemisphäre markiert. Deshalb stand der abrupte Beginn der Jüngeren Dryas im Mittelpunkt einer Studie, bei

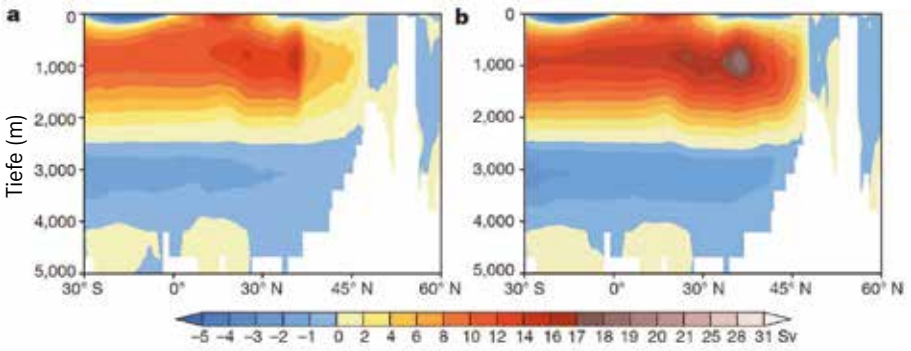

Abb. 8.3: Zonal integrierter Massentransport (in Sverdrup, 1 SV = 1 Mio. m³/s) als Anzeiger der atlantischen meridionalen Umwälzbewegung (AMOC) von 30° bis 60° Nord während a) Kaltphasen und b) Warmphasen. (Grafik: Xu Zhang, AWI)

Abb. 8.4: Seen mit jahresgeschichteten Sedimenten, die im Text erwähnt sind. Oben: Meerfelder Maar (Eifel) und Jahresschichten vom Beginn der Jüngeren Dryas (ca 12.680 Jahre vor heute); Mitte: Lago Grande di Monticchio (Süditalien) mit Jahresschichten aus dem letzten Interglazial (ca 128.000 Jahre vor heute); Unten: Ammersee mit Bohrplattform und Jahresschichten der letzten ca. 60 Jahre und Hochwasserschichten. (Fotos Mitte und unten: Achim Brauer, GFZ)

der Rekonstruktionen von Niederschlagsänderungen aus dem Sedimentprofil des Meerfelder Maarsees in der Eifel mit Temperaturrekonstruktionen aus grönländischen Eiskernen verglichen wurden (Rach et al., 2014). Damit konnte zum ersten Mal gezeigt werden, dass der starke Klimaumschwung, der die Jüngere Dryas innerhalb eines Jahrzehnts auf dem europäischen Kontinent einleitete, 170 Jahre nach der stärksten Änderung in Grönland erfolgte, die zwar in der Eifel ebenfalls spürbar war, dort aber keine größere Konsequenzen hatte. Dieser Nachweis regional unterschiedlich verlaufender Klimaveränderungen ist für die Verbesserung regionaler Klimamodelle von großer Bedeutung. Voraussetzung für diese Arbeit war eine präzise Synchronisierung der Seesedimente und Eiskerne anhand feinster Spuren vulkanischer Gläser des isländischen Vedde-Ausbruchs vor 12.140 Jahren, die im Rahmen einer weiteren Studie in Thema 8 nachgewiesen werden konnten (Lane et al., 2013).

Als es wärmer war als heute

Unsere durchgeführten Klimarekonstruktionen zum letzten interglazialen Klimaoptimum, dem Eem vor ca. 130.000 – 115.000 Jahren vor heute, sind deswegen so interessant, weil sie ein Klimaintervall kennzeichnen, in dem es global ca. 2 °C wärmer und der Meeresspiegel um etwa 6 m höher war als heute. Während die damalige Konstellation der Erdbahnparameter eine Erderwärmung begünstigte, lagen die CO_2-Gehalte allerdings deutlich unter den heutigen. Beunruhigend in diesem Zusammenhang ist, dass damals wahrscheinlich ein vollständiges Abschmelzen des westantarktischen Eisschildes entscheidend zur Meeresspiegelerhöhung beitrug. Bislang konnte dieser Kollaps jedoch nicht durch „harte Daten“ bestätigt werden. In Anbetracht der prognostizierten Erwärmung zum Ende dieses Jahrhunderts gewinnen allerdings Fragen zur Instabilität des westantarktischen Eisschildes und damit verbundener Schwellenwerte im Klimasystem zunehmend an Bedeutung. Der Übergang vom Eem zu vollen eiszeitlichen Bedingungen dauerte etwa 40.000 Jahre, von 115.000 bis 70.000 Jahren vor heute. Für diese Übergangsphase wurden in grönländischen Eiskernen tausendjährige Klimafluktuationen aufgezeichnet, die sich auf die gesamte nördliche Hemisphäre erstrecken (Abb. 8.1). Die Wechsel zwischen Interstadialen und Stadialen traten ähnlich plötzlich, wie im letzten Glazial, in Zeiträumen von weniger als 100 Jahren auf. Erste Ergebnisse aus dem subpolaren Nordpazifik zeigen, dass die Temperaturen im Nordpazifik während des Eem dort um ca. 1,5 °C wärmer waren als heute und damit den globalem Erwärmungstrend bestätigen (Max et al. 2014). Sie spiegeln allerdings auch die damit verbundene Änderungen in der atlantischen Tiefenwasserzirkulation wieder (nicht gezeigt) und die darauf folgenden schnellen Temperaturänderungen auf Grönland (Abb. 8.1). Diese Indizien weisen darauf hin, dass die Änderungen in Zirkulationsmustern des Nordatlantiks während der letzten Warmzeit ebenfalls einen unmittelbaren Einfluss auf die Klimaentwicklung im Nordpazifik, und zwar auf Zeitskalen von Jahrhunderten bis Jahrtausenden hatten.

Interessanterweise und in dieser Form nicht erwartet, konnte in einer parallelen Studie an jahresgeschichteten Sedimenten aus dem Lago Grande di Monticchio Maarsee in Süditalien ein gleichlaufendes Muster plötzlicher Klimawechsel gezeigt

Abb. 8.5: Geowissenschaftler bei der Vermessung einer Düne im Nordosten Polens. (Foto: Christian Betzler, UHH)

werden (Martín-Puertas et al., 2014). Zeitlich hochauflösende Untersuchungen an diesen Seesedimenten erbrachten neue Einsichten in die Übergangsphase vom letzten Interglazial in das Glazial für den Mittelmeerraum. Dort wurde eine Folge von einer kürzeren, ca 200-jährigen und fünf 1.500 bis ca. 3.200 Jahre andauernden Klimaschwankungen mit kalten Wintern und trockenen Sommern nachgewiesen (Martín-Puertas et al., 2014), die eine generelle nordhemisphärische klimatische Instabilität in diesem Zeitraum belegen. Anhand eines neu erstellten, präzisen Altersmodells wurden diese Daten mit Proxydaten aus grönländischen Eiskernen und Stalagmiten aus den Alpen in einem europäischen Nord-Südprofil zusammengeführt. Dieses Profil belegt, dass trotz des gleichen grundsätzlichen Musters der Klimaschwankungen die einzelnen Übergänge von warmem zu kaltem Klima und umgekehrt sowie die Amplituden der Schwankungen regional stark voneinander abweichen. Die Suche nach den Gründen für diese Unterschiede ist Gegenstand weiterer Arbeiten, denn ein umfassendes Wissen der klimatischen Auslöser und Wechselwirkungsprozesse, die hinter diesen massiven Klimaschwankungen stehen, kann dazu beitragen, die langzeitliche Entwicklung der derzeitigen Warmzeit zu beurteilen und Anzeichen zukünftiger, abrupter Klimaänderungen auf menschheitsrelevanten Zeitskalen besser abzuschätzen.

Extremereignisse – Hochwässer und Stürme

Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Entwicklung neuer Klimaproxies als Anzeiger für Extremereignisse, wie zum Beispiel für Windintensität anhand von Dünensedimenten, und Überflutungen anhand von jahresgeschichteten Seesedimenten (Abb. 8.4). In einer Pilotstudie an Seesedimenten des Ammersees am Nordalpenrand wurde erstmals eine Zeitreihe extremer Hochwässer der letzten 5.500 Jahre erstellt (Czymzik et al., 2013). Das wichtigste Ergebnis dieser Studie war die Erkenntnis, dass extreme Hochwässer statistisch nicht stationär verteilt sind, sondern sowohl langfristigen Veränderungen über Jahrhunderte und Jahrtausende als auch dekadischen Schwankungen unterliegen. Interessant ist die generelle Zunahme der Hochwasserhäufigkeit in den letzten 5.500 Jahren, die zu bestimmten Zeiten, wie etwa vor 2.800 Jahren oder während der Kleinen Eiszeit (ca. AD 1600), besonders ausgeprägt war. Ein einfacher Zusammenhang von Hochwasserhäufigkeit zur Temperatur konnte nicht belegt werden, aber die Ursachen der beobachteten Variabilität von extremen Hochwässern sind noch in Diskussion und Gegenstand weiterer Arbeiten.

Die Studie an Dünen der polnischen Ostseeküste bei Łeba (Abb. 8.5) verfolgt einen innovativen Ansatz zur Rekonstruktion von jährlich variierenden Windintensitäten. Fundierte Kenntnisse über die interne Architektur der Dünen sind dabei von zentraler Bedeutung. Alle untersuchten Dünen zeigen ein charakteristisches dünen-internes Muster, welches die jahreszeitlichen Variationen im Windregime widerspiegeln, aber auch die Variationen des Windregimes über mehrere Jahrzehnte hinweg. Im Zeitraum von 1987 bis 2012 sind dabei Episoden mit stärkeren Winden, wie in den Jahren 1994 und 2001, und mit schwächeren Winden in 1993 und 2005 als unterschiedlich mächtige Sediment-Pakete in den Dünen konserviert. Die sehr gute Korrelation der geologisch-sedimentologisch gewonnenen Daten mit den meteorologischen Daten zeigen, dass die Internstrukturen von Dünen einen Proxy liefern, der zur Klimarekonstruktion eingesetzt werden kann.

IM FOKUS 9

DLR | FZJ | HMGU | KIT | TUM | UK | UKA

Klimawandel und Luftqualität

Wie beeinflusst der Klimawandel die Luftqualität in Europa? Welches sind die möglichen Auswirkungen von Klimawandel und einer veränderten Luftqualität auf die Gesundheit? Wie kann man die verschiedenen Kopplungen und Rückwirkungen in numerische Klima- und Luftqualitäts-Modelle integrieren? Was für Messdaten werden benötigt, um diese Effekte quantitativ zu charakterisieren?

Das nun mit Thema 5 vereinte Thema 9 war mit einem umfangreichen Fragenkomplex an den Start gegangen:

1. Wie beeinflusst der Klimawandel die Luftqualität in Europa?
2. Welches sind die möglichen Auswirkungen von Klimawandel und einer veränderten Luftqualität auf die Gesundheit?
3. Wie kann man die verschiedenen Kopplungen und Rückwirkungen in numerische Klima- und Luftqualitäts-Modelle integrieren?
4. Was für Messdaten werden benötigt, um diese Effekte quantitativ zu charakterisieren?

Diese Fragestellungen entsprangen der Erkenntnis, dass Klimawandel und Luftqualität meist noch zu isoliert betrachtet werden. Tatsächlich beeinflussen sich beide Prozesse jedoch stark gegenseitig. Da sich die Luftqualität natürlich auf die menschliche Gesundheit auswirkt, müssen die Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Luftqualität verstärkt untersucht werden. Ein Ziel sind verlässliche Vorhersagen insbesondere darüber, wie sich Luftqualität im regionalen Klimawandel ändern wird und welche gesundheitlichen Folgen dies für die Bevölkerung vor allem in Städten und Ballungsgebieten hat. Herausforderungen hierbei sind und waren die Entwicklung von gekoppelten Modellen (die verschiedene Skalenbereiche abbilden müssen) und sub-skaligen Parametrisierungen (um Skalenlücken zu schließen) sowie die Erhebung von geeigneten Beobachtungsdaten, die dann mit den Modellergebnissen konfrontiert werden müssen. Beispiele dieser Arbeiten werden hier vorgestellt.

Verbesserung von Emissionsdatensätzen

Die Chemie der Troposphäre, die viele Aspekte der Luftqualität bestimmt, wird durch Emissionen getrieben. Die genaue Kenntnis dieser Emissionen ist daher sehr wichtig, aber unsere momentanen Erhebungen sind noch mit sehr großen Unsicherheiten versehen. Datenassimilation und inverse Modellierung sind daher wichtige Werkzeuge, um Messungen von Spurengaskonzentration dazu zu nutzen, Emissionen besser abzuschätzen (Abb. 9.1). Die Optimierung von Emissionsfaktoren wird daher in einem komplexen Modellsystem extensiv betrieben, um ein besseres Verständnis der chemischen Veränderungen unserer Atemluft, auch in Städten, zu bekommen (siehe auch „Modellevaluierung“ und „Weiterentwicklung“ in Thema 5).

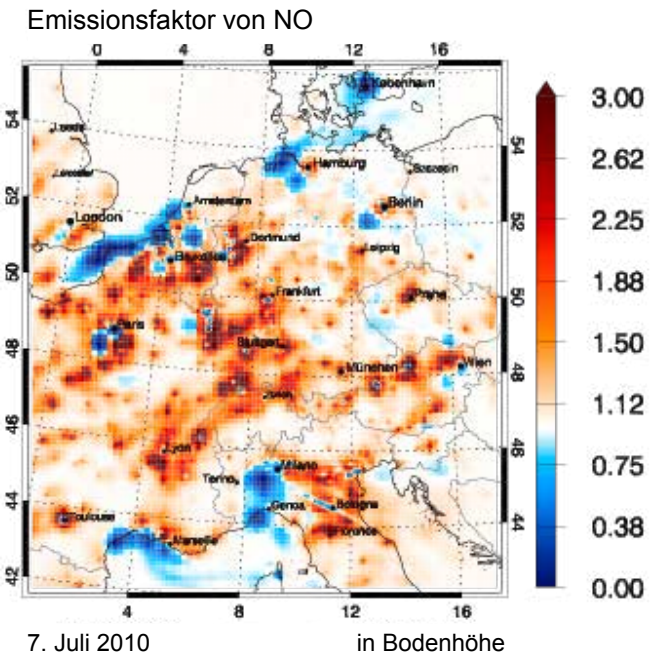

Abb. 9.1: Korrekturfaktoren für NO-Emissionen aus dem TNO-Kataster für den 7. Juli 2010. Ein komplexes Assimilationsmodell wird verwendet um aus in-situ und Satellitenmessungen von Spurengaskonzentrationen auf Emissionen zurückzurechnen. Entsprechend dieser Rückrechnung kann dann das TNO Kataster für den Tag der Beobachtungen korrigiert werden. (Grafik: Hendrik Elbern, Zoi Paschalidi, FZJ)

Messung von Temperatur und relativer Feuchte in der Region Augsburg

Um die heterogenen Eigenschaften einer Stadt besser abbilden zu können, sind regelmäßige Messkampagnen erforderlich. An 55 Standorten (35 davon in der Stadt Augsburg und 20 in den umliegenden Landkreisen) wurden basierend auf der räumlichen Verteilung der Heimadressen der KORA (Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg) Studienteilnehmer, sowie der zu erwartenden räumlichen Variation der meteorologischen Variablen, Messungen von Temperatur und relativer Feuchte durchgeführt (siehe Abb. 9.2). Im Februar 2015 wurden 20 Messgeräte verlegt, um die Temperatur und relative Feuchte während der Birkenblüte (Februar bis Mai) direkt an beprobten Birken zu messen. Die Messkampagne endete im Mai 2015. Der Datensatz wird derzeit evaluiert.

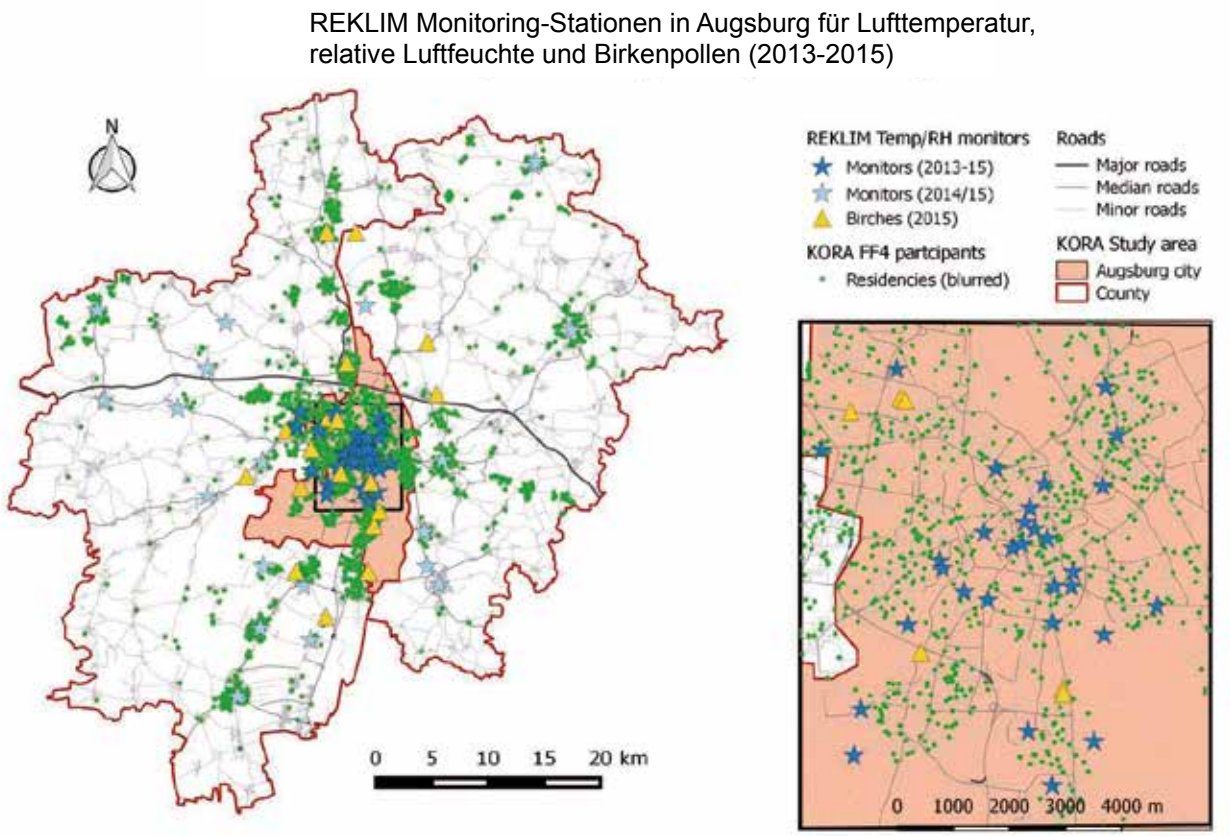

Abb. 9.2: Lage der REKLIM Messstationen für Lufttemperatur und relative Feuchte sowie die Heimadressen der KORA FF4 Teilnehmer (räumlich verzerrt). (Grafik: Kathrin Wolf, HMGU)

Landnutzungsmodellierung von Temperatur und relativer Feuchte

Um Datenlücken zu schließen (nicht überall kann gemessen werden) und neue Daten anwendbar zu machen (z.B. durch die Verbindung mit anderen Datensätzen) ist eine komplexe Arbeitskette erforderlich. Derzeit wird die Standardarbeitsanweisung (SOP: standard operating procedure) zur Expositionsabschätzung erstellt, die die Berechnung von Jahres- und Saisonmittelwerten, die Sammlung der Daten des Geoinformationssystems (GIS), die Daten-Analysen, die Entwicklung und Validierung der Landnutzungsmodelle sowie die Schätzung der thermischen Belastung an den Heimadressen der KORA Teilnehmer beschreibt. Die GIS-Datenbasis wurde mit den neuesten Karten zu Verkehr, Landnutzung und Bevölkerung aktualisiert sowie um Daten zu Gebäudehöhe und Windgeschwindigkeit ergänzt.

Im ersten Schritt wurde die Differenz zwischen der Lufttemperatur, die an jeder der 35 Messstationen der Stadt Augsburg gemessen wurde, und der Lufttemperatur der Referenzstation „Flughafen Augsburg“ berechnet. Danach wurden für jede Messstation standortspezifische Einflussgrößen als Prediktorvariablen errechnet. Typische Einflußgrößen sind die prozentualen Flächenanteile spezifischer Landnutzungs-/Oberflächenkategorien („Datensätze verbinden“) als auch die Entfernung der Messstation von der Stadtmitte. Anschließend wurde die Temperaturdifferenz mittels Regressionsmodellen berechnet. Nach der Modellevaluierung wurden die passenden statistischen Modelle auf gerasterte Landnutzungsdaten angewendet, um räumliche Verteilungen der Lufttemperaturdifferenzen (bezogen auf die Referenzmessstation Flughafen Augsburg) abzuleiten („Datenlücken schließen“). Verschiedene Modelle werden gegenwärtig getestet und auf unterschiedliche Jahres- und Tageszeiten sowie auf unterschiedliche synoptische Bedingungen (z.B. klare und ruhige Wetterlagen, wolkige und windige Wetterlagen) angewendet. Vorläufige Ergebnisse der Analysen bestätigen die generelle Anwendbarkeit des gewählten statistischen Ansatzes, zeigen aber auch ausgeprägte Schwankungen der Beiträge der Prediktorvariablen hinsichtlich Jahreszeit, Tageszeit und synoptischer Wetterlage. Abbildung 9.3 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Modellierung der Temperaturdifferenzen für den Monat Juli für 4:00 Uhr (vor Sonnenaufgang) bei einer ruhigen und klaren Wetterlage.

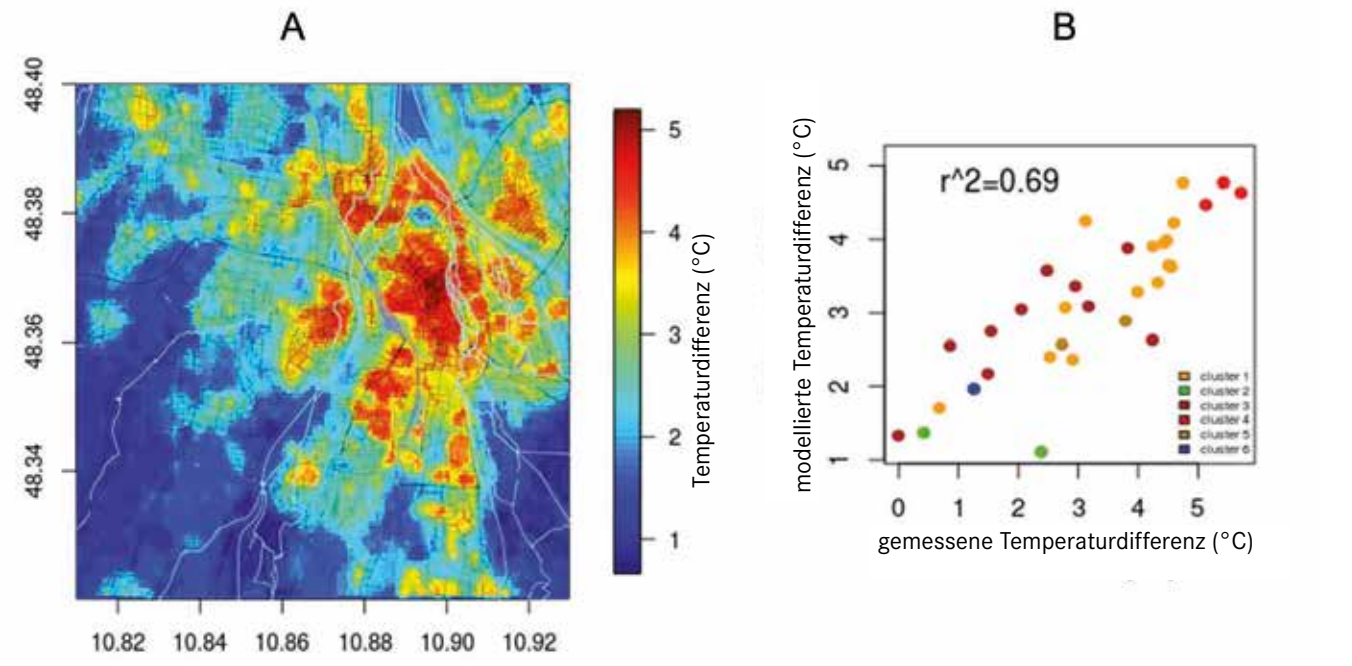

Abb. 9.3: a) Modellierte Verteilung der Temperaturdifferenz (Referenzmessstation ist der Flughafen Augsburg) und b) Scatterplot der modellierten gegenüber der gemessenen Temperaturdifferenz für 35 Messstationen in der Stadt Augsburg jeweils für den Monat Juli um 04:00 Uhr bei klarer und ruhiger Wetterlage. (Grafik: Christoph Beck, Universität Augsburg)

Erhebung von Gesundheitsdaten in der Region Augsburg

Die wiederholte Untersuchung und Befragung von Augsburger Bürgerinnen und Bürgern (sogenannte KORA Kohorte) liefert wichtige Basisdaten für epidemiologische Untersuchungen. Ab Juni 2015 stehen die Daten der Fragebögen und Gesundheitsmodule sowie der Bioproben zur Verfügung und können dann mit den Temperatur- und Feuchtedaten verknüpft werden. Epidemiologische Analysen zur Untersuchung sowohl kurz- als auch langfristiger Einflüsse von Temperatur und relativer Feuchte auf die Entstehung von Krankheiten (z.B. Diabetes) als auch auf ausgewählte Biomarker (z.B. Blut- und EKG-Parameter) sind für Herbst/Winter 2015/2016 geplant.

Knospenentwicklung von Birken und Freisetzung von Pollen in Bayern

Ein weiterer wichtiger Aspekt für das menschliche Wohlbefinden ist die Pollenbelastung, die auch mit der Luftqualität zusammen hängen kann. Die individuelle Anfälligkeit für Birkenpollenallergie wird besonders durch die Birken beeinflusst, die in der näheren Umgebung zum Aufenthaltsort wachsen. Vorhersagen für die atmosphärischen Pollenmengen basieren gewöhnlich auf Birkenverteilungskarten, einfachen sogenannten Temperatursummenmodellen, um den Beginn und die Dauer der Blüte zu schätzen, und geschätzten Pollenemissionsraten. Wettervorhersagemodelle berechnen dann chemische Interaktionen des Pollens und die Richtung und Weite des atmosphärischen Transports. Die daraus resultierenden Pollenflugvorhersagen sind grobe Schätzungen der tatsächlichen Pollenmengen in der Region. Das variable allergene Potential des Pollens wird jedoch meist nicht berücksichtigt. In anderen Worten: Es wird häufig übersehen, dass hohe atmosphärische

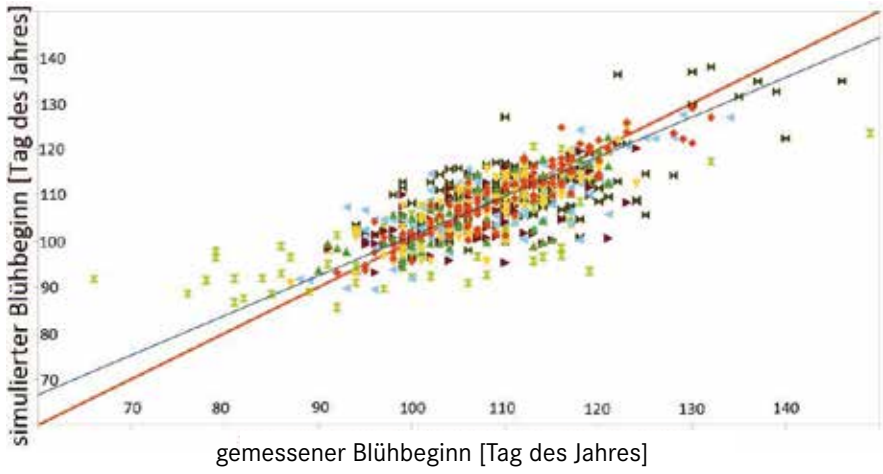

Abb. 9.4: Simulierter und gemessener Blühbeginn an 66 Standorten in 10 Jahren (2001-2010) in Bayern. Die Treffgenauigkeit der Simulationen nahm ab an Standorten mit großer Variabilität bezüglich des gemessenen Blühbeginns in verschiedenen Jahren. Rote Linie: 1:1-Linie; blaue Linie: lineare Regression, R^2=0.83. Jede Farbe repräsentiert eine Gruppe von 10 Standorten vergleichbar großer Standardabweichungen (STABW) für die Messwerte der 10 Jahre. Rot ist die Gruppe der kleinsten STABW, gefolgt von gelb, dunkelgrün, braun, hellblau, schwarz und hellgrün, welche die größten STABW aufweist. (Grafik: Christian Biernath, Christian Klein, HMGU)

Pollenfrachten niedrige allergische Reaktionen hervorrufen können, wenn das allergene Potential niedrig ist oder geringe Pollenmengen mit hohem allergenem Potential starke allergische Reaktionen hervorrufen können. Das allergene Potential hängt von der biochemischen Zusammensetzung des Pollenkorns ab und wird durch die Luftqualität beeinflußt (siehe auch Beitrag in Thema 5).

Für die Erstellung eines integrierten Modellsystems wurde im ersten Schritt das Landoberflächenmodell Expert-N mit dem Wettermodell WRF gekoppelt, mit dem Ziel, Pollenemissionen und atmosphärische Transporte auf regionaler Skala zu simulieren. Um die Mechanismen des Birkenwachstums und der Nährstoffallokation ins Pollenkorn besser zu verstehen, wurde in einem zweiten Schritt die Fähigkeit eines häufig verwendeten Temperatursummenmodells getestet, um den Beginn der Birkenblüte an 66 Standorten in den Jahren 2001 bis 2010 in Bayern zu simulieren.

Das Ergebnis: 13% der Simulationen sagten den gemessenen Blühbeginn exakt vorher. 42% der Simulationen verfehlten den gemessenen Termin um weniger als 2 Tage. Nur 10% der Simulationen verfehlten den Messwert um mehr als 10 Tage. Die stärksten Abweichungen wurden vorwiegend dann beobachtet, wenn der gemessene Blühbeginn sehr früh oder spät im Jahr stattfand. Diese Werte wurden vom Modell über- oder unterschätzt (Abb. 9.4).

Drei Standorte wurden ermittelt, an denen Mess- und Simulationswerte in 7 von 10 Jahren mehr als 10 Tage voneinander abwichen. In den Jahren 2001 und 2002 wichen 25% der Simulationswerte aller Standorte von den Messwerten mehr als 10 Tage ab, während es in den Jahren 2003 bis 2008 lediglich zwischen 1% und 8% der Standorte pro Jahr waren.

Hieraus kann geschlussfolgert werden, dass einfache Temperatur basierte Modelle (Temperatursummenmodelle) verwendet werden können, um den Blühbeginn von Birken in Bayern vorherzusagen. Allerdings können wir nicht empfehlen, die Modelle an Standorten zu verwenden, an denen die Differenz im Laufe von 10 Jahren zwischen dem frühesten und dem spätesten gemessenen Tag des Blühbeginns mehr als 30 Tage beträgt. An Standorten mit derart starker Variabilität bezüglich des Blühbeginns ist ein Phänologiemodell, das lediglich auf der Integration von Temperatursummen basiert, offensichtlich zu einfach. Die Schlüsselprozesse hierfür bleiben weiterhin unklar.

In einem zukünftigen Schritt wird ein Baumwachstumsmodell, welches in das prozessbasierte Boden-Pflanze-Atmosphäre Modellsystem Expert-N eingebettet ist, angewendet, um die Allokation von Nährstoffen in Birken zu untersuchen. Auf Basis des Temperatursummenmodells für die Simulation der Birkenblüte wird das Baumwachstumsmodell angewendet, um die biochemische Zusammensetzung des Pollens während der Blüte und zum Zeitpunkt der Emission zu berechnen. Wir erwarten, dass dieser mehr mechanistische Ansatz verbesserte Vorhersagen bezüglich der standortspezifischen Birkenpollenproduktion, der biochemischen Zusammensetzung von Birkenpollen und der Emissionsraten erlaubt und somit auf regionaler Skala bessere Vorhersagen des tatsächlichen allergenen Potentials der aktuellen und zukünftigen Luftbelastung mit Birkenpollen für Allergiker erlaubt.

Die zukünftige Entwicklung des Themas

Die neue, gemeinsame Aufstellung der Themen 5 und 9 erlaubt eine holistische Sicht auf das globale System von „Luftzusammensetzung und Klima“, welches viele Skalen und Wechselwirkungen umfasst. Hier erforschen Wissenschaftler eine vollständige Wirkungskette, die über Skalenbereiche hinweg reicht. Es werden Modell-Hierarchien und atmosphärenchemische sowie meteorologische Beobachtungen genutzt. Sowohl Modelle als auch Beobachtungen decken dabei den globalen, regionalen und lokalen Skalenbereich ab. Die Betrachtung der Wirkungskette reicht bis zur bebauten Umwelt und ihrem Einfluss auf Luftzusammensetzung und Klima. So interessieren auch städtische Wärmeinseln, Luftqualität und deren Einfluss auf Menschen und Ökosysteme als Teile eines Puzzles im Kontext des globalen Klimawandels (Abb. 9.5).

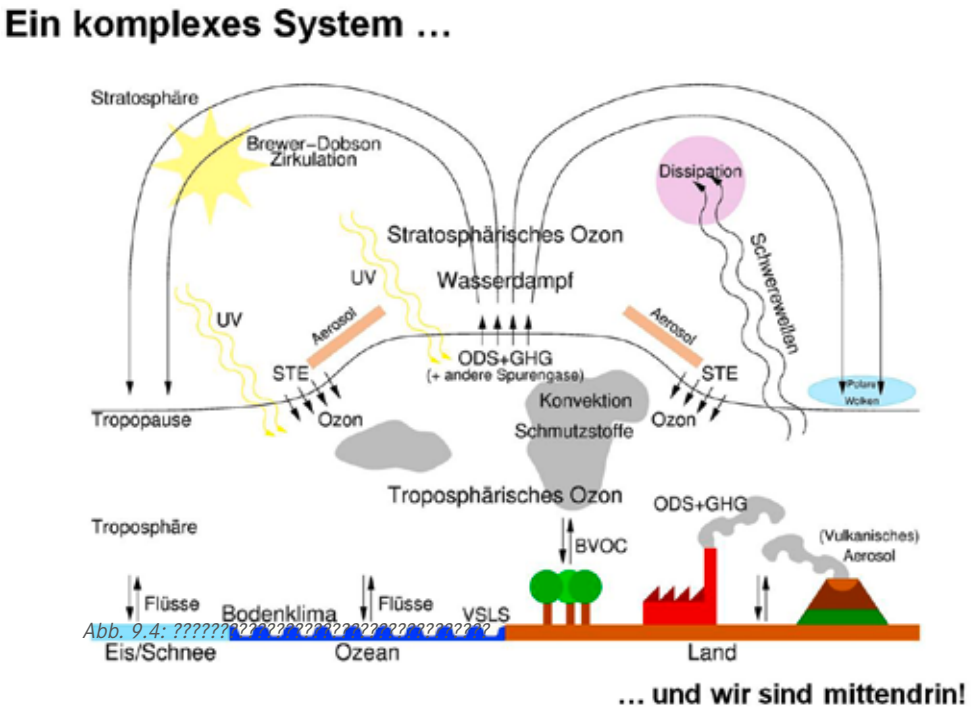

Abb. 9.5: Idealisierte Darstellung des Klimasystems unter besonderer Berücksichtigung der Luftzusammensetzung. Emissionen treiben das Luftchemische-System in dem wir leben. Sie werden durch Wetter und Klimaparameter gesteuert. Im Gegenzug beeinflussen die Emissionen die generelle Luftzusammensetzung, die in der Strahlungsbilanz der Erde wirksam wird. Dadurch werden dann auch wieder Wetter und Klima verändert. Das Zusammenspiel und die Wechselwirkungen aller Komponenten ist hoch komplex, und verlangt nach besseren Modellen und Beobachtungen. (Grafik: Peter Braesicke, KIT)

Abb. 9.4: ??????????????????????????????????

IM FOKUS 10

GFZ | HZG | KIT | UFZ | UHH | UKA | UL | UP

Risikoabschätzungen und Risikomanagement für Klimaanpassungsstrategien

Mit welchen Risiken geht der Klimawandel einher, und wie sind diese aus ökonomischer Sicht zu bewerten? Wie können politische Entscheidungsträger beim Umgang mit diesen Risiken von wissenschaftlicher Seite unterstützt werden?

Basis für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel ist die Abschätzung und Bewertung zukünftiger Risiken. Die integrierte Analyse der Dynamiken des Klima- und sozioökonomischen Wandels in tief gegliederten regionalen Kontexten stellt eine große Herausforderung dar. Die Kopplung von natur- und sozialwissenschaftlichen Ansätzen innerhalb der beteiligten Helmholtz-Zentren (GFZ, HZG, KIT, UFZ) ermöglicht solche integrierten regionalen Risikoanalysen. Der Schwerpunkt der Arbeit im Thema 10 liegt auf der Betrachtung meteorologischer Extremereignisse, wie Sturmfluten, Hochwasser, Starkwinde, Hagel und Dürren und auf der integrierten Bewertung kommunaler oder regionaler Planungskonzepte und Anpassungsstrategien. Die beteiligten Institute entwickelten Methoden und Verfahren, um politische Entscheidungsträger und weitere Stakeholder im Management von Risiken unter hohen Unsicherheiten zu unterstützen. Die wissenschaftliche Forschung im Thema 10 verbindet System- und Handlungswissen und versteht die Einbindung von Handlungsakteuren als grundlegendes Element der Forschungsstrategie. Im Folgenden werden einige Forschungsaktivitäten im Zeitraum 2011-2014 vorgestellt.

Wahrnehmung von Klimawandel und Naturkatastrophen

Kulturelle Wertevorstellungen und Wahrnehmungen von Risiken in der Bevölkerung spielen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung zukünftiger Planungs- und Managementstrategien. Aber wie nimmt die Bevölkerung einer Region den Klimawandel und die potentielle Gefahr von Naturkatastrophen wahr? Forscherinnen und Forscher des HZG führten im Rahmen von REKLIM Interviews auf Inseln und Halligen in Nordfriesland zur Klimawahrnehmung und -bewertung und in Reußenköge (Nordfriesland) zu küstenbezogenen Klimaanpassungsstrategien und zur Nutzung erneuerbarer Energien durch (Abb. 10.1). Im Rahmen der Befragungen wurde eine hohe Sensibilität der Bewohnerinnen und Bewohner gegenüber der Klimafrage ermittelt, jedoch nur im Kontext weiterer gesellschaftlicher Problemlagen wie z.B. des demographischen Wandels und der sozialen Versorgung. Die Klimafrage wird als wichtiges Problem angesehen, steht jedoch nicht an erster Stelle. Individuelle Klimaschutzanstrengungen wie z.B. die Isolierung von Häusern, das Nutzen von elektrischen Autos oder die Installation alternativer Energiegewinnung werden aktiv durch die Bewohnerinnen und Bewohner sowie lokale politischen Akteure vorangetrieben, wobei viele der Befragten der Meinung sind, dass mit den bestehenden Schutzmaßnahmen (Deiche) auch die Folgen des Klimawandels kontrolliert werden können. Ein weiterer bedeutsamer Teil der Befragten ist angesichts widersprüchlicher Presse- und Fernsehberichte der Meinung, dass der Klimawandel ein rein wissenschaftliches Konstrukt ist und kein konkretes Problem darstellt. Dennoch wird vor allem im Bereich der erneuerbaren Energien bei der lokalen Bevölkerung die Chance gesehen, eine nachhaltige Energiewende aktiv mitzugestalten und gleichzeitig lokale wirtschaftliche Einnahmen zu generieren.

Auch wenn das Thema Klimawandel von der Bevölkerung teilweise kritisch betrachtet wird, so ist doch die Unterstützung der Klimaanpassungsmaßnahmen durch die lokale Bevölkerung von großer Bedeutung, damit sie sozial akzeptiert und erfolgreich durchgeführt werden können. Darüber hinaus besteht zunehmendes Interesse in der Frage, welchen Einfluss soziale Ungleichheiten auf regionale Anpassungskapazitäten haben. In Deutschland ist jede achte Person ein(e) Migrant(in) und die Zahl der Einwanderer wird sich in den nächsten Jahren voraussichtlich erhöhen. Deshalb arbeitet das HZG zusätzlich an der Wahrnehmung und Konzeptualisierung des Klimawandels unter Migranten. Es wurde u.a. untersucht, welche Informationsquellen die mentalen Bilder von Klima und Klimawandel beeinflussen. Im Rahmen der Studie werden in Hamburg Tiefeninterviews mit verschiedenen Migrantengruppen und offiziell an der Integration von Migranten beteiligten Organisationen durchgeführt. Die Studie untersucht Faktoren, wie psychologische Distanz zum Thema Klimawandel, wahrgenommene Selbstwirksamkeit und die Rolle von Erfahrung. Es wird ermittelt, wie sich diese Faktoren auf die Schutzreaktionen oder nicht-schützende Reaktionen von Migranten auswirken und welche Bedeutung diese Aspekte für die regionale Anpassung in Deutschland haben (de Guttry et al. 2015).

Die Fragen regionaler Risikowahrnehmungen in Folge des Klimawandels wurden zentrenübergreifend bearbeitet, erfolgreich in die Forschungsprogramme der beteiligten Standorte integriert und in enger Zusammenarbeit mit dem Thema 6 „Modellierung und Verständnis extremer meteorologischer Ereignisse“ bearbeitet.

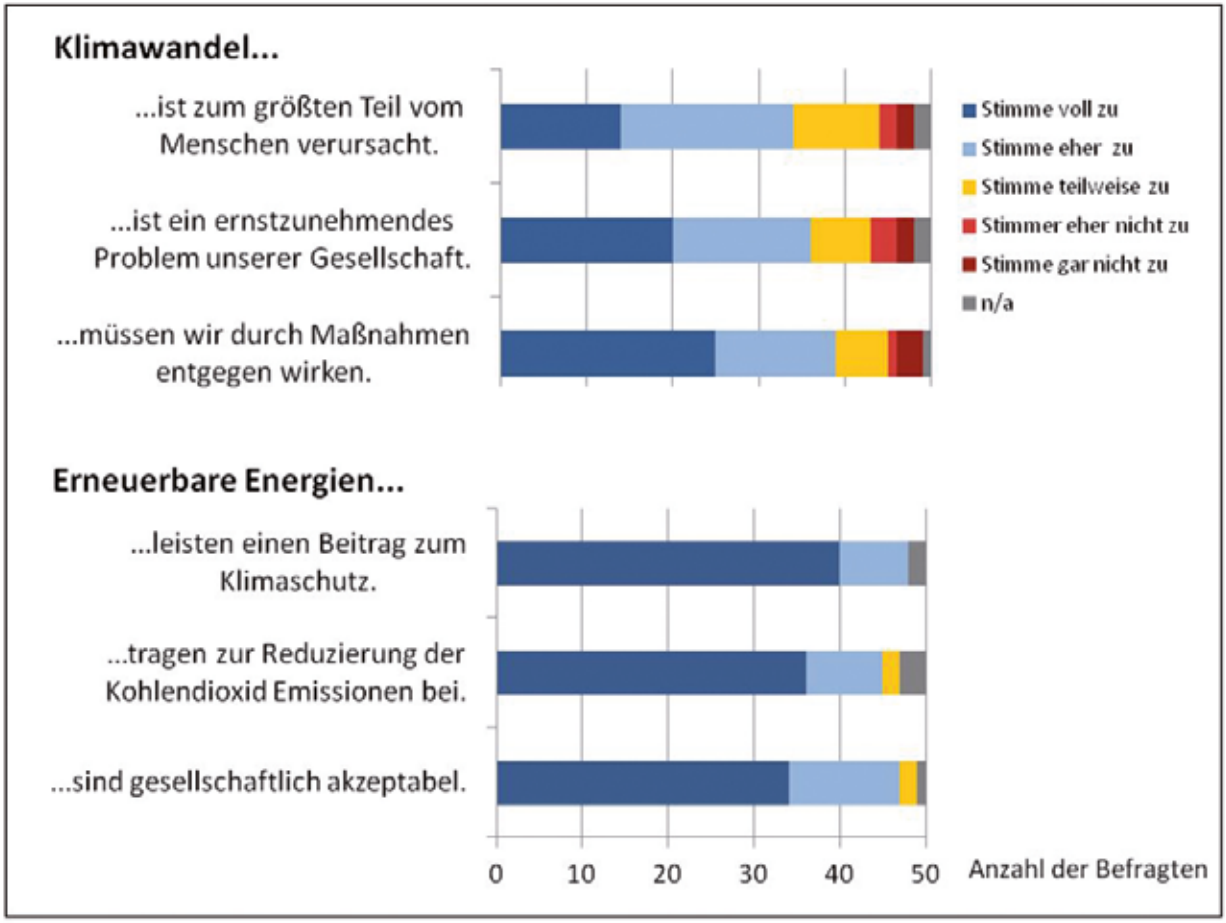

Abb. 10.1: Wahrnehmung des Klimawandels und der erneuerbaren Energien (Anzahl der Befragten Haushalte n=50, 2014) in der Gemeinde Reußenköge, Nordfriesland. (Grafik: Diana Süsser, HZG).

Auf dem Weg zu einem integrativen Hochwassermanagement

In Deutschland und Europa werden zunehmend integrative Konzepte des Hochwassermanagements umgesetzt. Auch private Haushalte sollen hierzu einen Beitrag leisten. Dazu zählt unter anderem der Einsatz mobiler Wassersperren oder widerstandfähiger Baumaterialien sowie das Sichern wassergefährdender Stoffe. Das GFZ konnte die schadensreduzierende Wirkung dieser Maßnahmen quantifizieren und ihre Kosteneffizienz aufzeigen (Kreibich et al. 2011, 2012). Außerdem wurde der Stand der Umsetzung privater Vorsorgemaßnahmen durch eine Befragung hochwassergefährdeter Haushalte entlang des Rheins durch das GFZ in Zusammenarbeit mit dem Institute for Environmental Studies (IVM), Amsterdam, untersucht (Bubeck et al. 2012). Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem die direkte Erfahrung mit Hochwassern zur Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen führt (Abb. 10.2). Werden aber durch den Klimawandel zunehmend auch Gebiete mit weniger oder keiner Hochwassererfahrung beeinflusst, stellt sich die Frage, wie in diesen Regionen ein ausreichendes Bewusstsein sowie eine hinreichende Verbreitung von Vorsorgemaßnahmen erreicht werden kann.

Integrierte Risikobewertung und Kommunikation von Unsicherheiten für kommunale Risikomanagement- und Anpassungsstrategien

Die Auswirkungen extremer Wettereignisse sind in dicht besiedelten und dynamischen Räumen besonders vielschichtig. Gleichzeitig ist das Schadenpotential aufgrund der hohen Wertekonzentration in urbanen Räumen besonders groß. Für die Entwicklung kommunaler Anpassungs- und Risikomanagementstrategien ist es aus diesem Grund wichtig, lokale Gefährdung und Risiken abzuschätzen und die mit diesen Abschätzungen verbundenen Unsicherheiten zu analysieren. Für eine integrierte Risikobewertung werden hoch aufgelöste Klimaprojektionen mit Modellen zur Abschätzung von Vulnerabilität verbunden, so dass eine kombinierte, systemische Betrachtung von Interdependenzen, indirekter Effekte oder Kaskaden möglich wird. Dies wurde zum Beispiel im gemeinsam von GFZ und KIT betriebenen Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology CEDIM erarbeitet (Schädler et al. 2012).

Die Arbeiten am KIT und UFZ beschäftigten sich auch mit der Frage, wie auf kommunaler Ebene Unsicherheiten in kommunalen Planungsprozessen kommuniziert und berücksichtigt werden können und welche Faktoren die Umsetzung solcher integraler Risikomanagement-Ansätze begünstigen oder im negativen Fall behindern. Beispiele aus den fortlaufenden Projekten werden im Rahmen des neuen Themas 7 auf S. 16 dargestellt.

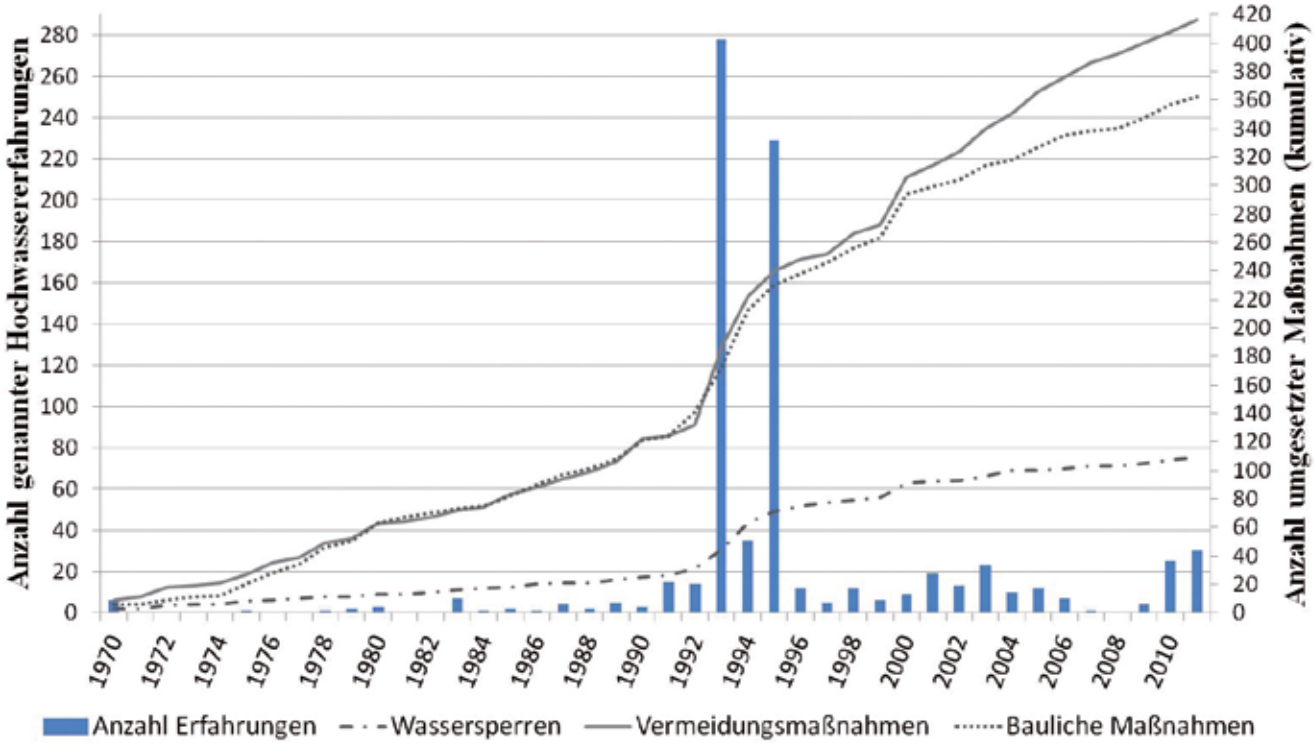

Abb. 10.2: Hochwassererfahrung und Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen hochwassergefährdeter Haushalte (Anzahl der befragten Haushalte n=752) entlang des Rheins (1970-2011). (Grafik: GFZ)

Methoden zur Abschätzung der Kosten von Naturgefahren

Für ein effizientes Management der Risiken von Klimafolgen ist ein tiefgehendes Verständnis der durch Naturgefahren verursachten Kosten erforderlich. Das EU-Projekt CONHAZ (costs of natural hazards; www.conhaz.org), an dem UFZ und GFZ im Berichtszeitraum beteiligt waren, hatte das Ziel, bestehende Methoden zur Abschätzung der Kosten von Naturgefahren zusammenzustellen, zu analysieren und kritisch zu bewerten. Dabei wurden unterschiedliche Naturgefahren (Dürren, Hochwasser, Sturmfluten und alpine Naturgefahren) und unterschiedliche Kostenarten berücksichtigt (direkte Schäden, Verluste durch Betriebsunterbrechungen, indirekte Schäden, immaterielle Auswirkungen wie Gesundheits- und Umwelteffekte sowie Kosten der Risikoreduzierung durch Managementmaßnahmen). Es konnte erstmals ein umfassender Überblick über den derzeitigen Stand der Bewertungsmethoden in diesem Bereich erstellt werden, die in führenden wissenschaftlichen Zeitschriften wie Nature Climate Change veröffentlicht wurden (Kreibich et al., 2014).

Die Forschungsanstrengungen in Thema 10 wurden darüber hinaus durch Gremien- und Stakeholderaktivitäten im Rahmen von UN-Konferenzen zur Internationalen Strategie für Katastrophenvorsorge der Vereinten Nationen und in der wissenschaftlichen Beratung des Deutschen Komitee für Katastrophenvorsorge (Prof. Dr. Reimund Schwarze) begleitet. Andere Mitwirkende in REKLIM (Prof. Dr. Bruno Merz und Dr. Tina Kunz-Plapp) waren in wichtigen Funktionen an der Begutachtung des fünften Sachstandsberichts des IPCC im Bereich Vulnerabilities, Risks and Adaptation und bei echtzeitnahen Analysen zum Hochwasser 2013 (Khazai et al. 2013) beteiligt.

Dr. Martin Döring wurde im Mai 2014 zum Chair der Trilateralen Wadden Sea Forum Working Group „Energy“ berufen. Gleichzeitig ist er beratendes Mitglied der „Projektgruppe Wattenmeer 2100 – Klimaanpassung des Wattenmeeres“ in Nordfriesland. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit sollen in eine regionale Kommunikationsstrategie zur Klimaanpassung in der Wattenmeerregion Nordfrieslands einfließen. Diese Aktivitäten dienen zugleich dem Wissenstransfer so wie der Reflektion und Gestaltung („Co-Design“) der Forschung in REKLIM.

Im Rahmen des innovativen REKLIM-Medienprojekts mit der Hochschule DEKRA Berlin, anlässlich der internationalen REKLIM-Konferenz „Our Climate - Our Future“, begleiteten Forscherinnen des HZG bzw. der Universität Hamburg und des KIT im Jahr 2014 die Erarbeitung der Dokumentarfilme „Friesengeist“ und „Hitze“, die Themen der laufenden bzw. im neuen Topic 7 weitergeführten Forschungsarbeiten filmisch bzw. künstlerisch aufbereiteten (Abb. 10.3).

In Folge der positiven Evaluierung des REKLIM-Forschungsverbundes im Jahr 2013 und der Bestätigung für die neue Förderperiode der programmorientierten Forschung der Helmholtz-Gemeinschaft (POF-3) von 2014-2018 hat der REKLIM-Verbund eine Neuausrichtung der verschiedenen Themen beschlossen. Im Zuge dieser Neuausrichtung wurden die bisherigen beiden sozioökonomisch ausgerichteten Forschungsthemen 7 und 10 zu einem neuen gemeinsamen Thema „Risikoanalyse und Risikomanagement für integrierte Klimastrategien“ zusammengeführt. Hierdurch können die gemeinsamen Aktivitäten besser gebündelt und in der Vernetzung mit den anderen Themen, insbesondere Thema 6 zu Extremereignissen, gestaltet werden. Die thematische Gliederung sowie eine Kurzbeschreibung des neuen Themas 7 werden auf S. 16 gegeben.

Dokumentarfilm „Hitze“

Karlsruhe gilt als der im mittleren Wert heißeste Ort Deutschlands. Der Film trifft Bewohner auf der Straße und fragt sie nach den Folgen für ihren Alltag. Es werden aber auch städtebauliche Lösungen für die Stadt der Zukunft vorgestellt.

Dokumentarfilm „Friesengeist“

Die Menschen in Nordfriesland wissen, dass sich die Küste und damit auch ihre Heimat, der Ort an dem sie sich heimisch fühlen, ständig verändert. In der Vergangenheit haben mehrfach Sturmfluten das Gesicht der Küste dramatisch verändert. Dennoch oder gerade deswegen besteht ein tiefe emotionale Beziehung der Nordfriesen zu ihrer Heimat.

Abb. 10.3: Beispiele aus dem REKLIM-DEKRA-Medienprojekt. Dokumentarfilme „Hitze“ und „Friesengeist“. (Fotos und Weblink: http://reklim-medienprojekt.de/dokumentarfilme)

Prof. Dr. Beate M. W. Ratter (HZG), Beate.Ratter@hzg.de | Prof. Dr. Reimund Schwarze (UFZ), Reimund.Schwarze@ufz.de

Digitale Produkte der Regionalen Helmholtz-Klimabüros

Klimaberatung: regional spezifisch, verständlich, solide

Die regionalen Klimabüros gestalten seit vielen Jahren erfolgreich die Schnittstelle zwischen Praxispartnern und der Wissenschaft. Dabei kommt eine Vielzahl von Wissenstransferaktivitäten zum Einsatz, die auf die jeweiligen Adressaten zugeschnitten sind. Hierzu zählen zum Beispiel Vorträge, Medienarbeit, Politikberatung, Aus- und Weiterbildung oder Projektarbeit. Eine besondere Form der einfachen Bereitstellung von Wissen mit großem gesellschaftlichem Nutzen ist die Nutzung digitaler Medien wie dem Internet oder Apps. Die Regionalen Klimabüros haben in diesem Bereich in den letzten Jahren einige kostenfreie, bedarfsorientierte Produkte entwickelt. Sie liefern darüber hinaus mit ihren Arbeiten Beiträge zu Online Plattformen wie z.B. dem Klimanavigator (http://www.klimanavigator.de), organisiert durch das Climate Service Center Germany (GERICS) und der Earth System Knowledge Platform (www.eskp.de) der Helmholtz Gemeinschaft.

Wissensplattform „meereisportal.de“

Der Klimawandel wirkt sich besonders stark in den Polargebieten aus und verursacht dort große Veränderungen des Meereises, das Heimat für ein ganz spezielles Ökosystem ist. Auf „meereisportal.de“ werden wissenschaftliche Erkenntnisse rund um das Thema Meereis erstmalig zentral für alle gesellschaftlichen Ebenen in unterschiedlichen Vertiefungs- und Detaillierungsgraden bereitgestellt, die in dieser Form im deutschsprachigen Raum bisher nicht verfügbar waren. Hintergrundinformationen zu Veränderungen des Meereisvorkommens und deren Ursachen, Expertenwissen und ein Karten- und Datenarchiv bilden die drei Säulen der Wissensplattform. Die Plattform fördert den Austausch zwischen Wissenschaft und Gesellschaft und unterstützt hierdurch die öffentliche Debatte zum Thema Klimawandel. Die Wissensplattform „meereisportal.de“ ist eine Initiative von REKLIM, dem Klimabüro Polar & Meer am AWI, der Universität Bremen und des AWI und gehört zu den 100 Preisträgern des bundesweiten Wettbewerbs „Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen“ 2015, das in diesem Jahr Projekte zum Thema „Stadt, Land, Netz: Innovationen für eine digitale Welt“ ausgezeichnet hat.

Abb. K1: Die Internet-Plattform „meereisportal.de“ (www.meereisportal.de) informiert über aktuelle Geschehnisse im Bereich Meereis in Arktis und Antarktis und stellt Daten und Hintergrundinformationen zur Verfügung.

„Norddeutscher Klimamonitor“

Wie sich Klima in Norddeutschland seit 1951 verändert hat, zeigt die Internetplattform „Norddeutscher Klimamonitor“, die das Norddeutsche Klimabüro am HZG und das Regionale Klimabüro Hamburg des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entwickelt haben. Mit dem „Norddeutschen Klimamonitor“ wird das Klima der letzten 60 Jahre (1951-2010) für Norddeutschland erstmals umfangreich ausgewertet und interaktiv vorgestellt. Die regelmäßig aktualisierte Datengrundlage besteht aus Stationsmessungen des DWD-Messnetzes und messbasierten Flächendatensätzen sowie Reanalysen aus dem coastDat-Datensatz des HZG für Norddeutschland. Für den Klimamonitor wurden neben den Klimaelementen wie Lufttemperatur, Niederschlag und Wind auch abgeleitete Größen wie Sommertage, Starkniederschlagstage und Sturmtage ausgewertet. Die Klimaentwicklungen der Vergangenheit können mit regionalen Klimaszenarien verglichen werden. Auf diese Weise können Nutzer erkennen, ob es sich bei den bereits eingetretenen Änderungen um natürliche Schwankungen handelt oder ob sie möglicherweise bereits eine Folge anthropogener Treibhausgasemissionen sind.

Dr. Renate Treffeisen (AWI), Renate.Treffeisen@awi.de | Dr. Insa Meinke (HZG), Insa.Meinke@hzg.de

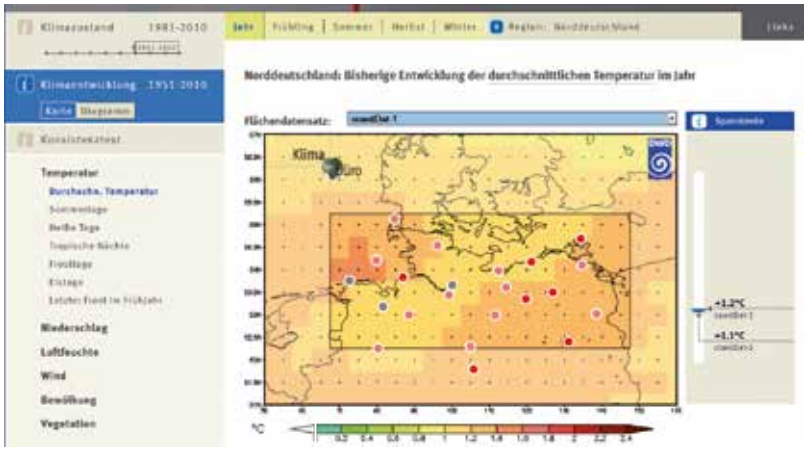

Abb. K2: Der „Norddeutsche Klimamonitor“ (http://www.norddeutscher-klimamonitor.de) liefert eine umfangreiche Auswertung des Klimas der letzten 60 Jahre und stellt die Ergebnisse in einem interaktiven Portal zur Verfügung.

„Dürremonitor“

Trockenheit ist in Deutschland nicht erst seit der Hitzewelle 2003 ein bekanntes Phänomen. Leidtragende sind oft Land- und Forstwirte oder Wassermanager. Im Jahr 2015 wurde über negative Folgen in Teilen Deutschlands sowohl in der Forstwirtschaft durch kostenintensive Brandüberwachungsflüge in Bayern oder in Ertragsrückgängen bei Wintergetreiden in Bayern und Mitteldeutschland berichtet. Flächendeckende Informationen zur Bodenfeuchte waren lange Zeit nicht verfügbar. Daher wurde am Mitteldeutschen Klimabüro der „Dürremonitor“ entwickelt, der täglich aktuelle Informationen zum Trockenheitszustand in Deutschland liefert. Dazu wird auf Basis von Wetterdaten der Bodenfeuchtezustand hochaufgelöst berechnet und dann statistisch mit langjährigen Simulationen seit 1950 verglichen. Damit kann eine Dürreklassifizierung vorgenommen werden, die die Wahrscheinlichkeit von Trockenschäden an Pflanzen abbildet.

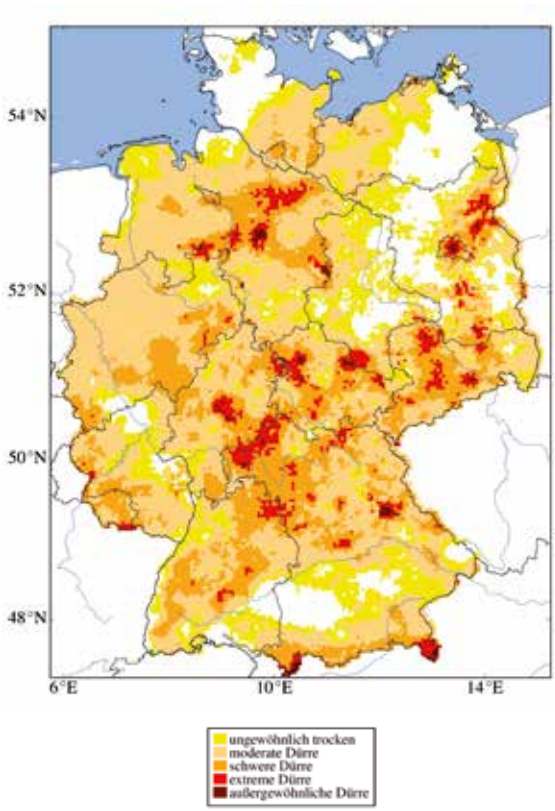

Abb. K3: Der „Dürremonitor“ (http://www.ufz.de/duerremonitor) liefert tägliche Informationen zum aktuellen Bodenfeuchtezustand in Deutschland und damit zum Zustand des pflanzenverfügbaren Wassers, eine wichtige Größe für die Land- und Forstwirtschaft.

Smartphone App „Dein Klima“

Im voranschreitenden Klimawandel sind Städte besonders betroffen. Gerade in Städten gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, sowohl Klimaschutz zu betreiben als auch sich an den Klimawandel anzupassen. Das gilt auch für Karlsruhe mit knapp 300 000 Einwohnern und der Lage im warmen Oberrheingraben. Es lohnt sich daher, einen genaueren Blick auf Umsetzungsbeispiele zu werfen, wie mit den Folgen des Klimawandels umgegangen wird. Mit der Broschüre „Dein Standpunkt zum Klima“ und der dazugehörigen App „Dein Klima“ stellt das Süddeutsche Klimabüro am Karlsruher Institut für Technologie bedeutende Orte in Karlsruhe vor, die eine Rolle für das Klima in der Stadt spielen. Dazu gehören ein stadtnaher Wald, ein Nullenergiehaus oder eine Straßenbahn, die die Luftqualität misst. Die Liste der ausgewählten Orte soll dazu anregen, die Stadt mit anderen Augen zu sehen und gleichzeitig etwas über klimatologische Zusammenhänge zu erfahren. So können auf dem Weg zur Arbeit oder beim Sonntagsspaziergang Orte in Karlsruhe eine besondere, erfahrbare klimatologische Bedeutung bekommen.

Abb. K4: Die Smartphone-App „Dein Klima“ (http://www.sueddeutsches-klimabuero.de/klimastandpunkte.php) informiert über besondere Orte des Stadtklimas in Karlsruhe, einer der „wärmsten Städte“ in Deutschland.

Weitere Informationen:
www.klimabuero-polarmeer.de
www.norddeutsches-klimabuero.de
www.mitteldeutsches–klimabüro.de
www.sueddeutsches-Klimabuero.de

Dr. Hans Schipper (KIT), schipper@kit.edu | Dr. Andreas Marx (UFZ), Andreas.Marx@ufz.de

Referenzen, Autoren und Fotonachweise

Referenzen:

Bordbar, M. H., T. Martin, M. Latif and W. Park (2015): Effects of long-term variability on projections of twenty-first century dynamic sea level. Nature Climate Change, 5, 343–347, doi:10.1038/nclimate2569.

Bubeck, P., W.J. Botzen, H. Kreibich and J.C. Aerts (2012): Long-term development and effectiveness of private flood mitigation measures: an analysis for the German part of the river Rhine. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 3507-3518, doi:10.5194/nhess-12-3507-2012.

Cherkasheva, A. , A. Bracher, C. Melsheimer, C. Köberle, R. Gerdes, E.M. Nöthig, E. Bauerfeind and A. Boetius (2014): Influence of the physical environment on phytoplankton blooms: a case study in the Fram Strait. Journal of Marine Systems, 132 , 196-207.

Czymzik, M., A. Brauer, P. Dulski, B. Plessen, R. Naumann, U. von Grafenstein and R. Scheffler (2013): Orbital and solar forcing of shifts in Mid- to Late Holocene flood intensity from varved sediments of pre-alpine Lake Ammersee (southern Germany). Quaternary Science Reviews, 61, 96-110.

de Guttry, C., M. Döring and B. Ratter (2015): Migrants, not victims. Climate change framings of migrants in their hosting country. Die Erde – Special Issue on Migration and Climate Change, eingereicht.

Feser, F., M. Barcikowska, S. Haeseler, C. Lefebvre, M. Schubert-Frisius, M. Stendel, H. von Storch and M. Zahn (2015): Hurricane Gonzalo and its extratropical transition to a strong European storm. Bulletin of the American Meteorological Society, im Review.

Janout, M.A. and Y.D. Lenn (2014): Semidiurnal tides on the Laptev Sea shelf with implications for shear and vertical mixing. Journal of Physical Oceanography, 44(1), 202-219.

Kasurinen, V. and 26 co-authors (2014): Latent heat exchange in the boreal and arctic biomes. Global Change Biology. 20(11), 3439 – 3456.

Khazai, B., T. Bessel, S. Möhrle, A. Dittrich, K. Schröter, B. Mühr, F. Elmer, T. Kunz-Plapp, T. Trieselmann and M. Kunz (2013): Juni-Hochwasser 2013 in Mitteleuropa – Fokus Deutschland. Bericht 2 – Update 1: Auswirkungen und Bewältigung, Bericht 2 aktualisiert 27.6.2013, http://www.cedim.de/download/FDA-Juni-Hochwasser-Bericht2.1.pdf

Klehmet, K. (2014): A model-based reconstruction of recent Siberian climate - focusing on snow cover. Dissertation Universität Hamburg, 109pp.

Koebsch, F., G. Jurasinski, M. Koch, J. Hofmann and S. Glatzel (2015): Controls for multi-scale temporal variation in ecosystem methane exchange during the growing season of a permanently inundated fen. Agricultural and Forest Meteorology, 204, 94–105.

Kreibich, H., S. Christenberger and R. Schwarze (2011): Economic motivation of households to undertake private precautionary measures against floods. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 309-321, doi:10.5194/nhess-11-309-2011.

Kreibich, H., S. Christenberger and R. Schwarze (2012): Corrigendum to „Economic motivation of households to undertake private precautionary measures against floods“. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 391-392, doi:10.5194/nhess-12-391-2012.

Kreibich, H., J. C. van den Bergh, L. M. Bouwer, P. Bubeck, P. Ciavola, C. Green, S. Hallegatte, I. Logar, V. Meyer, R. Schwarze and A. H. Thieken (2014): Commentary: Costing natural hazards. Nature Climate Change, Vol. 4, pp. 303–306, doi:10.1038/nclimate2182.

Kunz-Plapp, T., H. Schipper and J. Hackenbruch (2014): 35 Grad und heißer?! Befragung Karlsruher Bürgerinnen und Bürger zu Hitzeempfinden und Umgang mit Hitzebelastung. Karlsruher Institut für Technologie, interner Projektbericht, 31.7.2014, 84 Seiten.

Kunz-Plapp, T., J. Hackenbruch and J.W. Schipper (2015, submitted): Factors of subjective heat stress of urban citizens in contexts of everyday life. Natural Hazards and Earth Systems Sciences Discussions, 3, 4619-4661, 2015, www.nat-hazards-earth-syst-sci-discuss.net/3/4619/2015/, doi:10.5194/nhessd-3-4619-2015.

Lane, C.S., A. Brauer, S.P.E. Blockley and P. Dulski (2013): Volcanic ash reveals a time-transgressive abrupt climate change during the Younger Dryas. Geology, 41(12), 1251-1254.

Latif, M., V. A. Semenov and W. Park (2015): Super El Niños in response to global warming in a climate model. Climatic Change, doi:10.1007/s10584-015-1439-6.

Martín-Puertas, C., A. Brauer, S. Wulf, F. Ott, S.,Lauterbach and P. Dulski (2014): New annual proxy data from Lago Grande di Monticchio (southern Italy) contributing to chronological constraints and abrupt climate oscillations during the demise of the last interglacial (76-112 ka). Climate of the Past, 10, 1-15.

Max, L., L. Belz, R. Tiedemann, K. Fahl, D. Nürnberg and J.R. Riethdorf (2014): Rapid shifts in subarctic Pacific climate between 138 and 70 ka. Geology, 42 (10), 899-902. doi:10.1130/G35879.1.

Mbufong, H.N. and 17 co-authors (2014): Assessing the spatial variability in peak season CO_2 exchange characteristics across the Arctic tundra using a light response curve parameterization. Biogeosciences, 11, 4897-4912.

Mohr, S., M. Kunz and K. Keuler (2015a): Development and application of a logistic model to estimate the past and future hail potential in Germany. Journal of Geophysical Research Atmosphere, 120, 3939–3956, doi:10.1002/2014JD022959.

Mohr, S., M. Kunz and B. Geyer (2015b): Hail Potential in Europe based on a regional climate model hindcast. Geophysical Research Letters, eingereicht.

Petrescu, A.M.R. and 43 co-authors (2015): The uncertain climate footprint of wetlands under human pressure. Proceedings of the National Academy of Science, U.S.A., 112(15), 4594–4599.

Rabe, B., M. Karcher, F. Kauker, U. Schauer, J.M. Toole, R.A. Krishfield, S. Pisarev, T. Kikuchi and J. Su (2014): Arctic Ocean basin liquid freshwater storage trend 1992 – 2012. Geophysical Research Letters, 41(3), 961-968.

Rach, O., A. Brauer, H. Wilkes and D. Sachse (2014): Delayed hydrological response to Greenland cooling at the onset of the Younger Dryas in western Europe. Nature Geoscience, 7, 109-112.

Rakovec, O., R. Kumar, J. Mai, M. Cuntz, S. Thober, M. Zink, S. Attinger, D. Schäfer, M. Schrön and L. Samaniego (2015): Multiscale and multivariate evaluation of water fluxes and states over European river basins. Journal of Hydrometeorology, eingereicht.

Schädler, G., P. Berg, D. Düthmann, H. Feldmann, J. Ihringer, H. Kunstmann, J. Liebert, B. Merz, I. Ott and S. Wagner (2012): Flood hazards in a changing climate. CEDIM Project Report, January 2012.

Schubert-Frisius, M., F. Feser, H. von Storch and S. Rast (2015): Spectral nudging sensitivity study using ECHAM6, in Vorbereitung.

Semenov, V. A., T. Martin, L. K. Behrens and M. Latif (2015): Arctic sea ice area in CMIP3 and CMIP5 climate model ensembles – variability and change. The Cryosphere Discussion, 9, 1077-1131, doi:10.5194/tcd-9-1077-2015.

Süsser, D. and M. Döring (2015): Harvesting energy: People‘s place-based perspective on mitigating climate change with renewable energy technologies. Energy policy. In Vorbereitung.

Thober, S., R. Kumar, J. Sheffield, J., Mai, D. Schaefer and L. Samaniego (2015): Seasonal soil moisture drought prediction over Europe using the North American multi-model ensemble (NMME). Journal of Hydrometeorology, im Druck.

Watts, J.D., J.S. Kimball, F.J. Parmentier, T. Sachs, J. Rinne, D. Zona, W. Oechel, T. Tagesson and M. Jackowicz-Korczyñski (2014): A satellite data driven biophysical modeling approach for estimating northern peatland and tundra CO_2 and CH_4 fluxes. Biogeosciences, 11, 1961-1980.

Zhang, X., G. Lohmann, G. Knorr and C. Purcell (2014): Abrupt glacial climate shifts controlled by ice sheet changes, Nature, 512 (7514), 290-294, doi:10.1038/nature13592.

Zhou, X., H. Matthes, A. Rinke, K. Klehmet, B. Heim, W. Dorn, D. Klaus, K. Dethloff and B. Rockel (2014): Evaluation of Arctic land snow cover characteristics, surface albedo and temperature during the transition seasons from regional climate model simulations and satellite data. Advances in Meteorology, 604157, doi:10.1155/2014/604157.

Beitragende Autorinnen und Autoren:

Thema 1: K. Dethloff, H. Matthes, A. Rinke und X. Zhou (alle AWI Potsdam), H. Hagemann, B. Rockel und M. Schultze (alle HZG)

Thema 2: K. Grosfeld, M. Ionita, und R. Timmermann (alle AWI), M. Latif (GEOMAR), I. Sasgen (GFZ), K. Woth (HZG)

Thema 3: A. Bracher und B. Heim (beide AWI), M. Latif (GEOMAR), T. Sachs (GFZ) K. Klehmet (HZG)

Thema 4: T. Blume, I. Heidbüchel, I. Heinrich, T. Sachs (alle GFZ), C. Biernath, F. Heinlein, C. Klein, C. Thieme und E. Priesack (alle HMGU), B. Fersch (KIT-Campus Alpin), M. Cuntz, A. Marx und O. Rakovec (alle UFZ)

Thema 5: P. Braesicke (KIT), M. Schultz, B. Vogel (beide FZJ), M. Dameris (DLR)

Thema 6: F. Feser (HZG), M. Kunz und S. Mohr (beide KIT), M. Latif (GEOMAR), S. Thober (UFZ)

Thema 7: B. Ratter (HZG). T. Kunz-Plapp (KIT), O. Gebhardt und R. Schwarze (beide UFZ), M. Döring (Uni HH)

Portfoliothema 8: G. Knorr, G. Lohmann, R. Tiedemann (alle AWI), A. Brauer (GFZ), C. Betzler (Uni HH), S. Mulitza (Uni HB)

Portfoliothema 9: P. Braesicke (KIT), M. Schultz (FZJ), S. Breitner, K. Berger, J. Cyrys, A. Peters, A. Schneider, K. Wolf (alle HMGU - EPI II), C. Biernath, C. Klein, F. Heinlein, C. Thieme, J.C. Munch, E. Priesack (alle HMGU- BIOP), I. Beck, S. Gilles, F. Häring, C. Traidl-Hoffmann (alle TUM)

Portfoliothema 10: B. Ratter (HZG). T. Kunz-Plapp (KIT), R. Schwarze (UFZ), M. Döring (Uni HH)

Klimabüros: R. Treffeisen (AWI), I. Meinke (HZG), H. Schipper (KIT), A. Marx (UFZ)

Fotonachweise:

Foto Umschlag außen: Achim Brauer, Foto Umschlag Innenseite: Stephanie von Neuhoff, Foto Seite 1 waagerecht von links oben nach rechts unten: Foto 1: Peter Lemke, Foto 2: André Künzelmann, Foto 3: Heidi Kassens, Foto 4: Johannes Käßbohrer, Foto 5: Matthias Mauder, Foto 6: AeroArt, Foto 7: Hannes Grobe, Foto 8: © dpa, Foto 9: André Künzelmann, Foto 10: AWI Rechenzentrum, Foto 11: Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungs-Zentrum, Foto 12: Torsten Sachs, Foto 13: Hand Oerter, Foto 14: © VGMeril/PIXELIO, Foto 15: realnature.tv, Foto 16: © Georg Müller, Foto 17: ESA, Foto 18: Forschungszentrum Jülich, Foto 19: IMK-IFU, Foto 20: © picture-alliance/dpa, Foto Seite 32: Markus Rex.

AWI | DLR | FZJ | GEOMAR | GFZ | HMGU | HZG | KIT | UFZ

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Forschungszentrum Jülich
GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum
Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
Helmholtz -Zentrum Geesthacht - Zentrum für Material- und Küstenforschung
Karlsruher Institut für Technologie
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

www.reklim.de

REKLIM
Helmholtz-Verbund
Regionale Klimaänderungen